

MINERALIZAÇÃO DAS FRAÇÕES ORGÂNICAS DE FÓSFORO  
DO SOLO E AGREGADOS DAS COBERTURAS VEGETAIS DO  
NORTE FLUMINENSE E DOS AGROSSISTEMAS DE CACAU NO  
SUL DA BAHIA

**JOICE CLEIDE DE OLIVEIRA RITA**

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE  
DARCY RIBEIRO – UENF

CAMPOS DOS GOYTACAZES - RJ  
AGOSTO - 2012

MINERALIZAÇÃO DAS FRAÇÕES ORGÂNICAS DE FÓSFORO  
DO SOLO E AGREGADOS DAS COBERTURAS VEGETAIS DO  
NORTE FLUMINENSE E DOS AGROSSISTEMAS DE CACAU NO  
SUL DA BAHIA

**JOICE CLEIDE DE OLIVEIRA RITA**

“Tese apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutor em Produção Vegetal”.

Orientador: Prof. Antonio Carlos da Gama-Rodrigues

CAMPOS DOS GOYTACAZES - RJ  
AGOSTO - 2012

## FICHA CATALOGRÁFICA

Preparada pela Biblioteca do CCTA / UENF 069/2012

Rita, Joice Cleide de Oliveira

Mineralização das frações orgânicas de fósforo do solo e agregados das coberturas vegetais do Norte Fluminense e dos agrossistemas de cacau no sul da Bahia / Joice Cleide de Oliveira Rita. – 2012.

97 f. : il.

Orientador: Antonio Carlos da Gama Rodrigues

Tese (Doutorado - Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias. Campos dos Goytacazes, RJ, 2012.

Bibliografia: f. 66 – 71.

1.Mineralização 2. Classes de agregados 3. Solo I. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias. II. Título.

CDD – 631.4

MINERALIZAÇÃO DAS FRAÇÕES ORGÂNICAS DE FÓSFORO  
DO SOLO E AGREGADOS DAS COBERTURAS VEGETAIS DO  
NORTE FLUMINENSE E DOS AGROSSISTEMAS DE CACAU NO  
SUL DA BAHIA

**JOICE CLEIDE DE OLIVEIRA RITA**

“Tese apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutor em Produção Vegetal”.

Aprovada em 09 de agosto de 2012.

Comissão examinadora:

---

Prof. Gláucio de Mello Cunha (D. Sc., Produção Vegetal) - UFES

---

Prof.<sup>a</sup> Marta Simone Mendonça Freitas (D. Sc., Produção Vegetal) - UENF

---

Dr. Francisco Costa Zaia (D. Sc., Produção Vegetal) - UENF

---

Prof. Antonio Carlos da Gama-Rodrigues (D. Sc., Ciência do Solo) - UENF  
Orientador

“Eu te louvarei, Senhor, de todo o meu coração; contarei todas as tuas maravilhas. Em ti me alegrarei e saltarei de prazer; cantarei louvores ao teu nome, ó Altíssimo.”

Salmos 9:1, 2.

Aos meus pais, Jorge e Márcia; ao meu esposo, Leandro, e aos meus avós, Alcy e Celita, pelo amor, orações e apoio em todas as etapas da minha vida.

**OFEREÇO E DEDICO.**

## **AGRADECIMENTOS**

Ao grandíssimo Deus, por me fazer sentir a sua presença em todos os momentos da minha vida e saber que em ti, Senhor, eu sou mais que vencedora.

Aos meus pais, meu esposo e toda família, pelo amor, incentivo, apoio e compreensão.

À Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF), pela estrutura e a oportunidade concedida para a realização do curso de doutorado.

À empresa Almirante Cacau e a Fazenda Carrapeta, pela contribuição no campo e pelas as amostras de solo.

Aos professores, Antonio Carlos da Gama-Rodrigues e Emanuela Forestieri da Gama-Rodrigues, pela convivência e aprendizado.

Aos membros da banca, Gláucio, Marta e Francisco pelas sugestões apresentadas.

Os técnicos do Laboratório de Solos, pelo auxílio nas análises.

Aos colegas da Uenf, Carmen, Carol, Kíssila, Maria Kellen e Danielle pelo carinho e amizade.

A todos que contribuíram direta ou indiretamente para a realização desta dissertação.

Muito Obrigada!

## SUMÁRIO

LISTA DE QUADROS .....	vii
RESUMO .....	x
ABSTRACT .....	xii
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	3
2.1. Agregação do solo .....	3
2.2. Mineralização do fósforo orgânico .....	4
2.3. Alterações das formas de P nos sistemas de manejo .....	6
3. TRABALHOS .....	12
Mineralização do fósforo orgânico do solo e agregados nos sistemas agroflorestais de cacau no Sul da Bahia .....	11
RESUMO .....	11
ABSTRACT .....	13
INTRODUÇÃO .....	14
MATERIAL E MÉTODOS .....	15
Descrição das áreas e coleta de solo .....	15
Análise química e física do solo .....	15
Tamisamento dos agregados úmidos .....	16
Mineralização do P orgânico .....	17
Determinação do P orgânico total .....	18
Determinação do P orgânico lábil .....	19

Análise estatística.....	20
RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	20
Mineralização de Po no solo.....	20
Mineralização de Po em agregados do solo .....	24
CONCLUSÃO .....	32
LITERATURA CITADA.....	33
Mineralização das frações orgânicas de fósforo em classes de agregados do solo sob diferentes coberturas vegetais do Norte Fluminense .....	38
RESUMO .....	38
ABSTRACT .....	40
INTRODUÇÃO.....	41
MATERIAL E MÉTODOS.....	42
Descrição das áreas e coleta de solo .....	42
Análise química e física do solo.....	43
Fracionamento em classes de agregados .....	44
Mineralização do P orgânico.....	45
Determinação das frações de P orgânico .....	45
Análise estatística.....	46
RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	46
Mineralização de Po no solo.....	46
Mineralização de Po em agregados do solo .....	50
CONCLUSÃO .....	58
LITERATURA CITADA.....	59
4. RESUMO E CONCLUSÃO .....	64
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	66
ANEXO .....	72
APÊNDICE.....	76

## LISTA DE QUADROS

### Trabalho 1

- QUADRO 1. Caracterização química dos solos sob floresta natural e sistemas agroflorestais de cacau incubação (T1). ..... 16
- QUADRO 2. Caracterização física dos solos sob floresta natural e sistemas agroflorestais de cacau ..... 16
- QUADRO 3. Frações totais de fósforo inorgânico e orgânico de solos sob floresta e sistema agroflorestal de cacau-cabruca e cacau-eritrina, antes do tempo de incubação (T0) e após 90 dias de incubação (T1). .....22
- QUADRO 4. Frações lábeis de fósforo inorgânico e orgânico dos solos sob floresta e sistema agroflorestal de cacau-cabruca e cacau-eritrina, antes do tempo de incubação (T0) e após 90 dias de incubação (T1).. .....22
- QUADRO 5. Distribuição percentual das frações totais de fósforo inorgânico e orgânico de solos sob floresta e sistema agroflorestal de cacau-cabruca e cacau-eritrina, antes do tempo de incubação (T0) e após 90 dias de incubação (T1).....24
- QUADRO 6. Distribuição percentual das frações lábeis de fósforo inorgânico e orgânico de solos sob floresta e sistema agroflorestal de cacau-cabruca e cacau-eritrina, antes do tempo de incubação (T0) e após 90 dias de incubação (T1).....24

QUADRO 7. Distribuição dos agregados de solo estáveis em água sob floresta e sistema agroflorestal de cacau-cabruca e cacau-eritrina, antes do tempo de incubação (T0).....	25
QUADRO 8. Frações de fósforo inorgânico e orgânico totais ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) dos agregados em diferentes classes e coberturas, antes do tempo de incubação (T0) e após 90 dias de incubação (T1).....	26
QUADRO 9. Frações de fósforo inorgânico e orgânico lábeis ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) dos agregados em diferentes classes e coberturas, antes do tempo de incubação (T0) e após 90 dias de incubação (T1).....	28
QUADRO 10. Distribuição percentual das frações totais de fósforo inorgânico ( $P_i$ ) e orgânico ( $P_o$ ) dos agregados em diferentes classes e coberturas, antes do tempo de incubação (T0) e após 90 dias de incubação (T1).....	29
QUADRO 11. Distribuição percentual das frações lábeis de fósforo inorgânico ( $P_{iL}$ ) e orgânico ( $P_{oL}$ ) dos agregados do solo em diferentes classes e coberturas, antes do tempo de incubação (T0) e após 90 dias de incubação (T1).....	30
QUADRO 12. Teor de carbono orgânico ( $\text{g kg}^{-1}$ ) e distribuição percentual (%) de Corg/P orgânico total em diferentes classes de solos sob floresta e sistema agroflorestal de cacau-cabruca e cacau-eritrina, antes do tempo de incubação (T0).....	31

## **Trabalho 2**

QUADRO 1. Caracterização química dos solos sob leguminosas florestais, pasto e capoeira. ....	44
QUADRO 2. Caracterização física dos solos sob leguminosas florestais, pasto e capoeira .....	44
QUADRO 3. Frações totais de fósforo inorgânico ( $P_i$ ) e orgânico ( $P_o$ ) dos solos sob leguminosas florestais, pasto e capoeira, antes do tempo de incubação (T0) e após 90 dias de incubação (T1).....	47

QUADRO 4. Frações lábeis de fósforo inorgânico (Pi lábil) e orgânico (Po lábil) dos solos sob leguminosas florestais, pasto e capoeira, antes do tempo de incubação (T0) e após 90 dias de incubação (T1).....	48
QUADRO 5. Distribuição percentual das frações totais de fósforo inorgânico (Pi) e orgânico (Po) de solos sob leguminosas florestais, pasto e capoeira, antes do tempo de incubação (T0) e após 90 dias de incubação (T1).....	49
QUADRO 6. Distribuição percentual das frações lábeis de fósforo inorgânico (PiL) e orgânico (PoL) dos agregados do solo sob leguminosas florestais, pasto e capoeira, antes do tempo de incubação (T0) e após 90 dias de incubação (T1).....	50
QUADRO 7. Distribuição dos agregados do solo estáveis em água sob leguminosas florestais, pasto e capoeira, antes do tempo de incubação (T0).....	51
QUADRO 8. Frações de fósforo inorgânico e orgânico totais ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) dos agregados em diferentes classes de agregados e coberturas vegetais, antes do tempo de incubação (T0) e após 90 dias de incubação (T1).....	53
QUADRO 9. Frações de fósforo inorgânico e orgânico labéis ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) dos agregados em diferentes classes de agregados e coberturas vegetais, antes do tempo de incubação (T0) e após 90 dias de incubação (T1).....	54
QUADRO 10. Distribuição percentual (%) das frações totais de fósforo inorgânico (Pi) e orgânico (Po) dos agregados do solo sob leguminosas florestais, pasto e capoeira, antes do tempo de incubação (T0) e após 90 dias de incubação (T1).....	55
QUADRO 11. Distribuição percentual (%) das frações lábeis de fósforo inorgânico (Pi lábil) e orgânico (Po lábil) dos agregados do solo sob leguminosas florestais, pasto e capoeira, antes do tempo de incubação (T0) e após 90 dias de incubação (T1).....	57
QUADRO 12. Teor de carbono orgânico ( $\text{g kg}^{-1}$ ) e distribuição percentual (%) de Corg/P orgânico total em diferentes classes de solos leguminosas florestais, pasto e capoeira, antes do tempo de incubação (T0).....	58

## RESUMO

RITA, JOICE CLEIDE DE OLIVEIRA, D.Sc.; Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, agosto de 2012. Mineralização das Frações Orgânicas de Fósforo do Solo e Agregados das Coberturas Vegetais do Norte Fluminense e dos Agrossistemas de Cacao no Sul da Bahia. Orientador: Prof. Antonio Carlos da Gama-Rodrigues. Coorientadora: Prof<sup>a</sup> Emanuela Forestieri da Gama-Rodrigues.

As frações orgânicas de fósforo (P) em solos altamente intemperizados assumem um importante papel na liberação de P por meio da decomposição e mineralização do P orgânico (Po). Estudos enfatizando a mineralização do Po nos agregados são escassos, de modo que a contribuição dos agregados, como fontes orgânicas de P, é relevante para suprir a demanda das plantas. O objetivo geral do presente trabalho foi avaliar a distribuição da fração orgânica e inorgânica de P (total e lábil) antes e após a incubação dos solos e dos agregados; e determinar a mineralização de fósforo orgânico total e lábil do solo e agregados de sete coberturas vegetais. A mineralização de Po foi estimada em dois locais diferentes. O primeiro local foi constituído de quatro coberturas vegetais: sabiá (*Mimosa caesalpiniiifolia*), acácia (*Acacia auriculiformes*), floresta secundária (capoeira) e pasto, localizado no município de Conceição de Macabu, RJ. O outro local foi constituído de três coberturas vegetais: sistema agroflorestal de cacao-cabruca, cacao-eritrina e floresta, localizado no Sul da Bahia. Para a coleta das amostras de solo, foram abertas minitrincheiras em cada área da cobertura na profundidade de 0-10 cm e posterior separação das classes de agregados (> 2,0; 2,0-0,250 e < 0,250 mm) pelo tamisamento úmido. Com parte

do solo e dos agregados, foi determinado o teor de P orgânico (Po) e P inorgânico (Pi) total e lábil, considerando-se o tempo antes da incubação (tempo 0). Em seguida, o restante do solo e dos agregados foi incubado em laboratório na BOD por 90 dias a 40°C e logo foram determinados os teores de P, considerando o tempo após a incubação (tempo 1). O Po total foi obtido por meio do método de extração com HClO<sub>4</sub> e NaOH; e o Po lábil, pelo método de extração com NaHCO<sub>3</sub>. Os teores de fósforo total e lábil dos solos avaliados antes e após a incubação foram influenciados pela cobertura vegetal. Todas as coberturas vegetais do município de Conceição de Macabu apresentaram aumento da fração inorgânica total e lábil de P do solo, após a incubação. As coberturas diferiram na distribuição das frações de P (Pi e Po) de algumas classes de agregados, porém houve similaridade das coberturas vegetais de Conceição de Macabu e da Bahia, nos teores do Po total, que foi mais representativo na classe < 0,250 mm (microagregados) após a incubação de 90 dias. No solo sob floresta e cacau-cabruca, ocorreu a mineralização de Po total dos macroagregados (> 2,0 e 2,0-0,250 mm) e incremento de Pi nessas classes de agregados. O tempo de incubação de 90 dias foi suficiente para que ocorresse a mineralização de Po lábil em todas as classes de agregados da acácia e sistema agroflorestal (SAF) de cacau, porém com decréscimo na liberação de Pi, de todas as classes do SAF de cacau. A mineralização do Po lábil ocorrida nas coberturas estudadas não favoreceu o acúmulo de Pi lábil nas classes de agregados. O fornecimento de P para as plantas, antes e após a incubação, estaria estreitamente relacionado à mineralização do Po lábil, devido à maior proporção dessa fração na composição do P lábil total.

## ABSTRACT

RITA, JOICE CLEIDE DE OLIVEIRA, D.Sc.; Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, August de 2012. Mineralization Organic Fractions of phosphorus of Soil and Aggregates Plant Cover of Fluminense North and Cacao Agrosystems in the south of the Bahia. Advisor: Antonio Carlos da Gama-Rodrigues. Co-advisor: Emanuela Forestieri da Gama-Rodrigues.

The organic fractions of phosphorus (P) in highly weathered soils plays an important role in the release of P through decomposition and mineralization of organic phosphorus. Studies emphasizing the Po mineralization in aggregates are scarce, so that the contribution of aggregates as sources of organic P is relevant to the demand of the plants. The overall objective of this study was to evaluate the distribution of organic and inorganic fractions of P (total and labile) before and after incubation of soils and aggregates, and determine the mineralization of organic phosphorus total and labile soil aggregates and seven vegetable toppings. The mineralization of Po was measured at two different locations. The first site consisted of four vegetable toppings (Sabiá (*Mimosa caesalpinifolia*), Acácia, (*auriculiformes Acacia*), secondary forest and pasture) in the city of Conception Macabu, RJ. The other place consisted of three cover crops (agroforestry system of cabruca-cocoa, eritrina-cocoa and forest) located in southern Bahia. To collect soil samples were opened minitrincheira in each coverage area at a depth of 0-10 cm and subsequent separation of classes ( $> 2,0$ ,  $2,0-0,250$  and  $< 0,250$  mm) by wet screening. With solo part and aggregates was determined the content of organic and inorganic P total and labile, who was considered the time before incubation (time 0). Next the remaining soil and aggregates were incubated in the

laboratory for 90 days at 40° C and was soon given the levels of P, considering the time after incubation (time 1). The total Po was obtained by the extraction method with HClO<sub>4</sub> and NaOH and labile Po, by extraction with NaHCO<sub>3</sub>. Concentrations of total phosphorus and labile soil evaluated before and after incubation were influenced by vegetation. All vegetation covers the city of Concepcion Macabu showed increased total inorganic fraction and labile soil P after incubation. Covers differed in the distribution of P fractions (Pi and Po) of some classes of aggregates, but there was similarity of vegetation cover of Concepcion Macabu and Bahia, the levels of total Po, that was more representative in the class <0.250 mm (microaggregates) after incubation for 90 days. At forest soil and cocoa-cabruca mineralization occurred Po total macroaggregates (> 2.0 mm and 2.0 to 0.250) and an increase Pi these aggregate classes. Incubation time of 90 days was enough that occurred labile Po mineralization in all classes of aggregates Acacia and agroforestry (SAF) cocoa, but with a decrease in the release of Pi from all classes of SAF cocoa. Mineralization of labile Po occurred in roofs studied did not favor the accumulation of labile Pi in aggregate classes. Phosphorus supply to plants before and after incubation was closely related to the mineralization of labile Po due to the greater proportion of this fraction in the composition of labile P total.

## 1. INTRODUÇÃO

A degradação de solo gera uma grande preocupação com a qualidade e a sustentabilidade dos sistemas de produção agrícola e florestal, pois conduz à perda das camadas superficiais, onde há maior concentração de material orgânico (Fontes et al., 1996). Em razão disso, a relação entre a sustentabilidade de sistemas agrícolas e a qualidade do solo tem sido uma meta na discussão sobre as consequências de adoção de diferentes práticas agrícolas (Xavier et al., 2009).

O grande desafio dos produtores de regiões tropicais tem sido a manutenção da matéria orgânica no solo, por meio de sistemas de manejo que favoreçam um grande aporte de resíduos vegetais, e melhorem as propriedades físicas, como por exemplo, a formação dos agregados, unidades básicas da estrutura do solo (Meurer, 2000); as propriedades químicas, isto é, o aproveitamento de fósforo (P) pelas plantas (Almeida et al., 2003); e as biológicas, que são fonte de energia e nutrientes para os microrganismos quimio-heterotróficos (Bayer e Mielniczuk, 2008). Neste contexto, a matéria orgânica assume um importante papel no fornecimento de nutrientes para as plantas, principalmente quando se trata do P, nutriente mais limitante na produtividade da maioria das culturas cultivadas em solos altamente intemperizados de ambientes tropicais (Novais e Smyth, 1999; Bayer e Mielniczuk, 2008).

O estudo da distribuição e mineralização do P orgânico nas classes de agregados torna-se promissor, visto que a dinâmica do P orgânico é de extrema

importância para os sistemas de manejo, devido à reciclagem do P por meio da decomposição de resíduos orgânicos presentes nos agregados, favorecendo concomitantemente o crescimento, o desenvolvimento, a produtividade da planta, o manejo sustentável do solo e do ambiente, minimizando a adição de fertilizantes. Nesse sentido, a taxa de mineralização de P no solo e nos agregados pode ser um indicador do seu potencial em suprir a demanda das plantas (Fernandes et al., 2002), principalmente no fornecimento de P orgânico dos agregados para microbiota. Assim como, parte da matéria orgânica livre é aprisionada no interior dos agregados, o fornecimento de matéria orgânica torna-se lábil nos macroagregados e recalcitrante nos microagregados.

Os diferentes sistemas de manejo do solo alteram a biodisponibilidade do P. Em ecossistemas naturais, onde não há adição de P, a sua disponibilidade está intimamente relacionada à ciclagem das formas orgânicas (Conte et al., 2002; Cunha et al., 2007; Zaia et al., 2008a; Zaia et al., 2008b), sendo que a perturbação do sistema, pela introdução de outras espécies vegetais ou pelo aumento da biomassa vegetal e adubação, pode acarretar mudanças na atividade microbiana e, por consequência, na mineralização do P orgânico. O objetivo geral do presente trabalho foi avaliar a distribuição da fração orgânica e inorgânica de P (total e lábil) antes e após a incubação dos solos e agregados, e determinar a mineralização de fósforo orgânico total e lábil do solo e agregados de sete coberturas vegetais.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1. Agregação do solo**

A matéria orgânica do solo (MOS) tem um papel fundamental na formação dos agregados, unidades básicas da estrutura do solo, os quais são resultantes da aproximação e da união entre as partículas (devido a forças de pressão e cargas elétricas de superfície) e de sua estabilização pela ação de agentes cimentantes ou aglutinadores, como a matéria orgânica e os óxidos de ferro (Meurer, 2000).

Os compostos orgânicos envolvidos na formação dos agregados do solo podem ser transitórios, temporários e persistentes. Os transitórios são constituídos principalmente por polissacarídeos provenientes do metabolismo microbiano, que fazem parte do grupo dos carboidratos e representam entre 5-25% da matéria orgânica do solo. Os temporários são as raízes e hifas, e os persistentes são polímeros orgânicos fortemente adsorvidos (Christensen, 2000).

Os agregados do solo podem ser divididos em: microagregados (agregados < 0,250 mm), formados pela interação das frações granulométricas entre si e destas com as moléculas orgânicas, cátions polivalentes e argila; e macroagregados (agregados > 0,250 mm), resultantes da ação mecânica de raízes finas e hifas de fungos, principalmente os micorrízicos que entrelaçam os microagregados, formando estruturas mais complexas e diversificadas (Tisdall e Oades, 1982).

A matéria orgânica protegida no interior de agregados apresenta um tempo de permanência no solo maior do que a matéria orgânica livre, sendo esta proteção maior nos microagregados do que nos macroagregados. Nesse sentido, estudos mostraram valores mais elevados de carbono (C) orgânico nos macroagregados do que nos microagregados (Rita, 2007; Rita, 2005; Six et al., 2000).

Passos et al. (2007) observaram que, no solo sob sistema Cerradão e milho, houve um incremento do C orgânico nos agregados menores ( $< 0,105$  mm), devido aos maiores teores de argila em microagregados do que em macroagregados. Este fato foi observado por Adesodun et al. (2007) apenas em solos cultivados, visto que, em solos não cultivados, houve um incremento de C orgânico nos macroagregados.

Da mesma forma que ocorre variação do C orgânico nos agregados do solo, houve variação do fósforo total, com incremento em microagregados de solos cultivados (Matos et al., 2008; Adesodun et al., 2007). Matos et al. (2008) encontraram os maiores valores de fósforo total na classe de agregados 0,250-0,105 mm, ( $941,6 \text{ mg kg}^{-1}$ ) e os menores valores na classe 4-2 mm ( $830 \text{ mg kg}^{-1}$ ) na profundidade de 0-10 cm.

A agregação do solo é influenciada por diferentes sistemas de manejo, que modificam a estrutura do solo (Muzzilli, 2002; Cruz et al., 2003; Maia et al., 2006). Maia et al. (2006) observaram que o solo sob sistema agrossilvipastoril tendeu a perder a estrutura original pelo fracionamento dos agregados maiores em unidades menores. Entretanto, Cruz et al. (2003) encontraram maior agregação do solo no campo nativo (0,10-0,20 m) e associaram este fato à maior densidade de raízes apresentada pelas gramíneas perenes, que abrangeu um volume maior de solo. Portanto, torna-se relevante o estudo dos agregados do solo, visto que são acumuladores de nutrientes, tais como, o C orgânico.

## **2.2. Mineralização do fósforo orgânico**

Os solos altamente intemperizados apresentam alta capacidade em reter o P na fase sólida e, por consequência, torna-se reduzida a fração de P disponível (Santos et al., 2002). Com o predomínio desse nutriente no solo em formas inorgânicas, ligadas com alta energia à fração mineral, e das formas orgânicas, estabilizadas física e quimicamente, ocorre o aumento de formas de P pouco lábil

ou não-lábil (Novais e Smyth, 1999). Dessa maneira, a ciclagem do fósforo orgânico (P orgânico) tem uma importante participação, regulando a disponibilidade de P nesses solos (George et al., 2006).

Para estimar o potencial de mineralização de P orgânico, alguns autores (Solomon et al., 2002; Mukuralinda et al., 2009; Dossa et al., 2009) têm utilizado a relação de C/P, uma vez que a relação C:P muito elevada, ou seja, acima de 300, indica a imobilização líquida de P no solo (Siqueira e Moreira, 2001).

Mukuralinda et al. (2009) observaram que o resíduo vegetal de *Calliandra calothyrsus* apresentou maior C:P (247), seguido por *Tephrosia vogelii* (206), mostrando a importância da leguminosa no fornecimento de P. Dossa et al. (2009), por sua vez, verificaram que o material de folha ou a combinação de hastes de arbustos (*Piliostigma reticulatum* e *Guiera senegalensis*) resultou na relação C:P > 300, indicando a imobilização de P. No entanto, quando esses autores adicionaram o esterco, a relação C:P foi para 100, ocorrendo a liberação de P para os arbustos.

Nos solos florestais, a relação C/P<sub>o</sub> pode variar de 138 a 160 no Planalto Sudoeste da Etiópia, mostrando que a mineralização de P orgânico pode ocorrer facilmente, levando a um aumento do nível de P inorgânico disponível, desde que o P liberado não seja fixado em óxidos e hidróxidos de Fe e Al (Solomon et al., 2002).

A dinâmica do P no solo está associada a fatores ambientais que controlam a atividade dos microrganismos, os quais liberam ou imobilizam os íons ortofosfato (Souza et al., 2008). Assim sendo, a mineralização microbiana de P no solo depende da composição do material a ser decomposto, temperatura, clima, adição de fertilizantes e sistema de manejo (Tate e Newman, 1982; Côrrea et al., 2004; Fernandes et al., 2006).

Os resíduos vegetais na superfície do solo constituem importante reserva de nutrientes, cuja disponibilização pode ser rápida e intensa, ou lenta e gradual, pois as espécies vegetais apresentam diferenças em sua composição química, modificando a velocidade de decomposição e a liberação de nutrientes para o solo (Fernandes et al., 2006). As formas de P orgânico são representadas pelos íons fosfatos ligados aos compostos orgânicos (P orgânico diéster e P orgânico monoéster), cuja labilidade está diretamente relacionada à suscetibilidade de

decomposição do radical orgânico ao qual o fosfato está ligado (Gatiboni et al., 2008).

A qualidade dos resíduos da planta, regulando a taxa de decomposição e disponibilidade de nutrientes no solo, foi observada por Mukuralinda et al., 2009.

Estes autores verificaram rápida perda de materiais facilmente decomponíveis no início da incubação de resíduos vegetais de diferentes espécies (*Calliandra calothyrsus* Meissner; *Tithonia diversifolia* A. Gray Hensley; *Tephrosia vogelii* Hook). Entretanto, nos períodos subsequentes, eles observaram que ocorreu a perda lenta de materiais mais recalcitrantes, demonstrando que dentre as espécies estudadas, a *Tithonia diversifolia* (margaridão-amarelo) liberou quantidades significativamente maiores de P, pela presença de resíduos menos recalcitrante e baixos teores de lignina e polifenóis.

Wisniewski e Holtz (1997), avaliando a dinâmica da decomposição da palhada e da liberação de P durante o ciclo das culturas de milho e aveia preta, verificaram que a palhada de milho apresentou uma mineralização estimada de 77% durante o ciclo da aveia preta. No final desse ciclo, a mineralização de P foi de 85% da palhada de aveia preta, demonstrando a maior liberação desse nutriente na aveia preta.

O potencial hídrico e a temperatura afetando a liberação de P foi estudado por Grierson et al. (1999). Estes autores mostraram o incremento da mineralização de P devido ao aumento do potencial hídrico e da temperatura (acima de 25°C) nos solos sob Pinheiro (*Pinus taeda*). De fato, a baixa disponibilidade hídrica limita a mineralização e a liberação de nutrientes do material orgânico (Severino et al., 2006), assim como a decomposição dos resíduos e a liberação de P e de outros nutrientes foram mais lenta durante a estação seca, devido a menores precipitações pluviométricas (Espíndola et al., 2006).

### **2.3- Alterações das formas de P nos sistemas de manejo**

As formas e a dinâmica do P no solo podem ser afetadas pelos sistemas de manejo que, muitas vezes, envolvem mudanças na cobertura vegetal, produção de biomassa e ciclagem de nutrientes (Solomom et al., 2002).

Levando-se em conta a biociclagem dos fosfatos orgânicos que assume grande importância na manutenção da biodisponibilidade de P, alguns autores

consideram que o P orgânico não seja suficiente para a obtenção da máxima produtividade econômica das culturas comerciais (Santos et al., 2008a). Porém, para outros, a fonte orgânica de P é importante para o fornecimento de P para as plantas, tanto nos ambientes naturais quanto nos manejados (Turrión et al., 2007). De maneira geral, o teor de P orgânico aumenta, quando o manejo favorece o incremento de carbono e, com a utilização de fertilizantes, no entanto, diminui em sistemas intensivos de cultivo com baixa reposição de P (Damodar Reddy et al., 2000).

Nos solos cultivados, o modo de aplicação e a reatividade dos fosfatos influenciam na disponibilidade de P, uma vez que o fosfato solúvel favorece principalmente a disponibilidade de P inorgânico para a cultura, preservando as fontes orgânicas. Nesse sentido, Santos et al. (2008b) observaram que o superfosfato triplo aplicado na forma parcelada proporcionou o maior teor de P orgânico mais lábil (Po-bicarbonato), isto é, o P inorgânico seria imediatamente absorvido, atendendo à demanda do milho e, conseqüentemente, levando à preservação dos estoques de Po-bic. Porém, nas demais fontes (fosfato reativo de Arad e fosfato natural de Araxá), a liberação mais lenta de P promoveu maior mobilização das reservas inorgânicas e orgânicas do solo para atender à demanda da cultura, provocando sensível redução nos estoques das frações mais lábeis de P inorgânico e P orgânico.

A presença de uma vegetação sobre o solo promove modificações na propriedade biológica que, por consequência, influenciam mudanças nas propriedades físicas e químicas e, portanto, no desenvolvimento da planta. Desse modo, a manutenção do palhicho por 55 anos na área de cultivo (cana crua) possibilitou maior teor de P orgânico e das demais formas de P (P total, P disponível, P inorgânico e P nas substâncias húmicas), quando comparado com a cana queimada e a cana com e sem vinhaça, indicando que a preservação da palha contribui para a melhoria da fertilidade do solo e a manutenção da matéria orgânica (Busato et al., 2005).

A participação do P orgânico lábil (Po-bicarbonato) e do P orgânico moderadamente lábil (Po-hidróxido) aumenta com o tempo de cultivo de plantio direto com soja e milho no Latossolo Vermelho (Tokura et al., 2002).

Estes autores sugeriram que a menor dessorção de P da fase mineral com aumento do intemperismo é compensada pelo aumento da participação da fase orgânica no suprimento de P para as plantas.

No caso de um consórcio ou rotação, o estoque de P orgânico pode ser utilizado como recomendação para a próxima cultura, caso a adubação mineral não supra a demanda da planta e, assim minimizando a aplicação do adubo mineral. Além disso, em consórcio, as árvores, por exemplo, podem utilizar parte do P inorgânico que não está disponível para as culturas agrícolas, e transformá-lo em P orgânico, que, após ter sido mineralizado, torna-se disponível para as culturas (Szott e Melendez, 2001).

Os sistemas de manejo que favoreçam o aporte de matéria orgânica e menor revolvimento do solo, como, por exemplo, cobertura vegetal ou cobertura vegetal + cobertura morta, tornam-se importantes pelo aumento do P orgânico lábil para as plantas e pelo manejo sustentável do solo (Ribeiro et al., 2007). De forma que a permanência da fitomassa é importante para a obtenção de melhor cobertura, qualidade física do solo e maior produtividade para as culturas (Brançalião e Moraes, 2008).

A combinação de materiais orgânicos com superfosfato triplo promoveu maior produção do milho em relação à aplicação somente de fontes orgânicas e inorgânicas (Mukuralinda et al., 2009), visto que, de acordo com os autores, a aplicação de resíduos vegetais e superfosfato triplo de forma isolada pode não ser suficiente para satisfazer as necessidades de P das plantas de milho e atingir o potencial produtivo nos solos ácidos, a menos que suplementado com fertilizantes minerais.

Damodar Reddy et al. (2000) mostraram que a aplicação anual de esterco bovino isoladamente ou em combinação com doses de fertilizantes de P, durante o experimento de rotação soja/trigo, aumentou significativamente as frações lábeis e moderadamente lábeis do P orgânico, sendo que a combinação de ambos favoreceu o incremento da produtividade dessas culturas. Assim sendo, quando ocorre a adição de fertilizantes fosfatados em quantidades suficientes para o crescimento e desenvolvimento das plantas, as formas inorgânicas e orgânicas de P têm capacidade semelhante de fornecer esse nutriente para as plantas (Gatiboni et al., 2007).

Nos casos de substituições de floresta natural por cultivos agrícolas e florestais, ocorre redução de P orgânico (lábil e total) (Solomon et al., 2002; Sigua et al., 2006). De forma que os solos cultivados e com baixa adição de fosfatos mantêm o P disponível em níveis estáveis, mas, na maioria das vezes, são insuficientes para o crescimento normal de culturas comerciais (Rheinheimer et al., 2008).

Nos sistemas de manejo que promovam adição de matéria orgânica ao solo, tais como, florestas e campos nativos, ocorre a possibilidade de esses sistemas se manterem sem adição de fertilizantes fosfatados, mesmo com a baixa disponibilidade de P no solo, isso porque as formas orgânicas de P são as principais responsáveis pelo fornecimento deste nutriente às plantas (Gatiboni et al., 2007; Conte et al., 2002). Cunha et al. (2007) encontraram o teor médio de P orgânico lábil nos solos sob florestas de 75,4 mg kg<sup>-1</sup> e, sob pastagens, de 29,4 mg kg<sup>-1</sup>, mostrando que as reservas de P orgânico (total e lábil) seriam maiores nos solos florestais do que nas pastagens.

Em áreas degradadas, Zaia et al. (2008a) verificaram que os solos sob acácia (*Acacia auriculiformis*) e sabiá (*Mimosa caesalpiniiifolia*) apresentaram maior teor de P orgânico (total e lábil) do que os solos sob pastagem e capoeira. Essas leguminosas diferem quanto à qualidade e à quantidade de serapilheira, de forma que a serapilheira produzida pela *Mimosa caesalpiniiifolia* foi a mais rica em N e P com menor relação C/N, ou seja, maior velocidade de decomposição do que a da *acacia auriculiformis* (Andrade et al., 2000; Silva, 2005).

O aumento do P orgânico nas camadas mais superficiais do solo foi observado por alguns autores (Almeida et al., 2003; Zaia et al., 2008b; Turrión et al., 2010), mostrando que a camada mais superficial é mais rica em matéria orgânica e, por consequência, possui maiores teores de P orgânico. Desse modo, a serapilheira acumulada e as raízes nos agrossistemas podem proporcionar acúmulos substantivos de P orgânico total e lábil na camada de 0-5 (Zaia et al., 2008b). Cardoso et al. (2003) relataram que, no geral, os sistemas agroflorestais com café não apresentaram diferenças significativas na quantidade de P orgânico em profundidade, porém, nos monocultivos com café, houve uma redução com a profundidade.

Em sistemas com aporte constante de resíduos orgânicos, o reservatório de P orgânico representa uma fração apreciável do fósforo total (P total)

encontrado no solo, constituído de 5 a 80% do P total (Rheinheimer et al., 2008). Xavier et al. (2009) observaram que a soma das frações do P orgânico foi maior que 50% do P total de todas as áreas avaliadas (acerola orgânica com e sem adubo verde e vegetação nativa). Zaia et al. (2008a) verificaram a maior participação do P orgânico na composição do P total no solo sob acácia (39,6%). Borie e Rubio (2003) mostraram que o P orgânico dos solos florestais representou mais que 50% do P total em comparação ao dos solos agrícolas.

Nos sistemas que condicionam maior acúmulo de matéria orgânica sobre o solo, ocorre o aumento de P na forma orgânica que deve ser mineralizado e, portanto disponibilizado na solução do solo para a possível absorção pelas plantas. Considerando que a fração orgânica lábil encontra-se fracamente ligada à fase sólida do solo e, logo, mais acessível à mineralização, a relação íntima dessa fração com o P disponível sugere que o reservatório lábil deve ocupar um papel importante, principalmente em solos de baixa fertilidade natural (Guerra et al., 1996).

Alguns métodos têm sido desenvolvidos para avaliar a disponibilidade de P para as plantas, tais como, os extratores químicos de Mehlich<sup>-1</sup> e Mehlich<sup>-3</sup> (Santos et al., 2002; Bonfim et al., 2004; Cunha et al., 2007), e o fracionamento químico de P proposta por Hedley et al. (1982), utilizado por alguns autores, a saber, Tokura et al., 2002; Borie e Rubio, 2003; Busato et al., 2005; Santos et al., 2008a; Gatiboni et al., 2008.

Com o uso da técnica de fracionamento químico de P, tem sido observadas diferentes formas desse nutriente no solo, como, por exemplo, a adição de fertilizantes fosfatados, promovendo o acúmulo de P em formas inorgânicas e orgânicas com diferentes graus de energia de ligação, embora o acúmulo seja mais pronunciado nas formas inorgânicas (Santos et al., 2008b). Por outro lado, quando a fonte de fertilizante é de origem orgânica e de fácil decomposição, o acúmulo de P no solo pode ocorrer inicialmente sob forma orgânica, que, em seguida, é convertida em forma inorgânica devido à mineralização microbiana (Côrrea et al., 2004). E se o material adicionado for de difícil decomposição, o P pode permanecer em formas orgânicas (Otabbong et al., 1997) e, portanto, acumuladas no solo.

### **3. TRABALHOS**

#### **MINERALIZAÇÃO DO FÓSFORO ORGÂNICO DO SOLO E AGREGADOS NOS SISTEMAS AGROFLORESTAIS DE CACAU NO SUL DA BAHIA<sup>(1)</sup>**

Joice Cleide de Oliveira Rita<sup>(2)</sup>, Antonio Carlos da Gama-Rodrigues<sup>(3)</sup>, Emanuela Forestieri da Gama-Rodrigues<sup>(4)</sup>

#### **RESUMO**

A grande deposição de resíduos vegetais em sistemas agroflorestais promove acúmulo de fonte orgânica de fósforo (P), que pode ser decomposta e mineralizada por microrganismos e liberando P para as plantas. O objetivo do presente trabalho foi avaliar a mineralização de P orgânico total e lábil do solo e agregados (> 2,0 mm, 2,0-250 mm e < 0,250 mm) nos sistemas agroflorestais de cacau e floresta, de um Latossolo Vermelho-Amarelo na profundidade de 0-10 cm, após incubação por 90 dias. A mineralização das frações orgânicas totais e lábeis do P foi estimada antes da incubação (tempo 0) e após 90 dias de incubação (tempo 1) de amostras de solo e agregados, que foram colocadas na incubadora BOD com temperatura constante de 40°C, mantendo-se a umidade controlada das amostras. Em seguida, as frações orgânicas de P foram avaliadas por meio da extração ácida e básica com uso de carvão ativado. A cobertura vegetal, o tempo de incubação e os agregados do solo tiveram efeito significativo sobre os teores das formas de P total e P lábil. Para cada cobertura estudada, a distribuição do P

orgânico total foi mais representativa nos macroagregados (> 2,0 mm e 2-0,250 mm) no tempo inicial e, nos microagregados (< 0,250 mm), no tempo 1. Todas as coberturas vegetais nos macroagregados apresentaram, com o tempo de incubação, uma redução do P orgânico total de -53% na floresta, -50% no cacau-cabruca e -75% no cacau-eritrina e um incremento nos microagregados. Para o P inorgânico total, os solos sob floresta e cacau-cabruca apresentaram aumento do teor desse P nas suas classes de agregados com o tempo de incubação, que foi de +32% para os macroagregados; +37% para o microagregados da floresta; de +78% para os macroagregados; e +58% para os microagregados do cacau-cabruca. Entretanto, no solo sob sistema agroflorestal de cacau-eritrina, foram encontradas reduções de  $P_i$  total nos macroagregados (-16%) e aumento nos microagregados (+93%). No P orgânico lábil, as coberturas mineralizaram mais nos microagregados, com reduções de: -72% para a floresta, -89% para o cacau-cabruca e -84% para cacau-eritrina. A mineralização de P orgânico total nos macroagregados e o acúmulo de P inorgânico total nos solos sob floresta e cacau-cabruca revelaram a importância desses sistemas como fornecedor de P para o sistema.

Termos de indexação: método Bowman, cacau-cabruca, cacau-eritrina, floresta.

<sup>(1)</sup> Parte da Tese de Doutorado da primeira autora apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Produção Vegetal – da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF.

<sup>(2)</sup> Aluna de Doutorado do Curso de Pós-Graduação em Produção Vegetal/ Laboratório de Solos do Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias (CCTA), UENF. Av. Alberto Lamégo 2000, Parque Califórnia, CEP 28013-602 Campos dos Goytacazes (RJ). E-mail: jcleideoliver@yahoo.com.br

<sup>(3)</sup> Professor Titular do Laboratório de Solos do Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias (CCTA), UENF. Bolsista do CNPq. E-mail: tonygama@uenf.br

<sup>(4)</sup> Professora Associada do Laboratório de Solos do Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias (CCTA), UENF. Bolsista do CNPq. E-mail: emanuela@uenf.br

## SUMMARY: MINERALIZATION ORGANIC PHOSPHORUS SOIL AND AGGREGATES IN COCOA AGROSYSTEMS THE SOUTH OF BAHIA

The large waste disposal plant in agroforestry promotes accumulation of organic source of phosphorus (P), which can be broken down and mineralized by microorganisms and releasing P to plants. The aim of this study was to evaluate the mineralization of organic P total and labile soil and aggregates (> 2,0 mm, 2,0-250 mm and < 0,250 mm) in cocoa agroforestry and forest, an Oxisol in depth of 0-10 cm, after incubation for 90 days. The mineralization of organic fractions total and labile P was estimated before incubation (time 0) and after 90 days of incubation (time 1) of the soil samples and aggregates in BOD incubator with constant temperature of 40°C and humidity controlled. Then the organic phosphorus fractions were evaluated by extracting acidic and basic with activated charcoal. The vegetation, the incubation time and the soil aggregates had a significant effect on the levels of total P forms P and labile. For each coverage studied the distribution of the total organic P was the most representative macroaggregates (> 2,0 mm 2,0-0,250 mm) at baseline and microaggregates (< 0,250 mm) at time 1. All vegetable toppings in presented macroaggregates with the incubation time a reduction of the total organic phosphorus in the forest -53%, -50% and the cabruca-cocoa -75% in eritrina-cocoa and an increase in microaggregates. For the total inorganic P, soils under forest and cabruca-cocoa showed increasing content of P in its aggregate classes with the incubation time, which was +32% for macroaggregates and +37% to microaggregates forest and +78% for macroaggregates and +58% for microaggregates cabruca-cocoa. However in the soil under agroforestry eritrina-cocoa reductions were found in macroaggregates (-16%) and increase in microaggregates (+93%) to total inorganic P. In labile organic P mineralized more covers in microaggregates, with reductions: -71% for the forest, -89% for cabruca-cocoa and -84% for eritrina-cocoa. The mineralization of total organic P in macroaggregates and total inorganic P accumulation in soils under forest and cabruca-cocoa reveals the importance of these systems as a supplier of P for the system.

Index terms: Bowman method, cabruca-cocoa, eritrina-cocoa, forest

## INTRODUÇÃO

Solos altamente intemperizados têm alta capacidade de reter o fósforo (P) na fase sólida, por consequência, muda seu caráter frente à disponibilidade desse nutriente, passando de fonte a dreno da solução e formando complexos de alta energia e de difícil reversibilidade (Gatiboni, 2003; Santos et al., 2008). Dessa maneira, as frações orgânicas do P podem ter uma participação relevante como fonte desse nutriente para as plantas (Novais e Smyth, 1999; Cunha et al., 2007), por meio da decomposição e mineralização dos resíduos vegetais e da matéria orgânica humificada (Fuentes et al., 2006; Rheinheimer et al., 2008).

A matéria orgânica no solo tem um papel crucial no aproveitamento de P pelas plantas (Almeida et al., 2003), na formação dos agregados, unidades básicas da estrutura do solo (Meurer, 2000) e como fonte de energia e nutrientes para os microrganismos quimio-heterotróficos (Bayer e Mielniczuk, 2008). Assim sendo, é importante o aporte e a manutenção de matéria orgânica como, por exemplo, nos sistemas agroflorestais, pela maior concentração de P no solo e pela ciclagem deste nutriente através do reservatório de P orgânico do solo (Nogueira et al., 2008) e dos agregados.

A matéria orgânica protegida no interior de agregados apresenta um tempo de permanência no solo maior do que a matéria orgânica livre, tendo, portanto, maior proteção nos microagregados do que nos macroagregados (Buyanovsky et al., 1994; Feller e Beare, 1997). Assim, os macroagregados formam estruturas mais complexas, diversificadas, com grande quantidade de matéria orgânica retida (Mielniczuk et al., 2003), e seu carbono (C) orgânico é mais lábil, representado, em grande parte, pela matéria orgânica leve e facilmente decomponível pelos microrganismos. No entanto, o C orgânico associado aos microagregados é mais recalcitrante, representado principalmente pela fração mais estável (Six et al., 2002; Bronick & Lal, 2005; Cadish et al., 2006). A distribuição de P orgânico, nas diferentes classes de agregados, poderia também expressar diferentes graus de labilidade e potencial de mineralização das formas orgânicas de P, de modo que a taxa de mineralização desse nutriente no solo pode ser um indicador do seu potencial em suprir a demanda das plantas (Fernandes et al., 2002; Rheinheimer et al., 2008). O objetivo deste estudo foi

avaliar a mineralização de P orgânico total e lábil do solo e agregados de dois sistemas agroflorestais de cacau com 35 anos de idade.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Descrição das áreas e coleta de solo

Amostras de solo foram retiradas de um Latossolo Vermelho-Amarelo de textura argilosa do sistema agroflorestal de cacau-cabruca (mata raleada), com o cultivo do cacau em consórcio com a mata nativa e do sistema agroflorestal de cacau-eritrina (sombreamento definitivo) com o plantio da eritrina (*Erythrina* spp) e cacau. Os dois sistemas agroflorestais têm aproximadamente 35 anos de idade, com sombreamento maior que 30% e sem adubação nos últimos 10 anos. Como sistema referencial, foi utilizada a floresta natural, com pouca intervenção antrópica. Todas as coberturas estudadas estão localizadas na Fazenda Brasileira, no município de Uruçuca, com precipitação média anual de 1500 mm, clima quente, úmido e numa parcela de 1500 m<sup>2</sup> cada cobertura.

Em cada cobertura vegetal, foram coletadas, em março de 2007, quatro amostras compostas de solos, cada uma proveniente de 15 amostras simples, mediante abertura de minitrincheiras na profundidade 0-10 cm, nas entrelinhas, de forma aleatória, para cada amostra simples, que foram então acondicionadas em sacos de polietileno. As amostras de solo foram secas ao ar em sombra por 24 horas e posterior determinação da distribuição dos agregados úmidos e dos teores das frações totais e lábeis de P do solo e dos agregados.

### Análise química e física do solo

As amostras de solo coletadas na camada de 0-10 cm foram secas ao ar e passadas em peneira com 2 mm de abertura, constituindo a terra fina seca ao ar (TFSA). Logo, foram determinadas as características químicas (Quadro 1) e físicas (Quadro 2), conforme os métodos descritos pela EMBRAPA (1999): pH em água; P, K e Na extraíveis por Mehlich<sup>-1</sup>, sendo P determinado por colorimetria (pelo método da vitamina C, modificado por Braga e Defelipo, 1974); K e Na por fotometria de chama; Ca, Mg e Al trocáveis por KCl 1 mol L<sup>-1</sup>, sendo Ca e Mg determinados por espectrofotometria de absorção atômica e o Al por titulação,

com NaOH 0,025 mol L<sup>-1</sup>; H + Al por acetato de cálcio 0,5 mol L<sup>-1</sup> a pH 7,0; N total pelo método Kjeldahl; C-orgânico total do solo e dos agregados (> 2,0; 2-0,250; < 0,250 mm) foram realizados por oxidação com K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 1,25 mol L<sup>-1</sup> em meio ácido (Anderson e Ingram, 1996). A análise granulométrica foi realizada pelo método da pipeta (EMBRAPA, 1999).

**Quadro 1.** Caracterização química dos solos sob floresta natural e sistemas agroflorestais de cacau.

Coberturas	pH	C org <sup>2/</sup>	N	P	K	Ca	Mg	Al
		-----g kg <sup>-1</sup> -----	mg dm <sup>-3</sup>	-----	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----			
Floresta	4,2 b <sup>1/</sup>	32,8 a	2,8 a	4,8 a	0,2 a	0,7 b	0,6 b	1,4 a
Cacau-cabruca	4,8 a	32,2 a	2,5 a	5,2 a	0,1 a	2,5 a	1,4 a	0,4 b
Cacau-eritrina	4,3 ab	35,4 a	2,9 a	6,6 a	0,1 a	1,5 ab	0,9 ab	0,7 b

<sup>1/</sup>Médias seguidas da mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente a 5% pelo teste de Tukey. <sup>2/</sup>C org: carbono orgânico total; N: nitrogênio total, P: fósforo; K: potássio; Ca: cálcio; Mg: magnésio; Al: alumínio.

**Quadro 2.** Caracterização física dos solos sob floresta natural e sistemas agroflorestais de cacau.

Coberturas	Areia	Silte	Argila
	-----g kg <sup>-1</sup> -----		
Floresta	377,2 b <sup>1/</sup>	58,0 b	564,8 a
Cacau-cabruca	501,5 a	55,1 b	439,7 b
Cacau-eritrina	395,5 b	77,5 a	535,9 ab

<sup>1/</sup>Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente a 5% pelo teste de Tukey.

### Tamisação dos agregados úmidos

Para medir a quantidade e a distribuição dos agregados estáveis em água, foi utilizado o método do tamisação úmido (EMBRAPA, 1997, adaptado por Rita, 2007). Em que 60 g de solo foram pesados em placa de vidro por dez vezes (totalizando 600 g/amostra composta), cujas amostras foram previamente umedecidas por meio de um borrifador e mantidas em repouso por 4 horas, a fim de se evitar desestruturação do solo durante agitação mecânica em água. Em seguida, o solo foi transferido para um jogo de peneiras de 2,0 mm; 0,250 mm de abertura de malha e um fundo. As amostras de solo foram agitadas por 15 minutos em um aparelho de Yooder de oscilação vertical, graduado para uma

amplitude de 4 cm de altura e uma frequência de 32 oscilações/minuto. As amostras contidas nas peneiras foram retiradas com o auxílio de jatos de água dos pissetes, passando-as para as placas de petri, previamente pesadas e levadas à estufa a 105°C por 24 horas. Desse modo, três classes de agregados foram obtidas: > 2,0 mm, 2-0,250 mm e < 0,250 mm.

A umidade do solo foi determinada, pesando-se 20 g de amostra de solo, colocada em um cadinho de alumínio de peso conhecido e levada para a estufa a 105°C até obtenção de peso constante e depois transferida para um dessecador. O peso dessa amostra seca a 105°C foi utilizado para o cálculo do percentual de agregados de cada classe, determinado pela seguinte fórmula:

% de agregados = (Peso dos agregados no intervalo de classe/Peso da amostra inicial) X 100

### **Mineralização do P orgânico (Po)**

Para o ensaio de mineralização do P orgânico, foram pesados 20 g de amostras de solo e os diferentes tamanhos de agregados (> 2,0 mm; 2,0 - 0,250 mm e < 0,250 mm) separados do tamisamento úmido, que foram colocados em pequenos potes plásticos, umedecidos a 60% da capacidade de campo e acondicionados em uma incubadora BOD com temperatura constante de 40°C por um período de 90 dias (Tempo 1). A cada três dias, a umidade foi restabelecida ao nível inicial de incubação das amostras com auxílio de uma pipeta. Como ponto inicial, foi determinado o P orgânico total e lábil do solo e agregados antes da incubação das amostras (Tempo 0). A estimativa da quantidade de Po total e Po lábil mineralizados durante o tempo de incubação foi feita com base em Acquaye (1963), de acordo com as seguintes fórmulas:

$$\text{Po-min. (mg kg}^{-1}\text{)} = \text{Po-T1 (mg kg}^{-1}\text{)} - \text{Po-T0 (mg kg}^{-1}\text{)}$$

$$\text{Po-min. (\%)} = (\text{Po-T1} - \text{Po-T0}) / (\text{Po-T0}) * 100$$

Onde: Po-min. é o P orgânico potencialmente mineralizado; Po-T1 é o teor de P orgânico, determinado após incubação de 90 dias; e Po-T0 é o teor de P orgânico, determinado antes da incubação. Valores negativos significam que houve redução

da quantidade de P orgânico com o tempo de incubação, indicando a mineralização dessa fração.

### **Determinação do P orgânico total**

Para a quantificação do P orgânico total, foi utilizado o método de extração que consiste na solubilização das substâncias orgânicas por meio da adição de ácido e, em seguida, aumento do pH do meio pela adição de álcali. O método de Bowman (1989) foi utilizado para quantificar o P orgânico total, modificado por Guerra (1996), mediante o uso de carvão ativado para a clarificação do extrato no momento da determinação de P inorgânico extraído.

Foram pesados 2,0 g de solo seco ao ar (passados em peneira de 180  $\mu\text{m}$  de abertura) em tubo de centrífuga e adicionados 3 ml de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  concentrado ( $18 \text{ mol L}^{-1}$ ) nesse tubo contendo solo. Em seguida, o tubo foi agitado suavemente e logo foram adicionados 4 ml de água destilada em alíquotas de 1 ml por vez, agitando cuidadosamente o tubo. Neste, foram acrescentados 43 ml de água destilada, agitando-se por 15 minutos a 180 rpm e centrifugados por 10 minutos a 1500 rpm. Em seguida, foi utilizado um snap-cap contendo, em sua borda, um funil e um papel de filtro Whatman nº 42 para a filtração do sobrenadante, para a subsequente extração ácida.

O papel de filtro utilizado na filtração do extrato ácido não foi descartado, tendo sido picotado e colocado novamente no tubo de centrífuga com o restante de solo. Depois, foram acrescentados neste tubo 40 ml de NaOH 0,5 M, que foram agitados manualmente até soltar o solo do fundo do tubo. Este foi colocado em banho-maria a  $80^\circ\text{C}$  por 2 horas, posteriormente resfriado em água corrente, centrifugado e filtrado como na extração ácida, porém, obtendo-se a extração alcalina.

Com o sobrenadante filtrado contendo o extrato ácido e o alcalino, foi retirada de cada extrato uma alíquota de 5 ml para a determinação do P total  $\text{H}^+$  e P total  $\text{OH}^-$ , respectivamente, para a digestão. Antes de levar ao bloco digestor, foram adicionados 1 ml de  $\text{HClO}_4$  concentrado mais 1 ml de  $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  saturado no extrato ácido. Para o extrato alcalino, foi utilizado 1 ml de  $\text{HClO}_4$  concentrado. O tubo foi agitado vagarosamente e, a seguir, colocado no bloco digestor em temperatura inicial de  $80^\circ\text{C}$ , elevando-se a mesma lentamente até atingir  $180^\circ\text{C}$ . Os tubos de digestão só foram retirados após a formação de gel incolor no fundo

do tubo. Após o resfriamento do tubo, foram adicionados ao mesmo aproximadamente 9 ml de água deionizada, medindo-se o volume por meio de uma pipeta de 50 ml. Depois, foi retirada uma alíquota para a quantificação do P total  $H^+$  e P total  $OH^-$ .

Com o restante do extrato ácido, foram adicionados 0,5  $cm^3$  de carvão ativo lavado com HCl no snap-cap e, em seguida, filtragem em snap-cap e obtenção do extrato clarificado e posterior determinação do  $P_i$  pelo método Murphy & Riley (1962). Para o extrato alcalino, foram adicionados 2,5  $cm^3$  de carvão ativo lavado com NaOH, filtrado em snap-cap para a determinação do  $P_i$   $OH^-$  pelo método de Dick & Tabatabai (1977). A dosagem do P foi realizada em espectrofotômetro (720 nm).

Assim sendo, o P orgânico ( $H^+$ ), P orgânico ( $OH^-$ ), P orgânico total e P inorgânico total foram calculados abaixo:

$$P_o (H^+) = P \text{ total } (H^+) - P_i (H^+)$$

$$P_o (OH^-) = P \text{ total } (OH^-) - P_i (OH^-)$$

$$P_o \text{ total} = P_o (H^+) + P_o (OH^-)$$

$$P_i \text{ total} = P_i (H^+) + P_i (OH^-),$$

### **Determinação do P orgânico lábil**

Para a obtenção do P lábil, foi realizado o método de extração com  $NaHCO_3$  a 0,5  $mol L^{-1}$  (Bowman & Cole, 1978). Foram pesados 2,5 g de terra fina seca ao ar (TFSA) em snap-cap e adicionados 50 ml de  $NaHCO_3$  0,5  $mol L^{-1}$  com pH ajustado para 8,5. O snap-cap contendo a suspensão foi agitado por 30 minutos a 180 rpm, e deixado em repouso por 30 minutos. Posteriormente, foi utilizado outro snap-cap contendo, em sua borda, um funil e um papel de filtro para a filtragem do sobrenadante.

Do extrato filtrado, foram pipetado 5 ml para tubos de digestão, para determinação do P total lábil e, logo, foram acrescentados 1 ml de  $MgCl_2 \cdot 6H_2O$  saturado e 1 ml de  $HClO_4$ . O tubo foi agitado vagarosamente e, a seguir, colocado no bloco digestor em temperatura inicial de 80°C, elevando-se a mesma lentamente até atingir 180°C.

Os tubos de digestão só foram retirados após a formação de gel incolor no fundo. Após o resfriamento do tubo, foram adicionados ao mesmo aproximadamente 9 ml de água deionizada, cujo volume foi medido por meio de

uma pipeta de 50 ml. No restante do extrato filtrado, foram adicionados 0,5 cm<sup>3</sup> de carvão ativado purificado com NaHCO<sub>3</sub> 0,5 mol L, determinando-se o Pi lábil. O Pi extraído foi quantificado pelo método de Murphy & Riley (1962). A dosagem do P foi realizada em espectrofotômetro (720 nm).

O Po lábil foi calculado: Po lábil = P total lábil do extrato (NaHCO<sub>3</sub>) – Pi lábil (NaHCO<sub>3</sub>)

### **Análise Estatística**

Para o ensaio de incubação, em cada cobertura, fez-se a comparação entre os tempos de incubação e as classes de agregados em relação aos teores de fósforo. Os dados foram submetidos à análise de variância em delineamento inteiramente ao acaso, com três repetições, em esquema fatorial constituído por três coberturas vegetais, dois tempos de incubação e três classes de agregados como fontes de variação. Para comparar as médias, foi usado o teste de Tukey a 5%, utilizando o programa de sistema para análises estatísticas (SAEG), versão 9.1. Cada cobertura vegetal foi considerada um tratamento de efeito-fixos.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **Mineralização de fósforo orgânico (Po) no solo**

No geral, houve efeito significativo das coberturas vegetais e do tempo de incubação sobre os teores de P inorgânico (Pi) e orgânico (Po) total dos solos (Quadro 3). As coberturas vegetais diferiram significativamente entre si em relação às frações de P total no tempo antes da incubação (tempo 0) e após a incubação (tempo 3). Nestes tempos de incubação, o sistema agroflorestal (SAF) de cacau-eritrina apresentou maior teor de Pi e Po total, exceto no tempo 1 da forma orgânica de P.

O teor médio de Po total no solo foi de 79 mg kg<sup>-1</sup> antes da incubação (Quadro 3). Esse teor de Po total está dentro da faixa de valores encontrados para Latossolos que variaram entre 22 e 160 mg kg<sup>-1</sup> (Guerra et al., 1996; Cunha et al., 2007; Zaia et al., 2008; Rita, 2012).

Com a incubação do solo, houve redução de Po total para os SAF's de cacau, de -29% para cacau-cabruca e -57% para o cacau-eritrina (Quadro 3),

porém, com aumento de Pi total, somente no SAF de cacau-cabruca, foi de +34% (Quadro 3). Este fato se deve possivelmente ao menor teor de argila encontrado no SAF de cacau-cabruca (Quadro 2), que possibilitou a quantificação do Pi total liberado da mineralização do Po total, tornando o P disponível para as plantas. Por outro lado, somente o solo sob floresta apresentou aumento de Po total após a incubação de 90 dias, devido à possível reserva de P nesse solo. Nesse sentido, a velocidade de mineralização do P orgânico pode ser influenciada por um grande número de fatores, incluindo o clima predominante e as diversas condições do solo (Tate e Newman, 1982) e a composição química de cada espécie vegetal (Corrêa et al., 2004).

Comportamento distinto ocorreu para os SAF's de cacau com relação ao Pi total liberado da mineralização do Po total, evidenciando o potencial de SAF de cacau-cabruca em acumular Pi no solo. Assim, as condições ambientais controladas (temperatura e umidade) do presente estudo podem ter influenciado a atividade dos microrganismos, que, no caso do solo sob SAF de cacau-cabruca, ocorreu a liberação dos íons ortofosfato e, no SAF de cacau-eritrina, ocorreu a imobilização desse P.

Para os teores das formas de Pi e Po lábil, o efeito do tempo de incubação foi distinto em cada cobertura vegetal (Quadro 4). Nos solos sob floresta e SAF de cacau-eritrina, houve um incremento significativo de Po lábil de +16% e +98%, respectivamente, porém com redução, para o SAF de cacau-cabruca, de aproximadamente -46% (Quadro 4).

O aumento de forma lábil de P orgânico da floresta não favoreceu o acréscimo na liberação de Pi lábil no solo, provavelmente devido à adsorção do P nos coloides desse solo argiloso (Quadro 4). Entretanto, a mineralização ocorrida no SAF de cacau-cabruca pode ter favorecido o aumento de Pi lábil disponível às plantas. As coberturas vegetais pouco diferiram entre si nos teores de Pi e Po lábil nos tempos estudados, exceto no tempo 1 da forma orgânica de P (Quadro 4).

O teor médio de Po lábil no solo foi de 6,2 mg kg<sup>-1</sup> no T0 e de 6,9 mg kg<sup>-1</sup> no T1 (Quadro 3). Guerra et al. (1996) verificaram que o Po lábil variou de 6 a 35 mg kg<sup>-1</sup> nas diferentes classes de solos, porém, para o Latossolo, o teor médio foi de 13 mg kg<sup>-1</sup>.

Alguns trabalhos mostraram que a mineralização de Po total e lábil tendem a valores positivos ou negativos com controle de temperatura e com a

distinta duração de tempo de incubação (Acquaye, 1973; Araújo et al., 2004). Acquaye (1973), por exemplo, verificou que a quantidade de Po total mineralizado tende a ser maior com o aumento do tempo de incubação de 14, 28, 42, 56 e 70 dias, variando de -18 a +30, -9 a +35, -8 a -58, -9 a -62 e -13 a -75 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente. Grierson et al. (1999), por sua vez, observaram que o potencial hídrico, temperatura e o tempo de incubação afetam a liberação de P.

**Quadro 3.** Frações totais de fósforo inorgânico e orgânico de solos sob floresta e sistema agroflorestal de cacau-cabruca e cacau-eritrina, antes do tempo de incubação (T0) e após 90 dias de incubação (T1).

Coberturas	P inorgânico total		P orgânico total	
	Tempo 0	Tempo 1	Tempo 0	Tempo 1
	------(mg kg <sup>-1</sup> )-----			
Floresta	200,5 Ca <sup>v</sup>	206,9 Ca	47,7 Cb	75,8 Aa
Cacau-cabruca	216,3 Bb	290,2 Ba	80,5 Ba	57,1 Bb
Cacau-eritrina	324,6 Aa	301,0 Ab	108,4 Aa	46,6 Cb
Média	247,1	266,0	78,8	59,8

<sup>v</sup>Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna (comparação entre as coberturas no tempo) e minúscula na linha (comparação de cada cobertura nos tempos) não diferem estatisticamente a 5% pelo teste de Tukey. O percentual de mineralização de P orgânico total encontra-se no quadro 1 em anexo.

**Quadro 4.** Frações lábeis de fósforo inorgânico e orgânico dos solos sob floresta e sistema agroflorestal de cacau-cabruca e cacau-eritrina, antes do tempo de incubação (T0) e após 90 dias de incubação (T1).

Coberturas	P inorgânico lábil		P orgânico lábil	
	Tempo 0	Tempo 1	Tempo 0	Tempo 1
	------(mg kg <sup>-1</sup> )-----			
Floresta	3,3 Aa <sup>v</sup>	2,0 Bb	5,6 ABb	6,5 Ba
Cacau-cabruca	2,7 Ab	4,0 Aa	7,9 Aa	4,3 Cb
Cacau-eritrina	4,8 Aa	4,3 Aa	5,1 Bb	10,0 Aa
Média	3,6	3,4	6,2	6,9

<sup>v</sup>Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna (comparação entre as coberturas no tempo) e minúscula na linha (comparação de cada cobertura nos tempos) não diferem estatisticamente a 5% pelo teste de Tukey. O percentual de mineralização de P orgânico lábil encontra-se no quadro 1 em anexo.

O Pi predominou na composição do P total (Pi + Po) nos solos sob todas as coberturas vegetais e em ambos os tempos de incubação, variando de 72 a

87% (Quadro 5). Nesse sentido, a taxa de recuperação encontrada por Guerra et al. (1996) variou entre 48 e 109% do P total; por Cunha et al (2007), entre 50 e 82%; e por Zaia et al. (2008), entre 40 e 169%.

Na média geral, o Po representou 23,8% e 18,9% do P total extraído nos tempos de incubação T0 e T1, respectivamente. Antes do período de incubação, a maior proporção de Po ocorreu nos solos sob SAF's de cacau, enquanto, após a incubação de 90 dias, o solo sob floresta apresentou a maior proporção dessa fração de P (Quadro 5). Dessa maneira, este fato se deve à possível mineralização de Po nos solos sob SAFs de cacau com o tempo de incubação (Quadro 3) que, por consequência, reduziu a proporção dessa fração de P (Quadro 5). Entretanto, no solo sob floresta, o aumento do teor de Po com o tempo de incubação (Quadro 3) pode ter favorecido o incremento dessa forma orgânica na composição do P total (Quadro 5).

A fração Po lábil foi maior do que a Pi lábil em relação ao P total lábil extraído (Quadro 6). O Po lábil representou em média 63,1%, no T0, e 66,01%, no T1, do P total lábil. No T0, a menor proporção de Po lábil ocorreu no solo sob floresta e SAFs de cacau-eritrina, no entanto, com maior proporção de Po após a incubação do solo (Quadro 6). Este fato pode ter ocorrido pelo aumento dos teores de Po nesses solos após a incubação (Quadro 4). Assim sendo, alguns autores, utilizando o mesmo método, verificaram maior participação do Pi em relação à forma total de P, e do Po lábil em relação à forma total lábil de P (Guerra et al., 1996; Cunha et al., 2007; Zaia et al., 2008).

**Quadro 5.** Distribuição percentual das frações totais de fósforo inorgânico e orgânico de solos sob floresta e sistema agroflorestal de cacau-cabruca e cacau-eritrina, antes do tempo de incubação (T0) e após 90 dias de incubação (T1).

Coberturas	Pi/Ptotal <sup>2</sup>	Po/P total	Pi/P total	Po/P total
	Tempo 0		Tempo 1	
	------(%)-----			
Floresta	80,7 a <sup>1</sup>	19,2 b <sup>2</sup>	73,1 b	26,8 a
Cacau-cabruca	72,8 b	27,1 a	83,5 a	16,4 b
Cacau-eritrina	74,9 b	25,0 a	86,5 a	13,4 b
Média	76,1	23,8	81,1	18,8

<sup>1</sup>Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente a 5% pelo teste de Tukey. <sup>2</sup>Pi/P total= Quantidade de fósforo inorgânico em relação ao P total do solo e Po/P total= Quantidade de fósforo orgânico em relação ao P total do solo.

**Quadro 6.** Distribuição percentual das frações lábeis de fósforo inorgânico e orgânico de solos sob floresta e sistema agroflorestal de cacau-cabruca e cacau-eritrina, antes do tempo de incubação (T0) e após 90 dias de incubação (T1).

Coberturas	PiL/PtL <sup>2/</sup>	PoL/PtL	PiL/PtL	PoL/PtL
	Tempo 0		Tempo 1	
	------(%)-----			
Floresta	37,08 b <sup>1/</sup>	62,92 b <sup>2/</sup>	23,53 c	76,46 a
Cacau-cabruca	25,12 c	74,88 a	48,15 a	51,85 c
Cacau-eritrina	48,50 a	51,50 c	30,27 b	69,73 b
Média	36,90	63,10	33,98	66,01

<sup>1/</sup>Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente a 5% pelo teste de Tukey. <sup>2/</sup>PiL/PTL= Quantidade de fósforo inorgânico lábil em relação ao P total lábil do solo e PoL/ PTL= Quantidade de fósforo orgânico lábil em relação ao P total lábil do solo.

### Mineralização de Po em agregados do solo

A distribuição das classes de agregados variou dentro das coberturas estudadas, em que o maior percentual de agregados ocorreu nas classes > 2,0 e entre 2,0-0,250 mm nos solos sob sistemas agroflorestais (Quadro 7). Os macroagregados representaram em torno de 95% e 97% para o cacau-cabruca e cacau-eritrina, respectivamente. Entre as coberturas, o SAF de cacau apresentou o maior percentual de agregados > 2,0 mm (Quadro 7). Por outro lado, a floresta apresentou maior percentual na classe 2,0-0,250 mm. Estes resultados evidenciam comportamento diferente entre os sistemas de manejo, de modo que a deposição de densa camada de resíduos vegetais e o uso do sistema de manejo com menor perturbação do solo podem afetar significativamente a formação dos agregados do solo (Roldán et al., 2005) e a manutenção da matéria orgânica.

A cobertura vegetal, o tempo de incubação e as classes de agregados do solo tiveram efeito significativo sobre os teores das frações de P total (Quadro 8) e P lábil (Quadro 9). Observa-se que as classes de agregados diferiram entre si na capacidade de reter as formas de P total (Pi e Po), de acordo com a cobertura vegetal e o tempo de incubação (Quadro 8).

No geral, os menores teores de Pi total foram encontrados nos agregados < 0,250 mm das coberturas vegetais, nos dois tempos de incubação (Quadro 8). Nos solos sob floresta e cacau-cabruca, houve aumento do teor de Pi total de todas as classes de agregados com o tempo de incubação, que foi de 32% para os macroagregados (> 2,0 e 2,0-0,250 mm) e 37% para o microagregados

(<0,250 mm) da floresta; e 79% para os macroagregados; e 58% para os microagregados do cacau-cabruca. Entretanto, no solo sob SAF de cacau-eritrina, foram encontradas reduções nos macroagregados (-16%) e encontrado aumento nos microagregados (+93%) (Quadro 8).

Para o Po total, foi verificado que a classe de agregado < 0,250 mm apresentou os menores e os maiores teores de Po total nos tempos de incubação T0 e T1, respectivamente (Quadro 8). Todas as coberturas vegetais, nos macroagregados (> 2,0 e 2,0-0,250 mm) apresentaram com o tempo de incubação uma redução, ou seja, mineralização do Po total de -54% na floresta, -51% no cacau-cabruca e -75% no cacau-eritrina, porém ocorreu um incremento nos microagregados (< 0,250 mm) de cada cobertura (Quadro 8).

**Quadro 7.** Distribuição dos agregados de solo estáveis em água sob floresta e sistema agroflorestal de cacau-cabruca e cacau-eritrina, antes do tempo de incubação (T0).

Classes de Agregados (mm)	Floresta	Cacau-cabruca	Cacau-eritrina
	-----%-----		
> 2,0	38,04 Bb <sup>11</sup>	51,75 Aa	48,76 Aab
2,0-0,250	59,27 Aa	43,26 Ab	48,43 Ab
< 0,250	1,84 Ca	3,55 Ba	2,30 Ba

<sup>11</sup> Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna (comparação das classes de agregados dentro de cada cobertura) e minúscula na linha (comparação entre as coberturas dentro de cada classe de agregado) não diferem estatisticamente a 5% pelo teste de Tukey.

De forma geral, nos dois tempos de incubação em cada cobertura, o teor de Pi lábil foi maior nos agregados > 2,0 mm (Quadro 9). Resultado similar foi observado para o Po lábil, exceto para o solo sob SAF de cacau-eritrina, no T0, e o SAF de cacau-cabruca, no T1. Em quase todas as classes de agregados das coberturas, houve redução do Pi e Po lábil com o tempo de incubação. Dessa maneira, as coberturas mineralizaram mais Po lábil dos microagregados (< 0,250 mm), em que as reduções em cada cobertura foram: -72% para a floresta, -89% para o cacau-cabruca e -84% para cacau-eritrina (Quadro 9). Porém, com a mineralização, não houve aumento dos teores de Pi lábil no solo, pela possível fixação dessas frações lábeis nos coloides do solo (Quadro 9).

**Quadro 8.** Formas de fósforo inorgânico e orgânico totais ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) dos agregados em diferentes classes e coberturas, antes do tempo de incubação (T0) e após 90 dias de incubação (T1).

Coberturas	Classes de Agregados (mm)	P inorgânico total		P orgânico total	
		Tempo 0	Tempo 1	Tempo 0	Tempo 1
Floresta	> 2,0	196,0 Bb <sup>1/</sup>	235,7 Ba	46,5 Ba	42,3 Bb
	2,0 - 0,250	236,5 Ab	264,8 Aa	53,6 Aa	29,4 Cb
	< 0,250	129,5 Cb	177,8 Ca	21,2 Cb	52,0 Aa
Cacau-cabruca	> 2,0	232,5 Ab	261,9 Ba	76,7 Aa	57,6 Bb
	2,0 - 0,250	195,0 Bb	323,6 Aa	67,8 Ba	50,3 Cb
	< 0,250	146,5 Cb	232,0 Ca	45,9 Cb	75,1 Aa
Cacau-eritrina	> 2,0	327,4 Aa	285,1 Cb	82,1 Ba	65,6 Bb
	2,0 - 0,250	311,5 Ba	302,0 Bb	111,7 Aa	49,6 Cb
	< 0,250	207,0 Cb	401,0 Aa	60,1 Cb	84,4 Aa

<sup>1/</sup>Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna (comparação das classes de agregados dentro da cobertura em cada tempo) e minúscula na linha (comparação da classe de agregado de cada cobertura nos tempos) não diferem estatisticamente a 5% pelo teste de Tukey. O percentual de mineralização de P orgânico total encontra-se no quadro 2 em anexo e o percentual de P inorgânico total encontra-se no quadro 3 em anexo.

Nas classes de agregados dos solos, a proporção da fração Po em relação ao P total e ao P total lábil extraídos variou com a cobertura vegetal e o tempo de incubação (Quadros 10 e 11). A maior proporção média de Po total da cobertura ocorreu nos macroagregados (> 2,0 e 2,0-0,250 mm) no T0 e nos microagregados (< 0,250 mm) no T1 (Quadro 10). Para o Po lábil no T0, a distribuição dessa fração de P nas classes de agregados foi similar nos SAF de cacau, tendo-se as maiores proporções de Po lábil, nas classes entre 2,0-0,250 mm e < 0,250 mm (Quadro 11). No entanto, no T1, todas as coberturas apresentaram a menor proporção do Po lábil nos microagregados (< 0,250 mm).

Para estimar o potencial de mineralização de P orgânico, tem sido utilizada a relação de carbono orgânico (Corg)/ fósforo orgânico (Po). Nessa condição, a distribuição do carbono orgânico nas classes de agregados diferiu entre as coberturas vegetais (Corg), principalmente na classe de agregado entre 2,0-0,250 mm, em que o sistema agroflorestal sobre cacau-eritrina apresentou o maior teor de Corg, ao contrário do solo sob floresta (Quadro 12). Assim sendo, o percentual de Corg/Po foi menor nos SAF's de cacau, variando de 41 a 64 nas duas classes de agregados (Quadro 12).

Em alguns trabalhos, a relação C/P > 300 indica a imobilização líquida de P no solo (Siqueira e Moreira, 2001). Por exemplo, em solos sob leguminosas, a relação C/P foi em torno de 206 a 247 (Mukuralinda et al., 2009), porém, nos solos florestais, o estudo da relação C/Po foi de 138 a 160, mostrando que a mineralização de P orgânico pode ocorrer facilmente, levando a um aumento do nível de P inorgânico disponível, desde que o P liberado não seja fixado em óxidos e hidróxidos de Fe e Al (Solomon et al., 2002).

Os solos estudados apresentaram mais Pi lábil nos agregados maiores (> 2mm) do que nos microagregados (< 250 mm), em ambos os tempos de incubação (Quadro 9). Com exceção do solo sob floresta após a incubação, em que o Pi lábil não diferiu entre os agregados, evidenciando que o sistema mais estável e com menor perturbação do solo proporciona benefícios às propriedades física, química e biológica do solo. Em todas as coberturas, o Po lábil foi mais mineralizado nos microagregados (< 0,250 mm), mas a maior parte do Pi lábil liberado foi reduzido no solo (Quadro 9).

Em todas as coberturas, apesar da liberação de P disponível para o sistema solo-planta, proveniente de fontes mais lábeis, não ocorreu a acumulação dessa fração na solução do solo, devido à possível fixação pela fase mineral do solo (transformação de P lábil em P não-lábil) ou pela imobilização do P pelos microrganismos. Nesse sentido, o Pi lábil extraído por bicarbonato pode ser considerado a quantidade de P disponível às plantas e o Po lábil a quantidade potencialmente mineralizável (Bowman & Cole, 1978).

**Quadro 9.** Formas de fósforo inorgânico e orgânico lábeis ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) dos agregados em diferentes classes e coberturas, antes do tempo de incubação (T0) e após 90 dias de incubação (T1).

Coberturas	Classes		P inorgânico lábil		P orgânico lábil	
	de	Agregados	Tempo 0	Tempo 1	Tempo 0	Tempo 1
			(mm)			
Floresta	> 2,0		5,5 Aa <sup>1/</sup>	2,0 Ab	8,1 Aa	7,3 Aa
	2,0 - 0,250		6,2 Aa	2,0 Ab	6,9 Aa	4,1 Bb
	< 0,250		3,7 Ba	2,2 Ab	4,6 Ba	1,3 Cb
Cacau- cabruca	> 2,0		7,0 Aa	3,6 Ab	15,6 Aa	4,5 Bb
	2,0 - 0,250		4,0 Ba	2,3 Bb	12,1 Ba	6,7 Ab
	< 0,250		4,0 Ba	3,00 ABb	14,0 ABa	1,5 Cb
Cacau- eritrina	> 2,0		8,5 Aa	6,3 Ab	14,9 Ba	11,6 Aa
	2,0 - 0,250		5,5 Ba	4,3 Ba	19,5 Aa	9,4 Ab
	< 0,250		5,5 Ba	3,0 Bb	19,7 Aa	3,0 Bb

<sup>1/</sup>Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna (comparação das classes de agregados dentro da cobertura em cada tempo) e minúscula na linha (comparação da classe de agregado de cada cobertura nos tempos) não diferem estatisticamente a 5% pelo teste de Tukey. O percentual de mineralização de P orgânico lábil encontra-se no quadro 2 em anexo.

A redução de Po lábil e total demonstra a possível mineralização de Po e a conseqüente liberação de Pi na solução do solo. Em contrapartida, o aumento do Po total com o tempo de incubação somente nos microagregados (< 0,250 mm) (Quadro 8) pode ter sido influenciado pela matéria orgânica mais humificada, proporcionando maior estabilização de P (Stevenson, 1994) e, portanto, ter sido determinado pelo método estudado. Além disso, a umidade a 60% da capacidade de campo pode ter influenciado a mineralização de Po nos microagregados, tendo em vista que o acúmulo de água propicia a formação de um ambiente redutor, inibindo a atividade microbiana e resultando em taxas menores de mineralização e, por conseqüência, maior acumulação de Po. De fato, a baixa disponibilidade

hídrica limita a mineralização e a liberação de nutrientes do material orgânico (Severino et al., 2006; Espíndola et al., 2006).

**Quadro 10.** Distribuição percentual das frações totais de fósforo inorgânico (Pi) e orgânico (Po) dos agregados em diferentes classes e coberturas, antes do tempo de incubação (T0) e após 90 dias de incubação (T1).

Coberturas	Classes de Agregados (mm)	Pi/Ptotal		Po/Ptotal	
		Tempo 0	Tempo 1	Tempo 0	Tempo 1
Floresta	> 2,0	80,8 Bb <sup>1/</sup>	84,7 Ba	19,1 Aa	15,2 Bb
	2,0 - 0,250	81,5 Bb	89,9 Aa	18,4 Aa	10,0 Cb
	< 0,250	85,8 Aa	77,3 Cb	14,1 Bb	22,6 Aa
Cacau-cabruca	> 2,0	75,1 ABb	81,9 Ba	24,8 ABa	18,0 Bb
	2,0 - 0,250	74,2 Bb	86,5 Aa	25,8 Aa	13,4 Cb
	< 0,250	76,1 Aa	75,5 Ca	23,8 Ba	24,4 Aa
Cacau-eritrina	> 2,0	79,9 Ab	81,3 Ca	20,0 Ca	18,7 Ab
	2,0 - 0,250	73,6 Cb	85,8 Aa	26,4 Aa	14,1 Cb
	< 0,250	77,5 Bb	82,6 Ba	22,5 Ba	17,4 Bb

<sup>1/</sup>Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna (comparação das classes de agregados dentro da cobertura em cada tempo) e minúscula na linha (comparação da classe de agregado de cada cobertura nos tempos) não diferem estatisticamente a 5% pelo teste de Tukey.

A mineralização basal de Po pode ser definida como a mineralização da matéria orgânica num solo que não tenha recebido adição recente de matéria orgânica fresca (Oehl et al., 2004), representando, assim, o potencial basal de um solo em liberar Pi da fração orgânica de P para a solução do solo (Oehl et al., 2001). Simultaneamente, ao longo do período de incubação, a remineralização pode ocorrer devido à reciclagem do P microbiano decorrente da morte e predação dos microrganismos, caracterizando a mineralização do Po recentemente sintetizado (Randhawa et al., 2005).

**Quadro 11.** Distribuição percentual das frações lábeis de fósforo inorgânico (PiL) e orgânico (PoL) dos agregados do solo em diferentes classes e coberturas, antes do tempo de incubação (T0) e após 90 dias de incubação (T1).

Coberturas	Classes de Agregados (mm)	Pil/Ptotal lábil -----%-----			
		Tempo 0		Tempo 1	
		Tempo 0	Tempo 1	Tempo 0	Tempo 1
Floresta	> 2,0	40,3 Ba <sup>1/</sup>	21,5 Cb	59,6 Ab	78,4 Aa
	2,0 - 0,250	47,2 Aa	33,0 Bb	52,7 Bb	66,9 Ba
	< 0,250	44,4 ABb	63,6 Aa	55,5 ABa	36,3 Cb
Cacau-cabruca	> 2,0	30,8 Ab	44,7 Ba	69,1 Ba	55,2 Bb
	2,0 - 0,250	24,9 Ba	25,5 Ca	75,0 Aa	74,4 Aa
	< 0,250	22,2 Bb	66,2 Aa	77,7 Aa	33,7 Cb
Cacau-eritrina	> 2,0	36,3 Aa	35,3 Ba	63,6 Ba	64,6 Aa
	2,0 - 0,250	21,9 Bb	31,4 Ba	78,0 Aa	68,5 Ab
	< 0,250	21,7 Bb	49,6 Aa	78,2 Aa	50,3 Bb

<sup>1/</sup> Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna (comparação das classes de agregados dentro da cobertura em cada tempo) e minúscula na linha (comparação da classe de agregado de cada cobertura nos tempos) não diferem estatisticamente a 5% pelo teste de Tukey.

**Quadro 12.** Teor de carbono orgânico (g kg<sup>-1</sup>) e distribuição percentual (%) de Corg/P orgânico total em diferentes classes de solos sob floresta e sistema agroflorestal de cacau-cabruca e cacau-eritrina, antes do tempo de incubação (T0).

Coberturas	> 2,0 mm		2,0-0,250 mm	
	Corg	Corg/Po <sup>2/</sup>	Corg	Corg/Po
Floresta	46,9 a <sup>1/</sup>	96,1 a	42,1 b	78,79 a
Cacau-cabruca	44,8 a	58,4 b	43,7 ab	64,50 b
Cacau-eritrina	50,2 a	61,1 b	46,6 a	41,76 c

<sup>1/</sup>Médias seguidas pela mesma letra na coluna (comparação entre as coberturas dentro de cada classe de agregado) não diferem estatisticamente a 5% pelo teste de Tukey. <sup>2/</sup>Corg/Po= Quantidade de carbono orgânico (Corg) total em relação ao P orgânico total.

Nessas condições, a mineralização de Po pode ser influenciada pelas propriedades físico-químicas dos solos, fertilização ou não, composição do material a ser decomposto, sistema de manejo, temperatura, umidade e tempo de incubação (Acquaye, 1963, Tate & Newman, 1982; Corrêa et al., 2004; Fernandes et al., 2006). Araújo et al. (2004), por sua vez, encontraram acréscimos e decréscimos nas frações Pi e Po dos solos por 120 dias de incubação e associaram este resultado à influência do tempo de incubação na mineralização do P orgânico pela população microbiana.

Variação das frações de P (Pi e Po) nas classes de agregados dos solos mostra o distinto potencial das coberturas vegetais estudadas em reciclar o P do solo, principalmente os macroagregados do solo sob cacau-cabruca e microagregados do cacau-eritrina, que liberaram mais P com o tempo de incubação. Assim como o C orgânico apresenta diferentes níveis de labilidade, o Po pode seguir a mesma tendência, em que o Po acumulado nas menores classes de agregados do solo estaria protegido fisicamente da ação dos microrganismos do solo. Contudo, isso não evidencia que as formas de Po predominante nas menores classes de agregados sejam as mais recalcitrantes, como normalmente ocorre com as formas de C orgânico (Six et al., 2002; Cadisch et al., 2006).

Deve-se considerar também que os diversos grupos de fosfatos que compõem a forma orgânica do P no solo influem na sua intensidade de mineralização, visto que as formas de Po representam os íons fosfatos ligados aos compostos orgânicos e sua labilidade está diretamente relacionada à suscetibilidade de decomposição do radical orgânico ao qual o fosfato está ligado (Gatiboni et al., 2008).

Os fosfatos orgânicos diéster possuem estrutura química que facilitam sua decomposição, tornando facilmente mineralizáveis e de baixa persistência nos solos, perfazendo em torno de 10% do P orgânico total do solo (Turrion et al., 2010). Por outro lado, cerca de 80% do P orgânico total do solo é constituído por fosfatos monoéster, compostos de alta carga residual e reatividade com os coloides inorgânicos do solo e, assim, de baixa disponibilidade às plantas (Rheinheimer, 2000).

Estudos futuros sobre a distribuição de formas de Po e seu potencial de mineralização em diferentes classes de agregados do solo poderiam esclarecer a

influencia de diferentes tipos de uso do solo sobre a acumulação de Po no solo e a disponibilidade de P para as plantas em solos de avançado estágio de intemperismo.

## CONCLUSÃO

- Os teores de fósforo total e lábil do solo avaliados antes e após a incubação foram influenciados pela cobertura vegetal;
- O tempo de incubação de 90 dias promoveu a mineralização de fósforo orgânico (Po) total e lábil do solo sob sistema agroflorestal de cacau-cabruca, porém com acréscimos em seus teores totais e lábeis de fósforo inorgânico (Pi);
- As coberturas vegetais mostram capacidade distinta em reciclar o P nas classes de agregados, de modo que, somente nos teores do Po total, a classe < 0,250 mm (microagregados) foi mais representativa após a incubação de 90 dias;
- A mineralização de Po total dos macroagregados (> 2,0 e 2,0-0,250 mm) favoreceu incremento de Pi nessas classes de agregados do solo sob floresta e cacau-cabruca;
- A mineralização do Po lábil ocorrida nas coberturas vegetais não proporcionou acúmulo de Pi lábil nas classes de agregados;

## AGRADECIMENTOS

À CAPES, pela concessão de bolsa de doutorado à primeira autora, ao Curso de Pós-Graduação em Produção Vegetal da Universidade Estadual do Norte Fluminense, pelo suporte estrutural, e à FAPERJ, pelo suporte financeiro do projeto.

**LITERATURA CITADA**

- ACQUAYE, D.K. Some significance of soil organic phosphorus mineralization in the phosphorus nutrition of cocoa in Ghana. *Plant and Soil*, p.65-80, 1963.
- ALMEIDA, J.A.; TORRENT, J.; BARRÓN, V. Cor de solo, formas de fósforo e adsorção de fosfatos em Latossolos desenvolvidos de basalto do extremo sul do Brasil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.27, p.985-1002, 2003
- ARAÚJO, M.S.B.; SCHAEFER, C.E.G.R.; SAMPAIO, E.V.S.B. Frações de fósforo após extrações sucessivas com resina e incubação, em Latossolos e Luvisolos do semi-árido de Pernambuco. *Revista Brasileira Ciência do Solo*, 27:985-1002, 2004.
- BAYER, C., MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica, In: Santos, G.A; Silva, L.S. Canellas, L.P. Camargo, F.A.O. Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais & subtropicais, 2. ed. rev. e atual. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p.7-16.
- BOWMAN, R.A. A sequential extraction procedure with concentrated sulfuric acid and diluted base for soil organic phosphorus. *Soil Science Soc. Am. J.* 53:326-366, 1989.
- BOWMAN, R.A. & COLE, C.V. Transformation of organic phosphorus substrates in soil as evaluated by NaHCO<sub>3</sub> extraction. *Soil Sci.*, 125:95-101, 1978.
- BRONICK, C.J. & LAL, R. Soil structure and management: a review. *Geoderma*, 124:3-22, 2005.
- BUYANOVSKY, G.A.; ASLAM, M.; WAGNER, G.H. Carbon turnover in soil physical fractions. *Soil Science Society of America Journal*, 58:1167-1173, 1994.
- CADISH, G.; MUTUO, P.; MERCADO, A.; HAIRIAH, K.; NYAMUGAFATA, P.; BOYE, A.; ALBRECHT, A. Organic matter management in tropical agroforestry systems: soil quality, soil C storage and soil atmosphere gas exchange. In: GAMA-RODRIGUES, A.C.; BARROS, N.F. de; GAMA-RODRIGUES, E.F. da; FREITAS, M.S.M.; VIANA, A.P.; JASMIN, J.M.; MARCIANO, C.R.; CARNEIRO, J.G. de A. (eds). *Sistemas Agroflorestais: Bases Científicas para o desenvolvimento sustentável*. Campos dos Goytacazes, UENF, 2006. p.275-290

- CORRÊA, J.C., MANIR, M., ROSOLEM, C.A. Fósforo no solo e desenvolvimento de soja influenciados pela adubação fosfatada e cobertura vegetal. *Pesquisa agropecuária brasileira*, 39:1231-1237, 2004.
- CUNHA, G.M.; GAMA-RODRIGUES, A.C.; COSTA, G.S.; VELLOSO, A.C.X. Fósforo orgânico em solos sob florestas montanas, pastagens e eucalipto no Norte Fluminense. *R. Bras. Ci. Solo*, 31:667-671, 2007.
- DICK, W.A. & TABATABAI, M.A. Determination of orthophosphate in aqueous solutions containing labile organic and inorganic phosphorus compounds. *J. Environ. Qual.*, 6:82-85, 1977.
- ESPINDOLA, J.A.A.; GUERRA, J.G.M.; ALMEIDA, D.L.; TEIXEIRA, M.G.; URQUIAGA, S. Decomposição e liberação de nutrientes acumulados em leguminosas herbáceas perenes consorciadas com bananeira. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 30:321-328, 2006.
- FELLER, C. & BEARE, M.H. Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics. *Geoderma*, 79:69-116, 1997.
- FERNANDES, L.A.; FAQUIN, V.; FURTINI NETO, A.E.; CURI, N. Formas de fósforo em solos de várzea e biodisponibilidade para o feijoeiro. *Pesq. Agropec. Bras.*, 37:373-383, 2002.
- FERNANDES, M.M.; PEREIRA, M.G.; MAGALHÃES, L.M.S.; CRUZ, A.R.; GIÁCOMO, R.G. Aporte e decomposição de serapilheira em áreas de floresta secundária, plantio de sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.) e andiroba (*Carapa guianensis* Aubl.) na flona Mário Xavier, RJ. *Ciência Florestal*, 16:163-175, 2006.
- FUENTES, B.; BOLAN, N.; NAIDU, R.; MORA, M.L. Phosphorus in organic waste-soil systems. *R.C.Suelo Nutr. Veg.* 6:64-83, 2006.
- GATIBONI, L.C.; KAMINSKI, J.; RHEINHEIMER, D.S.; BRUNETTO, G. Fósforo da biomassa microbiana e atividade de fosfatases ácidas durante a diminuição do fósforo disponível no solo. *Pesquisa agropecuária brasileira*, 43:1085-1091, 2008.
- GATIBONI, L.C. Disponibilidade de formas de fósforo do solo às plantas. Tese (Doutorado em Agronomia) – Santa Maria – RS, Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, 2003. 247p.
- GUERRA, J.G.M.; ALMEIDA, D.J.; SANTOS, G.A., FERNANDES, M.S. Conteúdo

- de fósforo orgânico em amostras de solos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 31:291-299, 1996.
- GRIERSON, P.F., COMERFORD, N.B., JOKELA, E.J. Phosphorus mineralization and microbial biomass in a Florida Spodosol: effects of water potential, temperature and fertilizer application. *Biol Fertil Soils*, 28:244-252, 1999.
- MEURER J.E. Introdução à ciência do solo, In: Meurer, E.J. Fundamentos de química do solo, gênese, Porto Alegre, 2000. p.11-21.
- MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F.M.; LOVATO, T., Fernandes, F.F., Debarba, L. Manejo de solo e culturas e sua relação com os estoques de carbono e nitrogênio do solo. *Tópicos em Ciência do Solo*, 3:209-249, 2003.
- 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.
- MUKURALINDA, A. TENYWA, J.S. VERCHOT L. OBUA, J. NAMIREMBE, S. Decomposition and phosphorus release of agroforestry shrub residues and the effect on maize yield in acidic soils of Rubona, southern Rwanda. *Nutr Cycl Agroecosyst*, 84:155-166, 2009.
- NOGUEIRA, R.S.; OLIVEIRA, T.S.; MENDONÇA, E.S.; FILHO, J.A.A. Formas de fósforo em Luvisolo Crômico Órtico sob sistemas agroflorestais no município de Sobral-CE. *Revista Ciência Agronômica*, 39:494-502, 2008.
- NOVAIS, R.F. & SMYTH, T.J. Fósforo em solo e planta em condições tropicais. UFV, DPS, Viçosa-MG, 1999. 399p.
- OHEL, F., FROSSARD, E., FLIESSBACH, A., DUBOIS, D., OBERSON, A. Basal organic phosphorus mineralization in soils under different farming systems. *Soil Biology & Biochemistry*, 36:667-675, 2004.
- OHEL, F.; OBERSON, A.; SINAJ, S.; FROSSARD, E. Organic phosphorus mineralization studies using isotopic dilution techniques. *Soil Science Society of America Journal*, 65:780-787, 2001.
- RANDHAWA, P.S.; CONDRON, L.M, DI, H.J.; SINAJ, S.; MCLEANAGHEN, R.D. Effect of green manure addition on soil organic phosphorus mineralization. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 73:181-189, 2005.
- RHEINHEIMER, D.S. Dinâmica do fósforo em sistemas de manejo do solo. Tese (Doutorado em Ciência do Solo), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

- RHEINHEIMER, D.S.; CASSOL, P.C.; KAMINSKI, J.; ANGHINONI, I. Fósforo orgânico do solo. In: SANTOS, G. A; SILVA, L.S. CANELLAS, L.P. CAMARGO, F.A.O. Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais & subtropicais, 2. ed. rev. e atual. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p. 101-109.
- RITA, J.C.O. Carbono das frações da matéria orgânica e classes de agregados de solos sob Sistemas Agroflorestais de Cacau no Sul da Bahia. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Campos dos Goytacazes - RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense, 2007. 66p.
- RITA, J.C.O. Mineralização das frações orgânicas de fósforo do solo e agregados das coberturas vegetais do Norte Fluminense e dos agrossistemas de cacau no Sul da Bahia. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Campos dos Goytacazes - RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense, 2012. 97p.
- ROLDÁN, A., SALINAS-GARCÍA, J.R., ALGUACIL, M.M., CARAVACA, F. Changes in soil enzyme activity, aggregation and C sequestration mediated by conservation tillage practices and water regime in a maize field. *Applied Soil Ecology*, 30:11-20, 2005.
- SANTOS, J.Z.L.; FURTINI NETO, A.E.; RESENDE, A.V.; CURI, N., CARNEIRO, L.F.; COSTA S.E.V.G.A. Frações de fósforo em solo adubado com fosfatos em diferentes modos de aplicação e cultivado com milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32:705-714, 2008.
- SEVERINO, L.S.; FERREIRA, G.B.; MORAES, C.R.A.; GONDIM, T.M.S.; CARDOSO, G.D.; VIRIATO, J.R.; BELTRÃO, N.E.M. Produtividade e crescimento da mamoneira em resposta à adubação orgânica e mineral. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 41:879-882, 2006.
- SIQUEIRA, J.O., MOREIRA, F.M.S. *Biologia e bioquímica do solo*. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 291p, 2001.
- SIX, J., CONANT, R.T.; PAUL, E.A.; PAUSTIAN, K. Stabilization mechanisms of soil organic matter: Implications for C-saturation of soils. *Plant Soil*, 241: 155-176, 2002.
- SOLOMON, D., LEHMANN, J., MAMO, T., FRITZCHE, F., ZECH, W. Phosphorus forms and dynamics as influenced by land use changes in the sub-humid Ethiopian highlands. *Geoderma*, 105:21-48, 2002.

- STEVENSON, F.J. Humus chemistry: Genesis, composition, reactions. New York: John Wiley & Sons, 1994. 496p.
- TATE, K.R. & NEWMAN, R.H. Phosphorus fractions of a climosequence of soils in New Zealand Tussock Grassland. *Soil biology & biochemistry*, 14:191-196, 1982.
- TURRION M.B.; LAFUENTE, F.; AROCA, M-J.; LÓPEZ, O., Mulas, R., Ruipérez, C. Characterization of soil phosphorus in a fire-affected forest Cambisol by chemical extractions and <sup>31</sup>P-NMR spectroscopy analysis, *Science of the Total Environment*, doi:10.1016/j.scitotenv.2010.03.035, 2010.
- ZAIA, F.C.; GAMA-RODRIGUES, A.C.; GAMA-RODRIGUES, E.F; MACHADO, R.C.R. Fósforo orgânico em solos sob agrossistemas de cacau. *Revista Brasileira Ciência do Solo*, 32:1987-1995, 2008.

MINERALIZAÇÃO DAS FRAÇÕES ORGÂNICAS DE FÓSFORO EM CLASSES  
DE AGREGADOS DO SOLO SOB DIFERENTES COBERTURAS VEGETAIS DO  
NORTE FLUMINENSE <sup>(1)</sup>

Joice Cleide de Oliveira Rita<sup>(2)</sup>, Antonio Carlos da Gama-Rodrigues<sup>(3)</sup>, Emanuela  
Forestieri da Gama-Rodrigues<sup>(4)</sup>

**RESUMO**

Em solos tropicais altamente intemperizados, a disponibilidade de fósforo (P) para as plantas é dependente da mineralização de P orgânico. O objetivo do presente trabalho foi estimar a mineralização de P orgânico (Po) total e lábil em classes de agregados (> 2,0 mm, 2,0-0,250 mm e < 0,250 mm) de solos sob leguminosas florestais, pasto e capoeira de um Latossolo Vermelho-Amarelo na profundidade de 0-10 cm, após incubação de 90 dias. A mineralização das frações orgânicas totais e lábeis do P foi estimada antes da incubação (tempo 0) e após 90 dias de incubação (tempo 1) de amostras de solo e agregados, que foram colocados na incubadora BOD com temperatura constante de 40 °C e mantendo a umidade controlada das amostras. Em seguida, as frações orgânicas de P foram avaliadas por meio da extração ácida e básica com o uso de carvão ativado. A cobertura vegetal, o tempo de incubação e as classes de agregados do solo tiveram efeito significativo sobre os teores das frações de P total e P lábil (Pi e Po). Houve reduções de Po total em todas as classes de agregados do sabiá: -42%, -52% e -37% dos agregados > 2,0 mm, 2,0-0,250 mm e < 0,250 mm, respectivamente. Ao

contrário, para o solo sob acácia, que apresentou aumento de  $P_o$  total, principalmente nos microagregados ( $< 0,250$  mm). Para o  $P_o$  lábil, houve acentuada redução com o tempo de incubação nos agregados  $> 2,0$  mm (-80%),  $2,0-0,250$  (-36%)  $< 0,250$  mm (-94%) da acácia. Nas classes de agregados dos solos, a proporção da fração  $P_o$  em relação ao  $P$  total e  $P$  lábil total extraídos variou com a cobertura vegetal e o tempo de incubação. Desse modo, a distribuição das frações de  $P$  ( $P_i$  e  $P_o$ ) nas classes de agregados dos solos revelou distinta capacidade das coberturas vegetais em reciclar o  $P$  do solo. Como o  $P_o$  predominou na composição do  $P$  lábil total, a disponibilidade de  $P$  para as plantas estaria estreitamente relacionada à mineralização desta fração de  $P$ .

Termos de indexação: método Bowman, leguminosas florestais, pastagem, capoeira.

<sup>(1)</sup> Parte da Tese de Doutorado da primeira autora apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Produção Vegetal – da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF. Recebido para publicação em 19/07/2012.

<sup>(2)</sup> Aluna de Doutorado do Curso de Pós-Graduação em Produção Vegetal/ Laboratório de Solos do Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias (CCTA), UENF. Av. Alberto Lamego 2000, Parque Califórnia, CEP 28013-602 Campos dos Goytacazes (RJ). E-mail: jcleideoliver@yahoo.com.br

<sup>(3)</sup> Professor Titular do Laboratório de Solos do Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias (CCTA), UENF. Bolsista do CNPq. E-mail: tonygama@uenf.br

<sup>(4)</sup> Professora Associada do Laboratório de Solos do Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias (CCTA), UENF. Bolsista do CNPq. E-mail: emmanuel@uenf.br.

SUMMARY: MINERALIZATION OF ORGANIC PHOSPHORUS FRACTIONS IN  
CLASS OF SOIL AGGREGATES UNDER DIFFERENT PLANT COVERS  
NORTHERN RIO DE JANEIRO STATE, BRAZIL

In highly weathered tropical soils the availability of phosphorus (P) to plants is dependent on the mineralization of organic phosphorus. The aim of this study was to estimate the mineralization of organic (Po) in total and labile P aggregate classes (> 2,0 mm, 2,0-0,250 mm and < 0,250 mm) of soils under forest legumes, secondary forest and pasture of a dystrophic red-Yellow depth of 0-10 cm, after incubation for 90 days. The mineralization of the organic fractions total labile P was estimated before incubation (time 0) and after 90 days incubation (time 1) of soils and aggregates, were put in BOD incubator at a constant temperature of 40°C and controlled humidity. Then the organic phosphorus fractions were analyzed by extracting acidic and basic with the use of activated charcoal. The vegetation, the incubation time and the classes of soil aggregates had a significant effect on the levels of P fractions and total labile P (Pi and Po). There were reductions in total Po all classes of aggregates through: -42%, -52% and -37% of households > 2,0 mm, 2 to 0,250 mm and < 0,250 mm, respectively. In contrast to the soil under Acacia which increased the total Po, especially in microaggregates (< 0,250 mm). For labile Po was markedly decreased with incubation time in the aggregates > 2.0 mm (-80%) 2,0-0,250 (-36%) < 0,250 mm (-94%) Acacia. In classes of soil aggregates, the proportion of Po fraction relative to total P and labile P extracted varied with total vegetation cover and incubation time. Thus, the distribution of P fractions (Pi and Po) in the classes of soil aggregates revealed distinct ability of cover crops on soil phosphorus recycling. As Po predominated in the composition of total labile P, P availability to plants is closely related to the mineralization of this fraction of P.

Index terms: Bowman method, *Acacia auriculiformes*, *Mimosa caesalpinifolia*, pasture, second forest.

## INTRODUÇÃO

Fósforo (P) é o nutriente mais limitante na produtividade da maioria das plantas cultivadas em solos altamente intemperizados de ambientes tropicais (Novais & Smyth, 1999). Em particular, em solos sob coberturas florestais e pastagens, formas orgânicas de P podem representar de 15 a 37% do P total extraído, sendo que 41 a 87% do P lábil total estão na forma orgânica (Cunha et al., 2007). Nesse sentido, o P orgânico (Po) torna-se uma importante fonte de P para as plantas mediante a decomposição e a mineralização da fração de Po lábil, que é facilmente mineralizada, contribuindo com a disponibilidade de P para as plantas (George et al., 2006; Gatiboni, 2003).

O Po do solo é derivado de resíduos dos microrganismos, plantas ou animais, e pode ser reciclado pela biomassa microbiana do solo ou estabilizado na fase mineral do solo (Oehl et al., 2004). A mineralização, como proposta por McGill & Cole (1981), pode ser dividida em dois processos: 1) Mineralização bioquímica que é a liberação de P inorgânico (Pi) de compostos orgânicos através de exoenzimas fosfatase e regulada pela demanda por P; 2) Mineralização biológica que é a liberação de Pi de materiais orgânicos, durante a oxidação do carbono (C), pelos organismos do solo, regulada pela demanda de energia.

O conteúdo de Po no solo está estreitamente associado à capacidade de acumulação de C orgânico no solo (Nizigueba & Bünemann, 2005). Nesse caso, os mecanismos que atuam na acumulação de C orgânico no solo poderiam, em certo limite, ser aplicados ao Po. Dentre eles, a proteção física da matéria orgânica do solo, através da sua oclusão dentro de agregados ou em pequenos poros, tem sido considerada como importante mecanismo para reduzir a biodisponibilidade e a acessibilidade da matéria orgânica do solo por microrganismos e enzimas do solo (Gama-Rodrigues et al., 2010). Além disso, de acordo com as classes de agregados, o C orgânico apresenta diferentes níveis de labilidade. O C orgânico associado aos macroagregados (> 250  $\mu\text{m}$ ) é mais lábil, representado, em grande parte, pela matéria orgânica leve; enquanto que o C orgânico associado aos microagregados é mais recalcitrante, representado principalmente pela fração mais estável (Cadish et al., 2006; Bronick & Lal, 2005; Six et al., 2002). Com base nesse mecanismo de proteção física do C orgânico no

solo, a distribuição de Po nas diferentes classes de agregados também poderia expressar diferentes graus de labilidade das formas de Po e, portanto, do seu potencial de mineralização. Desse modo, o maior potencial de mineralização de Po estaria associado aos macroagregados, com decréscimos de sua taxa de mineralização nos microagregados. Por outro lado, como a acumulação de Po no solo é influenciada pelo tipo de cobertura vegetal (Cunha et al., 2007; Zaia et al., 2008), a distribuição desta fração de P, nas classes de agregados, e seu potencial de mineralização também poderiam ser afetados pelo tipo de uso do solo.

O objetivo deste estudo foi estimar o potencial de mineralização de P orgânico total e lábil do solo e classes de agregados de leguminosas florestais, pastagem e capoeira.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Descrição das áreas e coleta de solo

Amostras de solo foram retiradas de um Latossolo Vermelho-Amarelo, Tb-caulinítico em relevo ondulado com declividade em torno de 35 cm m<sup>-1</sup>, sob plantios puros de sabiá (*Mimosa caesalpinifolia*) e acácia (*Acacia auriculiformis*), na idade de 12 anos e inoculados com estirpes selecionadas de bactérias fixadoras de N<sub>2</sub> e fungos micorrízicos em dezembro de 1998. Neste período, foram aplicados na hora do plantio das leguminosas 150 g de superfosfato simples, 10 g de cloreto de K e 10 g de FTE-BR12.

Adjacentes a esses plantios de leguminosas arbóreas, foram retiradas amostras de solo de duas coberturas vegetais com aproximadamente 40 anos de idade e utilizadas como referências. Primeiro, um pasto degradado, com o predomínio de capim-gordura (*Melinis minutiflora*), grama-pernambuco (*Paspalum maritimum*) e sapê (*Imperata brasiliensis*), e com baixa disponibilidade de forragem, em decorrência do manejo inadequado com uso indiscriminado de fogo, superpastejo e sem adição de fertilizantes fosfatados; e o outro foi um fragmento florestal de Mata Atlântica em sucessão secundária, com espécies em diferentes estádios sucessionais (capoeira).

As coberturas vegetais estavam adjacentes umas das outras em parcelas de 1.500 m<sup>2</sup> (75 x 20 m), na mesma cota de altitude, na Fazenda Carrapeta, em Conceição de Macabu, RJ, num clima quente e úmido, com temperatura média em torno de 26 °C e a precipitação pluvial média anual de 1.400 mm, com período chuvoso entre outubro e março, e seco entre junho e setembro (Gama-Rodrigues et al., 2008).

Em cada cobertura vegetal, foram coletadas, em dezembro de 2010, quatro amostras compostas de solos, cada uma proveniente de 15 amostras simples, mediante abertura de minitrincheiras na profundidade 0-10 cm, nas entrelinhas, de forma aleatória para cada amostra simples, que foram então acondicionadas em sacos de polietileno. As amostras de solo foram secas ao ar em sombra por 24 horas e posterior determinação do tamisamento úmido dos agregados e dos teores das frações totais e lábeis de P do solo e dos agregados.

### **Análise química e física do solo**

As amostras de solo coletadas na camada de 0-10 cm foram secas ao ar e passadas em peneira com 2 mm de abertura, constituindo a terra fina seca ao ar (TFSA). Logo, foram determinadas as características químicas (Quadro 1) e físicas (Quadro 2), conforme os métodos descritos pela EMBRAPA (1999): pH em água; P, K e Na extraíveis por Mehlich<sup>-1</sup>, sendo P determinado por colorimetria (pelo método da vitamina C, modificado por Braga e Defelipo, 1974), K e Na por fotometria de chama; Ca, Mg e Al trocáveis por KCl 1 mol L<sup>-1</sup>, sendo Ca e Mg determinados por espectrofotometria de absorção atômica e o Al por titulação, com NaOH 0,025 mol L<sup>-1</sup>; H + Al por acetato de cálcio 0,5 mol L<sup>-1</sup> a pH 7,0; N total pelo método Kjeldahl; C-orgânico total do solo e dos agregados (> 2,0; 2-0,250; < 0,250 mm) foram realizados por oxidação com K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 1,25 mol L<sup>-1</sup> em meio ácido (Anderson e Ingram, 1996). A análise granulométrica foi realizada pelo método da pipeta (EMBRAPA, 1999).

**Quadro 1.** Caracterização química dos solos sob leguminosas florestais, pasto e capoeira.

Coberturas	pH	C org <sup>2/</sup> -----g kg <sup>-1</sup> -----	N	P	K	Ca	Mg	Al
				mg dm <sup>-3</sup>			cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	
Acácia	4,8 a <sup>1/</sup>	37,9 a	0,8 b	2,8 a	0,1 a	1,1 a	0,3 a	0,3 c
Sabiá	4,5 ab	37,6 ab	1,5 a	2,4 ab	0,1 a	0,64 b	0,3 a	0,8 b
Pasto	4,7 a	35,7 b	1,5 a	2,0 b	0,06 b	0,08 c	0,3 a	0,9 ab
Capoeira	4,2 b	37,5 ab	1,3 ab	2,8 a	0,09 b	0,09 c	0,08 b	1,3 a

<sup>1/</sup>Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente a 5% pelo teste de Tukey. <sup>2/</sup>C org: carbono orgânico total; N: nitrogênio total, P: fósforo; K: potássio; Ca: cálcio; Mg: magnésio; Al: alumínio.

**Quadro 2.** Caracterização física dos solos sob leguminosas florestais, pasto e capoeira.

Coberturas	Areia	Silte	Argila
	-----g kg <sup>-1</sup> -----		
Acácia	739,4 a	75,5 a	185,0 c
Sabiá	631,5 b	77,1 a	291,4 b
Pasto	635,9 ab	78,9 a	285,0 b
Capoeira	540,6 b	73,3 a	386,0 a

<sup>1/</sup>Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente a 5% pelo teste de Tukey.

### Fracionamento em classes de agregados

Para medir a quantidade e a distribuição dos agregados estáveis em água, foi utilizado o método do tamisamento úmido (EMBRAPA, 1997, adaptado por Rita, 2007). Em que, 60 g de solo foram pesados em placa de vidro por 10 vezes (totalizando 600 g/amostra composta) e previamente umedecidos por meio de um borrifador e mantidas em repouso por 4 horas, a fim de se evitar desestruturação do solo durante agitação mecânica em água. Em seguida, o solo foi transferido para um jogo de peneiras de 2,0 mm, com 0,250 mm de abertura de malha e um fundo. As amostras de solo foram agitadas por 15 minutos em um aparelho de Yooder de oscilação vertical, graduado para uma amplitude de 4 cm de altura e uma frequência de 32 oscilações/minutos. As amostras contidas nas peneiras foram retiradas dos pissetes, com o auxílio de jatos de água, passando-as para as placas de petri, previamente pesadas e levadas à estufa a 105°C por

24 horas. Desse modo, três classes de agregados foram obtidas: > 2,0 mm, 2-0,250 mm e < 0,250 mm.

A umidade do solo foi determinada, pesando-se 20 g de amostra de solo, colocada em um cadinho de alumínio de peso conhecido e levada para a estufa a 105 °C até obtenção de peso constante e, depois, transferida para um dessecador. O peso dessa amostra seca a 105 °C foi utilizado para o cálculo do percentual de agregados de cada classe, determinado pela seguinte fórmula:

$$\% \text{ de agregados} = (\text{Peso dos agregados no intervalo de classe} / \text{Peso da amostra inicial}) \times 100$$

### **Mineralização do P orgânico (Po)**

Para o ensaio de mineralização do P orgânico, foram pesados 20 g de amostras de solo e diferentes tamanhos de agregados (> 2,0 mm; 2,0 - 0,250 mm e < 0,250 mm) separados do tamisamento úmido, que foram colocados em pequenos potes plásticos, umedecidos a 60% da capacidade de campo e acondicionados em uma incubadora BOD com temperatura constante de 40°C por um período de 90 dias (Tempo 1). A cada três dias, a umidade foi restabelecida ao nível inicial de incubação das amostras (antes da incubação) com auxílio de uma pipeta. Como ponto inicial, foi determinado o P orgânico total e lábil do solo e agregados antes da incubação das amostras (Tempo 0). A estimativa da quantidade de Po total e Po lábil mineralizados, durante o tempo de incubação, foi feita com base em Acquaye (1963), de acordo com as seguintes fórmulas:

$$\text{Po-min. (mg kg}^{-1}\text{)} = \text{Po-T1 (mg kg}^{-1}\text{)} - \text{Po-T0 (mg kg}^{-1}\text{)}$$

$$\text{Po-min. (\%)} = (\text{Po-T1} - \text{Po-T0}) / (\text{Po-T0}) * 100$$

Onde: Po-min. é o P orgânico potencialmente mineralizado; Po-T1 é o teor de P orgânico determinado após incubação de 90 dias; e Po-T0 é o teor de P orgânico determinado antes da incubação. Valores negativos significam que houve redução da quantidade de P orgânico com o tempo de incubação, indicando que ocorreu mineralização dessa fração.

### **Determinação das frações de P orgânico**

O método de extração de Bowman foi utilizado para quantificar o fósforo orgânico (Po) total (Bowman, 1989), enquanto para o Po lábil foi usado o método de extração com  $\text{NaHCO}_3$   $0,5 \text{ mol L}^{-1}$  (Bowman & Cole, 1978). O P inorgânico (Pi) foi determinado após clarificação dos extratos com carvão ativo (Guerra et al., 1996). O método de Murphey & Riley (1962) foi utilizado para determinar o teor de Pi nos extratos ácidos e alcalinos.

### **Análise Estatística**

Para o ensaio de incubação, em cada cobertura, fez-se a comparação entre os tempos de incubação e as classes de agregados em relação aos teores de fósforo. Os dados foram submetidos à análise de variância em delineamento inteiramente ao acaso, com quatro repetições, em esquema fatorial constituído por quatro coberturas vegetais, dois tempos de incubação e três classes de agregados como fontes de variação. Para comparar as médias, foi usado o teste de Tukey a 5%, utilizando o programa de sistema para análises estatísticas (SAEG), versão 9.1. Cada cobertura vegetal foi considerada um tratamento de efeito-fixo.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **Mineralização de Po no solo**

Houve efeito significativo das coberturas vegetais e do tempo de incubação sobre os teores das frações de P inorgânico (Pi) e orgânico (Po) total dos solos. No caso da fração orgânica no tempo zero (T0), o maior e o menor teor do Po total foram encontrados em solos sob acácia e pasto, respectivamente; ao contrário, aos 90 dias de incubação (T1), os solos sob sabiá e capoeira apresentaram o maior e menor teor desta fração, respectivamente (Quadro 3). Os teores de Po total do presente estudo estão dentro da faixa de valores encontrados para Latossolos que variaram entre 22 e  $160 \text{ mg kg}^{-1}$  (Guerra et al., 1996; Cunha et al., 2007; Zaia et al., 2008; Rita, 2012). Portanto, as leguminosas florestais em estudo mostram o potencial em reter o Po total nos solos degradados. Outros trabalhos feitos na mesma área, mas em épocas diferentes,

evidenciaram a importância dessas leguminosas florestais (Nunes, 2011), principalmente da acácia (Zaia et al., 2008).

O efeito do tempo de incubação sobre o Po total foi distinto entre as coberturas, visto que houve redução nos teores desta fração nos solos sob acácia (-48%) e capoeira (-41%); entretanto, ocorreu aumento no solo sob pasto e sem alteração significativa no solo sob sabiá (Quadro 3). Por outro lado, para o Pi total, ocorreu um incremento nos solos sob acácia (+35%), sabiá (+8%) e pasto (49%). Estes resultados evidenciam a capacidade distinta desses solos em disponibilizar o Pi, apesar de estarem sob mesmo tipo de solo, embora com diferenças relevantes no teor de C orgânico (Quadro 1), na quantidade de argila (Quadro 2) e na qualidade da serapilheira, fato que pode ter influenciado na mineralização do P orgânico.

**Quadro 3.** Frações totais de fósforo inorgânico (Pi) e orgânico (Po) dos solos sob leguminosas florestais, pasto e capoeira, antes do tempo de incubação (T0) e após 90 dias de incubação (T1).

Coberturas	P inorgânico total		P orgânico total	
	Tempo 0	Tempo 1	Tempo 0	Tempo 1
	----- (mg kg <sup>-1</sup> ) -----			
Acácia	191,0 Bb <sup>1</sup>	258,9 Ba	107,7 Aa	56,0 Cb
Sabiá	225,8 Ab	244,6 Ba	81,7 Ba	84,2 Aa
Pasto	182,5 Bb	272,7 Aa	46,8 Db	73,9 Ba
Capoeira	199,6 ABa	211,5 Ca	60,8 Ca	36,0 Db
Média	199,7	246,9	74,2	62,5

<sup>1</sup>Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna (comparação entre as coberturas no tempo) e minúscula na linha (comparação de cada cobertura nos tempos) não diferem estatisticamente a 5% pelo teste de Tukey. O percentual de mineralização de P orgânico total encontra-se no quadro 4 em anexo.

Para os teores das frações Pi e Po lábil, o efeito das coberturas vegetais e do tempo de incubação foi distinto. No geral, a distinção entre as coberturas para cada tempo de incubação variou no Pi lábil do T0 e, principalmente, no Po lábil do T1, em que a capoeira e o sabiá apresentaram os maiores teores das frações orgânicas; a acácia, valor intermediário; e o pasto, o menor teor (Quadro 4). Guerra et al. (1996) verificaram que o Po lábil variou de 6 a 35 mg kg<sup>-1</sup> nas diferentes classes de solos. Assim sendo, o manejo do solo pode alterar o ciclo biogeoquímico do P, fazendo com que as formas mais disponíveis sejam

favorecidas nos manejos que preservam a matéria orgânica do solo (Busato et al., 2005).

O efeito do tempo de incubação foi distinto, na fração de Po lábil, somente para a acácia e o pasto, com incremento de +67% para a acácia e redução de -32% para o pasto (Quadro 4). Dessa forma, a mineralização da forma lábil de P orgânico ocorrida no pasto favoreceu o acréscimo na liberação de Pi lábil no solo, provavelmente, devido à menor adsorção do P nos coloides desse solo pouco argiloso (Quadro 2).

**Quadro 4.** Frações lábeis de fósforo inorgânico (Pi lábil) e orgânico (Po lábil) dos solos sob leguminosas florestais, pasto e capoeira, antes do tempo de incubação (T0) e após 90 dias de incubação (T1).

Coberturas	P inorgânico lábil		P orgânico lábil	
	Tempo 0	Tempo 1	Tempo 0	Tempo 1
	------(mg kg <sup>-1</sup> )-----			
Acácia	2,0 Aa <sup>v</sup>	2,1 Aa	2,3 Bb	3,9 Ba
Sabiá	1,7 ABa	2,2 Aa	5,1 Aa	5,9 Aa
Pasto	1,0 Bb	2,0 Aa	3,1 ABa	2,1 Cb
Capoeira	1,5 ABa	2,1 Aa	4,8 ABa	6,2 Aa
Média	1,57	2,1	3,89	4,5

<sup>v</sup>Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna (comparação entre as coberturas em cada tempo) e minúscula na linha (comparação de cada cobertura nos tempos) não diferem estatisticamente a 5% pelo teste de Tukey. O percentual de mineralização de P orgânico lábil encontra-se no quadro 4 em anexo.

O Pi predominou na composição do P total (Pi + Po) nos solos sob coberturas vegetais e em ambos os tempos de incubação (Quadro 5). Na média geral, o Po representou 26,7% e 19,8% do P total extraído, nos tempos de incubação T0 e T1, respectivamente. Antes do período de incubação, a maior proporção de Po ocorreu no solo sob acácia, enquanto, após a incubação de 90 dias, o solo sob sabiá apresentou a maior proporção dessa fração. Nesse sentido, a taxa de recuperação encontrada por Guerra et al. (1996) variou entre 48 e 109% do P total e, por Cunha et al. (2007), entre 50 e 82%.

A redução da proporção de Po, nos solos sob acácia e capoeira, com o tempo de incubação (Quadro 5) seria uma consequência da mineralização dessa fração de P (Quadro 3). Contudo, o aumento do teor de Po no solo sob pasto (Quadro 3) praticamente não alterou sua proporção (Quadro 5); e, no solo sob

sabiá, a não alteração significativa do teor de Po entre os tempos de incubação resultou na similar proporção dessa fração na composição do P total.

**Quadro 5.** Distribuição percentual das frações totais de fósforo inorgânico (Pi) e orgânico (Po) de solos sob leguminosas florestais, pasto e capoeira, antes do tempo de incubação (T0) e após 90 dias de incubação (T1).

Coberturas	Pi/P total <sup>2/</sup>	Po/P total	Pi/P total	Po/P total
	Tempo 0		Tempo 1	
	------(%)-----			
Acácia	63,8 c <sup>1/</sup>	36,1 a	82,2 b	17,7 c
Sabiá	73,4 b	26,5 b	74,3 d	25,6 a
Pasto	79,5 a	20,4 c	78,6 c	21,3 b
Capoeira	76,6 ab	23,4 bc	85,4 a	14,5 d
Média	73,3	26,6	80,1	19,8

<sup>1/</sup>Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente a 5% pelo teste de Tukey. <sup>2/</sup>Pi/P total= Quantidade de fósforo inorgânico em relação ao P total do solo e Po/P total= Quantidade de fósforo orgânico em relação ao P total do solo.

Ao contrário da fração Po total, a fração Po lábil predominou em relação ao Pi lábil do solo (Quadro 6). O Po lábil representou em média 70,1% e 65,8% do P total lábil extraído nos tempos de incubação T0 e T1, respectivamente. No T0, a menor proporção de Po ocorreu no solo sob acácia, enquanto, nas demais coberturas, as proporções não diferiram entre si. Já após a incubação dos solos, o pasto apresentou a menor proporção de Po, possivelmente devido à perda de C orgânico e, por consequência, de Po desse sistema degradado. O predomínio de Po lábil em relação ao Pi lábil (Quadro 2), também foi encontrado por Guerra et al. (1996), Cunha et al. (2007), Zaia et al. (2008) e Rita, (2012).

**Quadro 6.** Distribuição percentual das frações lábeis de fósforo inorgânico (PiL) e orgânico (PoL) dos agregados do solo sob leguminosas florestais, pasto e capoeira, antes do tempo de incubação (T0) e após 90 dias de incubação (T1).

Coberturas	PiL/PL total <sup>2</sup>	PoL/PL total	PiL/PL total	PoL/PL total
	Tempo 0		Tempo	
	------(%)-----			
Acácia	46,1 a <sup>1</sup>	53,8 b	35,5 b	64,4 b
Sabiá	25,1 b	74,8 a	26,9 c	73,0 a
Pasto	24,6 b	75,3 a	48,9 a	51,0 c
Capoeira	23,5 b	76,4 a	25,2 c	74,7 a
Média	29,9	70,1 a	34,1 a	65,8 a

<sup>1</sup> Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente a 5% pelo teste de Tukey. <sup>2</sup> PiL/PTL= Quantidade de fósforo inorgânico lábil em relação ao P total lábil do solo e PoL/ PTL= Quantidade de fósforo orgânico lábil em relação ao P total lábil do solo.

### Mineralização de Po em agregados do solo

A distribuição das classes de agregados variou dentro das coberturas estudadas, em que o maior e o menor percentual de agregados ocorreram nas classes 2,0-0,250 mm e < 0,250 mm, respectivamente (Quadro 7). Os macroagregados representaram em torno de 95% de cada cobertura. Entre as coberturas, as leguminosas florestais e a capoeira apresentaram os maiores valores de agregados na classe > 2,0 mm (Quadro 5). Por outro lado, o pasto apresentou maior percentual de agregados na classe 2,0-0,250 mm. Estes resultados evidenciam que diferentes coberturas vegetais afetam significativamente a estabilidade e a formação dos agregados do solo (Roldán et al., 2005), e, por consequência, a acumulação da matéria orgânica do solo e dos nutrientes estreitamente associados a ela (Rita et al., 2011).

A cobertura vegetal, o tempo de incubação e as classes de agregados do solo tiveram efeito significativo sobre os teores das frações de P total (Quadro 8) e P lábil (Quadro 9). As classes de agregados diferiram entre si na capacidade de reter as frações de P total (Pi e Po), de acordo com a cobertura vegetal e o tempo de incubação (Quadro 8). No geral, os menores teores de Pi total foram encontrados nos agregados < 0,250 mm, nos dois tempos de incubação. No entanto, para o Po total, a classe de agregado < 0,250 mm apresentou os menores e os maiores teores dessa fração de P nos tempos de incubação T0 e T1, respectivamente.

**Quadro 7.** Distribuição dos agregados do solo estáveis em água sob leguminosas florestais, pasto e capoeira, antes do tempo de incubação (T0).

Classes de Agregados (mm)	------(%)-----			
	Acácia	Sabia	Pasto	Capoeira
> 2,0	27,0 Ba	25,5 Ba	16,0 Bb	27,6 Ba
2,0-0,250	68,9 Ab	70,4 Ab	79,8 Aa	66,8 Ab
< 0,250	3,1 Ca	2,6 Ca	3,3 Ca	3,6 Ca

<sup>1</sup>Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna (comparação das classes de agregados dentro da cobertura) e minúscula na linha (comparação entre as coberturas dentro de cada classe de agregado) não diferem estatisticamente a 5% pelo teste de Tukey.

As leguminosas florestais, em todas as classes de agregados do solo, apresentaram nítida distinção do efeito do tempo de incubação sobre os teores de Po total (Quadro 8). No solo sob acácia, houve aumento dos teores de Po em todas as classes de agregados, especialmente nos agregados < 0,250 mm. Entretanto, no solo sob sabiá, ocorreu redução do Po em todas as classes de agregados, particularmente nos agregados 2,0-0,250 mm que foi de -52%. No solo sob pasto, o efeito do tempo de incubação variou nas classes de agregados 2,0-0,250 mm e < 0,250 mm, com redução (-31%) e aumento (+214%) dos teores de Po, respectivamente. Por sua vez, no solo sob capoeira, ocorreu redução de Po nos agregados > 2,0 mm de 50%, mas aumento nas outras classes de agregados (Quadro 8).

Em todas as coberturas vegetais e suas classes de agregados, houve aumento do teor de Pi total com o tempo de incubação (Quadro 8). No caso do sabiá, a mineralização de Po total pode ter favorecido o acréscimo no fornecimento de Pi lábil nos agregados > 2,0 e < 0,250 mm, devido à decomposição inicial dos resíduos vegetais lábeis e, posteriormente, num processo mais lento, em virtude de materiais mais resistentes (Fernandes et al., 2006). A acácia, por sua vez, pode ter favorecido o aumento de Pi total por apresentar um solo menos argiloso (Quadro 2) e pelos teores elevados de C orgânico (Quadro 1) que contribuem na redução da capacidade de adsorção de P e na energia de ligação do fosfato aos grupos funcionais dos coloides inorgânicos do solo (Rheinheimer et al., 2003).

De forma geral, o teor de Pi lábil foi maior nos agregados < 0,250 mm do solo sob acácia e pasto no T0 e no T1 os agregados > 2,0 mm apresentaram os maiores teores desta fração de P (Quadro 9). Contudo, o maior e menor teor de Po lábil foi encontrado nos agregados < 0,250 mm, no T0 e T1 respectivamente.

Acentuada redução do Po lábil com o tempo de incubação nos agregados, principalmente nas leguminosas florestais (Quadro 9) foi observado para acácia nos agregados > 2,0 mm (-80%), 2,0-0,250 mm (-36%) e < 0,250 mm (-94%) e para o sabiá nos agregados > 2,0 mm (-48%) e < 0,250 mm (-87%) (Quadro 9). Para os solos referências houve redução apenas nos agregados > 2,0 mm para capoeira, já o pasto não apresentou alterações significativas em todas as classes de agregados (Quadro 9). Para todas as coberturas vegetais não houve aumento dos teores de Pi lábil no solo, pela possível fixação dessas frações lábeis nos coloides do solo.

Na maioria das classes de agregados das coberturas, houve redução significativa do Pi lábil após a incubação, exceto no pasto do agregado > 2,0 mm e na capoeira do agregado < 0,250 mm (Quadro 9). Portanto, a mineralização ocorrida em todas as classes de agregados da acácia e em algumas classes do sabiá e capoeira não favoreceu o aumento de Pi lábil.

Nas classes de agregados dos solos, a proporção da fração Po total, em relação ao P total extraído ( $Po/P$  total), e da fração Po lábil, em relação ao P lábil total extraído ( $Po/P$  lábil total), variou com a cobertura vegetal e o tempo de incubação (Quadros 10 e 11). A maior proporção média de Po total ocorreu nos agregados > 2,0 mm e < 0,250 mm no T0 e T1, respectivamente (Quadro 10). Para o Po lábil no T0 e T1, a distribuição dessa fração nas classes de agregados foi similar na maioria das coberturas, tendo-se, pois, a classe 2,0-0,250 mm e < 0,250 mm com a menor proporção média de Po lábil, antes e após a incubação dos solos, respectivamente (Quadro 11).

Para estimar o potencial de mineralização de P orgânico, tem sido utilizada a relação de Corg/Po. Nesse sentido, houve efeito das coberturas vegetais na distribuição do carbono orgânico (Corg) (Quadro 12), de modo que a acácia apresentou o maior teor de Corg na classe > 2,0 mm e entre as classes 2,0-0,250 mm. Na relação Corg/Po, foi observado o menor percentual no sabiá e na capoeira da classe > 2,0 mm, e nas leguminosas florestais da classe 2,0-0,250 mm (Quadro 12).

O estudo em solos sob leguminosas mostrou a relação C/P em torno de 206 a 247 (Mukuralinda et al., 2009), porém, nos solos florestais, a relação C/Po foi de 138 a 160, evidenciando que a mineralização de P orgânico pode ocorrer facilmente, levando a um aumento do nível de P inorgânico disponível. Por outro lado, a relação C/P > 300 indica a imobilização líquida de P no solo (Siqueira e Moreira, 2001).

**Quadro 8:** Frações de fósforo inorgânico e orgânico totais ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) dos agregados em diferentes classes de agregados e coberturas vegetais, antes do tempo de incubação (T0) e após 90 dias de incubação (T1).

Coberturas	Classes de Agregados (mm)	P inorgânico total		P orgânico total	
		Tempo 0	Tempo 1	Tempo 0	Tempo 1
Acácia	> 2,0	333,4 Aa <sup>v</sup>	321,0 Aa	52,3 Bb	62,2 Ba
	2,0 - 0,250	236,3 Ba	278,7 Ba	57,5 Ab	66,6 Ba
	< 0,250	218,8 Bb	280,1 Ba	23,6 Cb	72,4 Aa
Sabiá	> 2,0	207,9 Bb	279,6 Ba	99,9 Aa	57,9 Ab
	2,0 - 0,250	300,3 Aa	300,7 Aa	77,4 Ba	37,2 Bb
	< 0,250	219,3 Bb	293,5 ABa	40,3 Ca	25,1 Cb
Pasto	> 2,0	191,0 Ab	301,1 Ba	52,0 Aa	50,4 Ba
	2,0 - 0,250	222,5 Ab	393,9 Aa	23,9 Ba	16,4 Cb
	< 0,250	144,6 Bb	210,5 Ca	21,9 Bb	69,2 Aa
Capoeira	> 2,0	214,9 Ab	351,6 Aa	72,5 Aa	35,6 Bb
	2,0 - 0,250	233,3 Aa	263,5 Ba	29,0 Bb	39,2 Ba
	< 0,250	186,0 Bb	274,0 Ba	33,4 Bb	61,3 Aa

<sup>v</sup>Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna (comparação das classes de agregados da cobertura em cada tempo) e minúscula na linha (comparação da classe de agregado de cada cobertura nos tempos) não diferem estatisticamente a 5% pelo teste de Tukey. O percentual de mineralização de P orgânico total encontra-se no quadro 5 em anexo.

**Quadro 9:** Frações de fósforo inorgânico e orgânico lábeis ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) dos agregados em diferentes classes de agregados e coberturas vegetais, antes do tempo de incubação (T0) e após 90 dias de incubação (T1).

Coberturas	Classes de Agregados (mm)	P inorgânico lábil		P orgânico lábil	
		Tempo 0	Tempo 1	Tempo 0	Tempo 1
Acácia	> 2,0	3,5 Ba <sup>1)</sup>	4,7 Aa	10,8 Ba	2,1 Bb
	2,0 - 0,250	2,2 Ba	2,0 Ba	6,2 Ca	4,0 Ab
	< 0,250	11,7 Aa	2,5 Bb	19,6 Aa	1,2 Cb
Sabiá	> 2,0	5,5 Ba	3,0 Ab	10,4 Ba	5,4 Ab
	2,0 - 0,250	8,0 Aa	3,0 Ab	4,6 Cb	5,2 Aa
	< 0,250	5,5 Ba	2,0 Bb	14,7 Aa	1,9 Bb
Pasto	> 2,0	1,4 Cb	2,0 Aa	4,4 Aa	2,6 Ba
	2,0 - 0,250	2,4 Ba	2,0 Ab	1,9 Ba	2,1 Ba
	< 0,250	3,9 Aa	1,0 Bb	4,5 Aa	3,8 Aa
Capoeira	> 2,0	4,2 Ba	3,0 Ab	11,3 Aa	8,1 Ab
	2,0 - 0,250	6,6 Aa	2,7 Ab	1,9 Bb	8,5 A
	< 0,250	2,0 Cb	2,7 Aa	2,2 Bb	2,8 Ba

<sup>1)</sup> Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna (comparação das classes de agregados dentro da cobertura em cada tempo) e minúscula na linha (comparação da classe de agregado de cada cobertura nos tempos) não diferem estatisticamente a 5% pelo teste de Tukey. O percentual de mineralização de P orgânico lábil encontra-se no quadro 5 em anexo.

Variação nos teores de Pi total com o tempo de incubação revela a sensibilidade do processo de incubação em extrair formas de Pi antes não acessíveis. A redução de Po total demonstra a possível mineralização de Po e a consequente liberação de Pi na solução do solo, enquanto o aumento do Po total com o tempo de incubação demonstra que formas mais estáveis desta fração tornaram-se acessíveis ao método empregado. Raciocínio análogo pode ser aplicado ao P lábil extraído por bicarbonato, com o qual a fração Pi é considerada

a quantidade de P disponível às plantas, e a fração Po, a quantidade potencialmente mineralizável (Bowman & Cole, 1978).

**Quadro 10.** Distribuição percentual (%) das frações totais de fósforo inorgânico (Pi) e orgânico (Po) dos agregados do solo sob leguminosas florestais, pasto e capoeira, antes do tempo de incubação (T0) e após 90 dias de incubação (T1).

Coberturas	Classes de Agregados (mm)	Pi/Ptotal		Po/Ptotal	
		Tempo 0	Tempo 1	Tempo 0	Tempo 1
Acácia	> 2,0	86,4 Aa <sup>1/</sup>	83,7 Ab	13,6 Bb	16,3 Ba
	2,0 - 0,250	80,1 Ba	80,6 Ba	19,9 Aa	19,4 Aa
	< 0,250	90,2 Aa	79,5 Bb	9,8 Bb	20,5 Aa
Sabiá	> 2,0	67,5 Cb	82,8 Ca	32,5 Aa	17,2 Ab
	2,0 - 0,250	79,5 Bb	88,9 Ba	20,5 Ba	11,0 Bb
	< 0,250	84,5 Ab	92,1 Aa	15,5 Ca	7,9 Cb
Pasto	> 2,0	78,5 Bb	85,64 Ba	21,5 Aa	14,3 Bb
	2,0 - 0,250	89,9 Ab	96,00 Aa	10,1 Ba	4,0 Cb
	< 0,250	86,8 Aa	75,26 Cb	13,2 Bb	24,7 Aa
Capoeira	> 2,0	74,7 Cb	90,8 Aa	25,2 Aa	9,2 Cb
	2,0 - 0,250	88,8 Aa	86,9 Ba	11,2 Ca	13,0 Ba
	< 0,250	84,8 Ba	81,7 Cb	15,2 Bb	18,3 Aa

<sup>1/</sup> Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna (comparação das classes de agregados dentro da cobertura em cada tempo) e minúscula na linha (comparação da classe de agregado de cada cobertura nos tempos) não diferem estatisticamente a 5% pelo teste de Tukey.

A redução de Pi lábil após a incubação dos solos indica que ocorreu fixação desta fração pela fase mineral do solo (transformação de P lábil em P não-lábil). Isto pode ser evidenciado na redução dos teores médios de Pi lábil nos agregados 2,0-0,250 mm e < 0,250 mm (Quadro 9).

Em solos onde nenhum fósforo foi aplicado, Gonçalves et al. (1989) verificaram uma pequena e não-sistemática variação do P recuperado, extraído por resina, Bray-1 e Mehlich, com o tempo de incubação. Por sua vez, Araújo et al. (2004) encontraram variações positivas ou negativas das frações Pi e Po lábeis extraíveis por bicarbonato em solos incubados por 120 dias. Esses autores atribuíram as frações moderadamente lábeis de P (P-NaOH) a uma participação efetiva no tamponamento ou aumento das frações mais lábeis. No entanto, Acquaye (1963), usando o método da ignição, relata que a mineralização ou aumento de Po foi significativamente influenciado pelas propriedades físico-químicas dos solos, com ou sem fertilização, pela temperatura e umidade, e o tempo de incubação.

No presente estudo, o uso da técnica de incubação-extração representa a mineralização basal do Po. Pois, em contraste a mineralização do nitrogênio (N), a mineralização líquida de Po não pode ser mensurada pelas técnicas de incubação-extração, uma vez que o Pi liberado do Po não se acumula na solução do solo em razão dos processos de adsorção na fase mineral do mesmo (Bünemann et al., 2007). Além disso, pequenas mudanças líquidas de Po são mascaradas em virtude da grande quantidade de Po totais presente no solo.

Desse modo, a mineralização basal de Po pode ser definida como a mineralização da matéria orgânica do solo em um solo que não tenha recebido adição recente de matéria orgânica fresca (Oehl et al., 2004). Ela representa assim o potencial basal de um solo de liberar Pi da fração Po do solo para a solução do solo (Oehl et al., 2001). Simultaneamente, ao longo do período de incubação, a remineralização pode ocorrer devido à reciclagem do P microbiano decorrente da morte e predação dos microrganismos e que significa a mineralização do Po recentemente sintetizado (Randhawa et al., 2005).

A distribuição das frações de P (Pi e Po), nas classes de agregados dos solos, revela a distinta capacidade das coberturas vegetais avaliadas em reciclar o P do solo. Os teores médios de Pi lábil em todas as classes de agregados foi superior aos teores desta fração de P no solo como um todo, o que indicaria, portanto, uma variação da disponibilidade de P com a classe de agregados do solo. Situação análoga para o Po lábil, em que a sua distribuição e os maiores teores nas classes de agregados indicariam a distinta capacidade de as coberturas vegetais acumularem o Po no solo.

**Quadro 11.** Distribuição percentual (%) das frações lábeis de fósforo inorgânico (PiL) e orgânico (PoL) dos agregados do solo sob leguminosas florestais, pasto e capoeira, antes do tempo de incubação (T0) e após 90 dias de incubação (T1).

Coberturas	Classes de Agregados (mm)	PiL/PLtotal		PoL/PLtotal	
		Tempo 0	Tempo 1	Tempo 0	Tempo 1
Acácia	> 2,0	24,4 Bb <sup>1/</sup>	68,4 Aa	75,5 Aa	31,6 Bb
	2,0 - 0,250	26,1 Bb	33,5 Ba	73,9 Aa	66,5 Ab
	< 0,250	37,4 Ab	67,8 Aa	62,6 Ba	32,2 Bb
Sabiá	> 2,0	34,6 Ba	35,8 Ba	65,4 Ba	64,2 Aa
	2,0 - 0,250	63,8 Aa	36,4 Bb	36,2 Cb	63,6 Aa
	< 0,250	27,3 Cb	50,8 Aa	72,7 Aa	49,2 Bb
Pasto	> 2,0	23,9 Cb	43,5 Ba	76,1 Aa	56,5 Bb
	2,0 - 0,250	55,3 Aa	49,2 Ab	44,7 Cb	50,8 Ca
	< 0,250	46,8 Ba	20,7 Cb	53,1 Bb	79,3 Aa
Capoeira	> 2,0	27,6 Ca	26,8 Ba	72,4 Aa	73,2 Aa
	2,0 - 0,250	77,4 Aa	24,3 Bb	22,6 Cb	75,8 Aa
	< 0,250	47,2 Ba	49,3 Aa	52,8 Ba	50,7 Ba

<sup>1/</sup> Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna (comparação das classes de agregados dentro da cobertura em cada tempo) e minúscula na linha (comparação da classe de agregado de cada cobertura nos tempos), não diferem estatisticamente a 5% pelo teste de Tukey.

Similar ao carbono (C) orgânico, o Po acumulado nas menores classes de agregados do solo estaria protegido fisicamente da ação dos microrganismos do solo. Contudo, isso não evidencia que as formas de Po predominantes nas menores classes de agregados sejam as mais recalcitrantes, como normalmente ocorre com as formas de C orgânico (Six et al., 2002; Cadisch et al., 2006). Deve-se considerar também que os diversos grupos de fosfatos que compõem a forma orgânica do P no solo influem na sua intensidade de mineralização.

**Quadro 12.** Teor de carbono orgânico ( $\text{g kg}^{-1}$ ) e distribuição percentual (%) de Corg/P orgânico total em diferentes classes de solos sob leguminosas florestais, pasto e capoeira, antes do tempo de incubação (T0).

Coberturas	> 2,0 mm		2,0-0,250 mm	
	Corg	Corg/Po <sup>2</sup>	Corg	Corg/Po
Acácia	21,0 a <sup>1</sup>	39,1 a	20,1 a	35,5 b
Sabiá	18,5 ab	18,4 b	14,0 b	18,1 b
Pasto	15,0 b	28,2 ab	19,0 ab	80,0 a
Capoeira	18,6 ab	25,2 b	22,0 a	78,1 a

<sup>1</sup>Médias seguidas pela mesma letra na coluna (comparação entre as coberturas dentro da classe de agregado) não diferem estatisticamente a 5% pelo teste de Tukey. <sup>2</sup>Corg/Po= Quantidade de carbono orgânico (Corg) total em relação ao P orgânico total.

As formas diésteres do P orgânico do solo são mais labéis e mais facilmente mineralizadas do que os monoésteres, uma vez que os compostos de P orgânicos diésteres são fontes importantes de P para as plantas, e estes compostos desempenham um papel importante nas transformações de P dos ecossistemas (Makarov et al., 2002). Assim sendo, estudos futuros sobre a distribuição de formas de Po e seu potencial de mineralização, em diferentes classes de agregados do solo, poderiam esclarecer a influência de diferentes tipos de uso da terra sobre a acumulação de Po no solo e a disponibilidade de P para as plantas em solos de avançado estágio de intemperismo.

## CONCLUSÃO

- A acácia e o sabiá apresentaram maior teor de fósforo orgânico (Po) total do solo, mas em diferente tempo de incubação (T0 e T1);
- Todas as coberturas vegetais apresentaram aumento da fração inorgânica total e lábil de P do solo após a incubação;
- A distribuição do Po total nas classes de agregados diferiu na cobertura vegetal, de modo que a classe > 2,0 mm foi a mais representativa no T0, e a classe < 0,250 mm (microagregados) no T1;

- A mineralização de Po total das classes de agregados (> 2,0; 2,0-0,250 e < 0,250 mm) favoreceu o incremento de fósforo inorgânico (Pi) nas classes > 2,0 e < 0,250 mm do solo sob sabiá;
- O tempo de incubação de 90 dias foi suficiente para que ocorresse a mineralização de Po lábil em todas as classes de agregados da acácia e em algumas classes do sabiá e capoeira, porém com decréscimo na liberação de Pi lábil;
- Antes e após incubação dos solos e agregados, o Po lábil predominou na composição do P lábil total, indicando que a disponibilidade de P para as plantas estaria estreitamente relacionada à mineralização desta fração de P.

### **AGRADECIMENTOS**

À CAPES, pela concessão de bolsa de doutorado à primeira autora, e à FAPERJ, pelo suporte financeiro do projeto.

### **LITERATURA CITADA**

- ACQUAYE, D.K. Some significance of soil organic phosphorus mineralization in the phosphorus nutrition of cocoa in Ghana. *Plant and Soil*, p.65-80, 1963.
- ARAÚJO, M.S.B.; SCHAEFER, C.E.G.R.; SAMPAIO, E.V.S.B. Frações de fósforo após extrações sucessivas com resina e incubação, em Latossolos e Luvisolos do semi-árido de Pernambuco. *Revista Brasileira Ciência do Solo*, 27:985-1002, 2004.
- BOWMAN, R.A. A sequential extraction procedure with concentrated sulfuric acid and diluted base for soil organic phosphorus. *Soil Science Soc. Am. J.* 53:326-366, 1989.
- BOWMAN, R.A. & COLE, C.V. Transformation of organic phosphorus substrates in soil as evaluated by NaHCO<sub>3</sub> extraction. *Soil Sci.*, 125:95-101, 1978.
- BRONICK, C.J. & LAL, R. Soil structure and management: a review. *Geoderma*, 124:3-22, 2005.

- BUNEMANN, E.K.; MARSCHNER, P.; MCNEILL, A.M.; MCLAUGHLIN, M.J. Measuring rates of gross and net mineralization of organic phosphorus in soils. *Soil Biology & Biochemistry* 39:900-913, 2007.
- BUSATO, J.G., CANELLAS, L.P., VELLOSO, A.C.X. Fósforo num cambissolo cultivado com cana-de-açúcar por longo tempo I-fracionamento seqüencial. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 29:935-944, 2005.
- CADISH, G.; MUTUO, P.; MERCADO, A.; HAIRIAH, K.; NYAMUGAFATA, P.; BOYE, A.; ALBRECHT, A. Organic matter management in tropical agroforestry systems: soil quality, soil C storage and soil atmosphere gas exchange. In: GAMA-RODRIGUES, A.C.; BARROS, N.F. de; GAMA-RODRIGUES, E.F. da; FREITAS, M.S.M.; VIANA, A.P.; JASMIN, J.M.; MARCIANO, C.R.; CARNEIRO, J.G. de A. (eds). *Sistemas Agroflorestais: Bases Científicas para o desenvolvimento sustentável*. Campos dos Goytacazes, UENF, 2006. p.275-290.
- CUNHA, G.M.; GAMA-RODRIGUES, A.C.; COSTA, G.S.; VELLOSO, A.C.X. Fósforo orgânico em solos sob florestas montanas, pastagens e eucalipto no Norte Fluminense. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 31:667-671, 2007.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Manual de métodos de análises de solo. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (CNPS). 2 ed. rev. atual. Rio de Janeiro: EMBRAPA/CNPS, 1997. 212p.
- FERNANDES, M.M.; PEREIRA, M.G.; MAGALHÃES, L.M.S.; CRUZ, A.R.; GIÁCOMO, R.G. Aporte e decomposição de serapilheira em áreas de floresta secundária, plantio de sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.) e andiroba (*Carapa guianensis* Aubl.) na flona Mário Xavier, RJ. *Ciência Florestal*, 16:163-175, 2006.
- GAMA-RODRIGUES, E.F.; BARROS, N.F.; VIANA, A. P.; SANTOS, G.A. Alterações na biomassa e na atividade microbiana da serapilheira e do solo, em decorrência da substituição de cobertura florestal nativa por plantações de eucalipto, em diferentes sítios da região Sudeste do Brasil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32:1489-1499, 2008.
- GAMA-RODRIGUES, E.F.; NAIR, P.K.R.; NAIR, V.D.; GAMA-RODRIGUES, A.C.; BALIGAR, V.C.; MACHADO, R.C.R. Carbon storage in soil size fractions under two cacao agroforestry systems in Bahia, Brazil. *Environmental Management*, 45:274-283, 2010.

- GATIBONI, L.C. Disponibilidade de formas de fósforo do solo às plantas. Tese (Doutorado em Agronomia) – Santa Maria – RS, Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, 2003. 247p.
- GEORGE, T.S.; TURNER, B.L.; GREGORY, P.J.; CADE-MENUM, B.J.; RICHARDSON, A.E. Depletion of organic phosphorus from Oxisols in relation to phosphatase activities in the rhizosphere. *European Journal of Soil Science*, 57:47-57, 2006.
- GONÇALVES, J.L.M.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; NEVES, J.C.L.; RIBEIRO, A.C. Cinética de transformação de fósforo-lábil em não lábil em solos de Cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 13:13-24, 1989.
- GUERRA, J.G.M.; ALMEIDA, D.J.; SANTOS, G.A., FERNANDES, M.S. Conteúdo de fósforo orgânico em amostras de solos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 31:291-299, 1996.
- MAKAROV, M.I.; HAUMAIER, L.; ZECH, W. Nature of soil organic phosphorus: an assessment of peak assignments in the diester region of  $^{31}\text{P}$ -NMR spectra. *Soil Biology & Biochemistry*, 34:1467-1477, 2002.
- MCGILL, W.B. & COLE, C.V. Comparative aspects of cycling of organic C, N, S and P through soil organic matter. *Geoderma*, 26:267-286, 1981.
- 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.
- NIZIGUEBA, G. & BÜNEMANN, E.K. Organic phosphorus dynamics in tropical agroecosystems. In: TURNER, B.L., FROSSARD, E., BALDWIN, D.S. (eds). *Organic phosphorus in the environment*. Wallingford, CAB International, 2005. p. 243-268.
- NOVAIS, R.F. & SMYTH, T.J. Fósforo em solo e planta em condições tropicais. UFV, DPS, Viçosa-MG, 1999. 399p.
- NUNES, D.A.D. Mineralização de fósforo orgânico em solos sob leguminosas florestais, floresta secundária e pastagem. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Campos dos Goytacazes - RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense, 2011. 78p.
- OHEL, F., FROSSARD, E., FLIESSBACH, A., DUBOIS, D., OBERSON, A. Basal organic phosphorus mineralization in soils under different farming systems. *Soil Biology & Biochemistry*, 36:667-675, 2004.

- OHEL, F., OBERSON, A., SINAJ, S., FROSSARD, E. Organic phosphorus mineralization studies using isotopic dilution techniques. *Soil Science Society of America Journal*, 65:780-787, 2001.
- RANDHAWA, P.S., CONDRON, L.M, DI, H.J., SINAJ, S, MCLEANAGHEN, R.D. Effect of green manure addition on soil organic phosphorus mineralization. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 73:181-189, 2005.
- RHEINHEIMER, D.S., ANGHINONI, I., CONTE, E. Sorção de fósforo em função do teor inicial e de sistemas de manejo de solos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 27:41-49, 2003.
- RITA, J.C.O. Carbono das frações da matéria orgânica e classes de agregados de solos sob Sistemas Agroflorestais de Cacau no Sul da Bahia. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Campos dos Goytacazes - RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense, 2007. 66p.
- RITA, J.C.O. GAMA-RODRIGUES, E.F., GAMA-RODRIGUES, A.C., POLIDORO, J.C., MACHADO, R.C.R. • BALIGAR, V.C. C and N Content in Density Fractions of Whole Soil and Soil Size Fraction Under Cacao Agroforestry Systems and Natural Forest in Bahia, Brazil. *Environmental Management*, 48:134-141, 2011.
- RITA, J.C.O. Mineralização das frações orgânicas de fósforo do solo e agregados das coberturas vegetais do Norte Fluminense e dos agrossistemas de cacau no Sul da Bahia. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Campos dos Goytacazes - RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense, 2012. 97p.
- ROLDÁN, A., SALINAS-GARCÍA, J.R., ALGUACIL, M.M., CARAVACA, F. (2005) Changes in soil enzyme activity, aggregation and C sequestration mediated by conservation tillage practices and water regime in a maize field. *Applied Soil Ecology*, 30:11-20, 2005.
- SIQUEIRA, J.O., MOREIRA, F.M.S. *Biologia e bioquímica do solo*. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 291p, 2001.
- SIX, J., CONANT, R.T.; PAUL, E.A.; PAUSTIAN, K. Stabilization mechanisms of soil organic matter: Implications for C-saturation of soils. *Plant Soil*, 241:155–176, 2002.
- ZAIA, F.C., GAMA-RODRIGUES, A.C., GAMA-RODRIGUES, E.F. Formas de fósforo no solo sob leguminosas florestais, floresta secundária e pastagem

no Norte Fluminense. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32:1191-1197, 2008.

#### 4. RESUMO E CONCLUSÃO

O presente estudo foi realizado em quatro áreas do município de Conceição de Macabu (acácia, sabiá, pasto e capoeira) e três áreas da Bahia (cacau-cabruca, cacau-eritrina e floresta), com o objetivo de avaliar a distribuição de frações de P e a mineralização da fração orgânica lábil e total de P dos solos e agregados. Nesses locais de estudo, foram coletados quatro amostras compostas de solo na profundidade de 0-10, com o intuito de separar os agregados em três classes ( $> 2,0$ ;  $2,0-0,250$  e  $< 0,250$  mm) por via úmida e, depois, determinar, nessas classes e nos solos, os teores de P antes da incubação e após 90 dias de incubação. O estudo do potencial de mineralização das frações orgânicas de P mostrou a distinta capacidade dos solos em fornecer P para o sistema, por meio da redução de  $P_o$  lábil e total dos macroagregados e microagregados. Nos dois locais estudados, houve similaridade no que concerne à fração inorgânica lábil ( $P_i$  lábil), que foi reduzida nas classes de agregados após 90 dias de incubação, apesar de ter ocorrido a mineralização do  $P_o$  lábil na maioria coberturas estudadas. Em relação à fração orgânica total ( $P_o$  total), houve aumento dessa fração em todos os agregados da acácia, mas a mineralização ficou evidente no solo sob sabiá, em todas as classes, e nos sistemas agroflorestais de cacau e floresta, nos macroagregados ( $> 2,0$  mm e  $2,0-0,250$  mm). Nesse sentido, o incremento do teor de  $P_i$  total nos agregados sob sabiá, cacau-cabruca e floresta pode ter ocorrido devido à mineralização de  $P_o$  total. Assim sendo, sistemas conservacionistas são

extremamente importantes na ciclagem de P, principalmente pela mineralização de formas orgânicas presentes no solo e nos agregados.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adesodun, J.K., Adeyemi, E.F., Oyegoke, C.O. (2007) Distribution of nutrient elements within water-stable aggregates of two tropical agroecological soils under different land uses. *Soil and Tillage Research*, 92:190-197.
- Almeida, J.A., Torrent, J., Barrón, V. (2003) Cor de solo, formas de fósforo e adsorção de fosfatos em Latossolos desenvolvidos de basalto do extremo sul do Brasil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 27:985-1002.
- Andrade, A.G., Costa, G.S., Faria, S.M. (2000) Deposição e decomposição da serapilheira em povoamentos de Mimosa caesalpinifolia, Acacia magium e Acacia holosericea com quatro anos de idade em Planossolo. *Revista Brasileira. Ciência do Solo*, 24:777-785.
- Bayer, C., Mielniczuk, J. (2008) Dinâmica e função da matéria orgânica, In: Santos, G.A; Silva, L.S. Canellas, L.P. Camargo, F.A.O. *Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais & subtropicais*, 2. ed. rev. e atual. Porto Alegre: Metrópole, p.7-16.
- Bonfim, E.M.S., Freire, F.J., Santos, M.V.F., Silva, T.J.A., Freire, M.B.G.S. (2004) Níveis críticos de fósforo para brachiaria brizantha e suas relações com características físicas e químicas em solos de Pernambuco. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 28:281-288.
- Borie, F., Rubio, R. (2003) Total and organic phosphorus in Chilean volcanic soils. *Gayana Bot.* 60:69-78.

- Brancalião, S.R., Moraes, M.H. (2008) Alterações de alguns atributos físicos e das frações húmicas de um nitossolo vermelho na sucessão milheto-soja em sistema plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32:393-404.
- Busato, J.G., Canellas, L.P., Velloso, A.C.X. (2005) Fósforo num cambissolo cultivado com cana-de-açúcar por longo tempo I-fracionamento seqüencial. *R. Bras. Ci. Solo*, 29:935-944.
- Cardoso, I.M., Janssen, B.H., Oenema, O., Kuyper, T.W. (2003) Phosphorus pools in Oxisols under shaded and unshaded coffee systems on farmers' fields in Brazil. *Agroforestry Systems*, 58: 55-64.
- Christensen, B.T. (2000) Organic matter in soil: structure, function and turnover. Tijele: DIAS, (*DIAS Report. Plant Production*, 30).
- Conte, E., Anghinoni, I., Rheinheimer, D.S. (2002) Fósforo da biomassa microbiana e atividade de fosfatase ácida após aplicação de fosfato em solo no sistema plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 26:925-930.
- Corrêa, J.C., Manir, M., Rosolem, C.A. (2004) Fósforo no solo e desenvolvimento de soja influenciados pela adubação fosfatada e cobertura vegetal. *Pesquisa agropecuária brasileira*, 39:1231-1237.
- Cruz, A.C.R., Pauletto, E.A., Flores, C.A., Silva, J.B. (2003) Atributos físicos e carbono orgânico de um Argissolo Vermelho sob sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 27:1105-1112.
- Cunha, G.M., Gama-Rodrigues, A.C., Costa, G.S., Velloso, A.C.X. (2007) Fósforo orgânico em solos sob florestas montanas, pastagens e eucalipto no Norte Fluminense. *R. Bras. Ci. Solo*, 31:667-671.
- Damodar Reddy, D., Subba Rao, A., Rupa, T.R. (2000) Effects of continuous use of cattle manure and fertilizer phosphorus on crop yields and soil organic phosphorus in a Vertisol. *Bioresource Technology*, 75:113-118.
- Dossa, E.L., Khouma, M., Diedhiou, I., Sene, M., Kizito, F., Badiane, A.N., Samba, S.A.N., Dick, R.P. (2009) Carbon, nitrogen and phosphorus mineralization potential of semiarid Sahelian soils amended with native shrub residues. *Geoderma*, 148:251-260.
- Espindola, J.A.A., Guerra, J.G.M., Almeida, D.L., Teixeira, M.G., Urquiaga, S. (2006). Decomposição e liberação de nutrientes acumulados em leguminosas herbáceas perenes consorciadas com bananeira. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 30:321-328.

- Fernandes, L.A., Faquin, V., Furtini Neto, A.E., Curi, N. (2002) Formas de fósforo em solos de várzea e biodisponibilidade para o feijoeiro. *Pesq. Agropec. Bras.*, 37:373-383.
- Fernandes, M.M., Pereira, M.G., Magalhães, L.M.S., Cruz, A.R., Giácomo, R.G. (2006) Aporte e decomposição de serapilheira em áreas de floresta secundária, plantio de sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.) e andiroba (*Carapa guianensis* Aubl.) na flona Mário Xavier, RJ. *Ciência Florestal*, 16:163-175.
- Fontes, R.L.F., Jucksch, I., Mendonça, E.S. de., Dantos, R.H.S., Dias, L.E. (1996). *Impactos ambientais do uso agrícola do solo*. ABEAS/ UFV. Departamento de Solos- Universidade Federal de Viçosa- UFV, Módulo xiii, 58p.
- Gatiboni, L. C., Kaminski, J., Rheinheimer, D. S., Brunetto, G. (2008) Fósforo da biomassa microbiana e atividade de fosfatases ácidas durante a diminuição do fósforo disponível no solo. *Pesquisa agropecuária brasileira*, 43:1085-1091.
- Gatiboni, L.C., Kaminski, J., Rheinheimer, D.S., Flores, J.P.C. (2007) Biodisponibilidade de formas de fósforo acumuladas em solo sob sistema plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 31:691-699.
- George, T. S., Turner, B. L., Gregory, P. J., Cade-Menun, B. J., Richardson, A. E. (2006) Depletion of organic phosphorus from Oxisols in relation to phosphatase activities in the rhizosphere. *European Journal of Soil Science*, 57:47-57.
- Grierson, P.F., Comerford, N. B., Jokela, E. J. (1999) Phosphorus mineralization and microbial biomass in a Florida Spodosol: effects of water potential, temperature and fertilizer application. *Biol Fertil Soils*, 28:244-252.
- Guerra, J.G.M., Almeida, D.J., Santos, G.A., Fernandes, M.S. (1996) Conteúdo de fósforo orgânico em amostras de solos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 31:291-299.
- Hedley, M.J., Stewart, J.W.B., Chauhan, B.S. (1982) Changes in inorganic and organic soil phosphorus fractions induced by cultivation, practices and by laboratory incubations. *soil sci*, 46:970-976.
- Maia, S.M.F., Xavier, F.A. da S., Oliveira, T.S., Mendonça, E. de Sá., Filho, J.A. de A. (2006) Impactos de sistemas agroflorestais e convencional sobre a qualidade do solo no semi-árido cearense. *Revista Árvore*, 30:837-848.

- Matos, E.S., Mendonça, E.S., Leite, L.F.C., Galvão, J.C.C., (2008). Estabilidade de agregados e distribuição de carbono e nutrientes em Argissolo sob adubação orgânica e mineral. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, 43:1221-1230.
- Meurer J.E. (2000) Fenômenos de sorção em solos. In: *Fundamentos de Química do Solo*. p.117-162.
- Mukuralinda, A., Tenywa, J.S., Verchot L., Obua, J. Namirembe, S. (2009) Decomposition and phosphorus release of agroforestry shrub residues and the effect on maize yield in acidic soils of Rubona, southern Rwanda. *Nutr Cycl Agroecosyst.*, 84:155-166.
- Muzzilli, O. (2002) Manejo da matéria orgânica no sistema plantio direto: a experiência no estado do Paraná. Informações agronômicas Nº 100, dezembro.
- Novais, R.F., Smyth, T.J. (1999) *Fósforo em solo e planta em condições tropicais*. UFV, DPS, Viçosa-MG, 399p.
- Otabbong, E., Persson, J., Iakimenko, O., Sadovnikova, L. (1997) The Ultuna long-term soil organic matter experiment. *Plant Soil*, 195:17-93.
- Passos, R.R., Ruiz, H.A., Cantarutti, R.B., Mendonça, E. de S. (2007) Carbono orgânico e nitrogênio em agregados de um Latossolo Vermelho distrófico sob duas coberturas vegetais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 31:1109-1118.
- Rheinheimer, D.S., Cassol, P.C., Kaminski, J., Anghinoni, I. (2008) Fósforo orgânico do solo. In: Santos, G. A; Silva, L.S. Canellas, L.P. Camargo, F.A.O. *Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais & subtropicais*, 2. ed. rev. e atual. Porto Alegre: Metrópole, p.101-109.
- Ribeiro, K.A., Oliveira, T.S., Mendonça, E.S., Xavier, F.A.S., Maia, S.M.F., Sousa, H.H.F. (2007) Qualidade do solo na cultura do cajueiro anão precoce cultivado sob diferentes sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 31:341-351.
- Rita, J.C.O. (2005) *Distribuição de carbono em classes de agregados de solos sob diferentes coberturas vegetais*. Monografia - Graduação em Agronomia - Campos dos Goytacazes - RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense, UENF, 25p.
- Rita, J.C.O. (2007) *Carbono das frações da matéria orgânica e classes de agregados de solos sob Sistemas Agrofloretais de Cacao no Sul da Bahia*.

- Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Campos dos Goytacazes - RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense. 66p.
- Santos, D.R., Gatiboni, L.C., Kaminskil, J. (2008a) Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema plantio direto. *Ciência Rural*, 38:576-586.
- Santos, H.Q., Fonseca, D.M., Cantarutti, R.B., Alvarez V.V.H., Júnior, D.N. (2002) Níveis críticos de fósforo no solo e na planta para gramíneas forrageiras tropicais, em diferentes idades. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 26:173-182.
- Santos, J.Z.L., Furtini Neto, A.E., Resende, A.V., Curi, N., Carneiro, L.F. Costa S.E.V.G.A. (2008b) Frações de fósforo em solo adubado com fosfatos em diferentes modos de aplicação e cultivado com milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32:705-714.
- Severino, L.S., Ferreira, G.B., Moraes, C.R.A., Gondim, T.M.S., Cardoso, G.D., Viriato, J.R., Beltrão, N.E.M. (2006). Produtividade e crescimento da mamoneira em resposta à adubação orgânica e mineral. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 41:879-882.
- Sigua, G.C., Kang W.J., Coleman, S.W. (2006) Soil profile distribution of phosphorus and other nutrients following wetland conversion to beef cattle pasture. *Journal of Environmental Quality* 35:2374-82.
- Silva, M.P.S. (2005) *Biomassa e caracterização química da serapilheira e nível de fertilidade do solo sob diferentes coberturas florestais na região norte fluminense*. Monografia - Graduação em Agronomia - Campos dos Goytacazes - RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense, UENF, 24p.
- Siqueira, J.O., Moreira, F.M.S. (2001) *Biologia e bioquímica do solo*. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 291p.
- Six, J., Paustian, K., Elliott, E.T., Combrink, C. (2000) Soil structure and organic matter: I. Distribution of aggregate-size classes and aggregate associated carbon. *Soil Science Society of American Journal*, 64:681-68.
- Solomon, D., Lehmann, J., Mamo, T., Fritzsche, F., Zech, W. (2002) Phosphorus forms and dynamics as influenced by land use changes in the sub-humid Ethiopian highlands. *Geoderma*, 105:21-48.
- Souza, E.D., Costa, S.E.V.G.A., Lima, C.V.S., Anghinoni, I., Meurer, E.J., Carvalho, P.C.A (2008) Carbono orgânico e fósforo microbiano em sistema

- de integração agricultura-pecuária submetido a diferentes intensidades de pastejo em plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32:1273-1282.
- Szott L.T., Melendez G. (2001) Phosphorus availability under annual cropping, alley cropping, and multistrata agroforestry systems. *Agrofor. Syst.* 53:125-132.
- Tate, K.R., Newman, R.H. (1982) Phosphorus fractions of a climosequence of soils in New Zealand Tussock Grassland. *Soil biology & biochemistry*, 14:191-196.
- Tisdall, J.M., Oades, J.M. (1982) Organic matter and water-stable aggregates in soils, *Journal of Soil Science* 33:141-163.
- Tokura, A. M., Furtini Neto, A.E., Curi, N., Faquin, V., Kurihara, C.H., Alovisi, A. A. (2002) Formas de fósforo em solo sob plantio direto em razão da profundidade e tempo de cultivo. *Pesquisa agropecuária brasileira*, 37:1467-1476.
- Turrion M.B., Lafuente, F., Aroca, M-J., López, O., Mulas, R., Ruipérez, C. (2010). Characterization of soil phosphorus in a fire-affected forest Cambisol by chemical extractions and <sup>31</sup>P-NMR spectroscopy analysis. *Science of the Total Environment*, doi:10.1016/j.scitotenv.2010.03.035.
- Turrión, M.B., López, O., Lafuente, F., Mulas, R., Ruipérez, C., Puyo, A. (2007). Soil phosphorus forms as quality indicators of soils under different vegetation covers. *Science of the Total Environment*, 378:195-198.
- Wisniewski, C., Holtz, G.P. (1997). Decomposição da palhada e liberação de nitrogênio e fósforo numa rotação aveia-soja sob plantio direto, *Pesquisa agropecuária brasileira*, 32:1191-1197.
- Xavier, F.A.S., Oliveira, T.S., Andrade, F.V., Mendonça, E.S. (2009) Phosphorus fractionation in a sandy soil under organic agriculture in Northeastern Brazil. *Geoderma*, 151:417-423
- Zaia, F.C., Gama-Rodrigues, A.C., Gama-Rodrigues, E.F. (2008a) Formas de fósforo no solo sob leguminosas florestais, floresta secundária e pastagem no Norte Fluminense. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32:1191-1197.
- Zaia, F.C., Gama-Rodrigues, A.C., Gama-Rodrigues, E.F., Machado, R.C.R. (2008b) Fósforo orgânico em solos sob agrossistemas de cacau. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32:1987-1995.

**ANEXO**

**Quadro 1.** Mineralização do fósforo orgânico total (Po total) e fósforo orgânico lábil (Po lábil) após a incubação do solo sob floresta e dos sistemas agroflorestais de cacau-cabruca e cacau-eritrina.

Coberturas	Po total	Po lábil
	------(%)-----	
Floresta	+59% <sup>1/</sup>	+16%
Cacau-cabruca	-29% <sup>2/</sup>	-46%
Cacau-eritrina	-57%	+98%

<sup>1/</sup> Valores positivos indicam que ocorreu aumento da quantidade de Po com o tempo de incubação. <sup>2/</sup> Valores negativos indicam que ocorreu redução da quantidade de Po, portanto, a mineralização de Po. A mineralização do Po total e lábil foi obtida pela fórmula:  $Po\text{-min. (\%)} = (Po\text{-T1} - Po\text{-T0}) / (Po\text{-T0}) * 100$ .

**Quadro 2.** Mineralização do fósforo orgânico total (Po total) e fósforo orgânico lábil (Po lábil) após a incubação dos agregados da floresta e dos sistemas agroflorestais de cacau-cabruca e cacau-eritrina.

Coberturas	Classes de Agregados (mm)	Po total	Po lábil
		------(%)-----	
Floresta	> 2,0	-9% <sup>1/</sup>	-10%
	2,0-0,250	-45%	-41%
	< 0,250	+144% <sup>2/</sup>	-72%
Cacau-cabruca	> 2,0	-25%	-71%
	2,0-0,250	-26%	-44%
	< 0,250	+63%	-89%
Cacau-eritrina	> 2,0	-20%	-22%
	2,0-0,250	-55%	-51%
	< 0,250	+40%	-84%

<sup>1/</sup> Valores negativos indicam que ocorreu redução da quantidade de Po, portanto, a mineralização de Po. <sup>2/</sup> Valores positivos indicam que ocorreu aumento da quantidade de Po com o tempo de incubação. A mineralização do Po total e lábil foi obtida pela fórmula:  $Po\text{-min. (\%)} = (Po\text{-T1} - Po\text{-T0}) / (Po\text{-T0}) * 100$ .

**Quadro 3.** Valores de fósforo inorgânico total (Pi total) e fósforo inorgânico lábil (Pi lábil) após a incubação dos agregados da floresta e dos sistemas agroflorestais de cacau-cabruca e cacau-eritrina.

Coberturas	Classes de Agregados (mm)	Pi total		Pi lábil	
		------(%)-----			
Floresta	> 2,0	+20% <sup>1/</sup>		-64% <sup>2/</sup>	
	2,0-0,250	+12%		-67%	
	< 0,250	+37%		-39%	
Cacau-cabruca	> 2,0	+13%		-47%	
	2,0-0,250	+66%		-42%	
	< 0,250	+58%		-25%	
Cacau-eritrina	> 2,0	-13%		-25%	
	2,0-0,250	-3%		-21%	
	< 0,250	+93%		-45%	

<sup>1/</sup> Valores positivos indicam que ocorreu aumento da quantidade de Pi com o tempo de incubação. <sup>2/</sup> Valores negativos indicam que ocorreu redução da quantidade de Pi. Os percentuais de Pi total e lábil foram obtidos pela fórmula:  $Pi. (%) = (PiT1 - PiT0) / (Pi-T0) * 100$ .

**Quadro 4.** Mineralização do fósforo orgânico total (Po total) e fósforo orgânico lábil (Po lábil) após a incubação do solo sob leguminosas florestais, pasto e capoeira.

Coberturas	Po total		Po lábil	
	------(%)-----			
Acácia	-48% <sup>1/</sup>		+67%	
Sabiá	+3% <sup>2/</sup>		+14%	
Pasto	+58%		-32%	
Capoeira	-41%		+28%	

<sup>1/</sup> Valores negativos indicam que ocorreu redução da quantidade de Po, portanto, a mineralização de Po. <sup>2/</sup> Valores positivos indicam que ocorreu aumento da quantidade de Po com o tempo de incubação. A mineralização do Po total e lábil foi obtida pela fórmula:  $Po-min. (%) = (Po-T1 - Po-T0) / (Po-T0) * 100$ .

**Quadro 5.** Mineralização do fósforo orgânico total (Po total) e fósforo orgânico lábil (Po lábil) após a incubação dos agregados das leguminosas florestais, do pasto e da capoeira.

Coberturas	Classes de Agregados (mm)	Po total	Po lábil
		------(%)-----	
Acácia	> 2,0	+19% <sup>1/</sup>	-80% <sup>2/</sup>
	2,0-0,250	+16%	-36%
	< 0,250	+206%	-94%
Sabiá	> 2,0	-42%	-48%
	2,0-0,250	-52%	+15%
	< 0,250	-37%	-86%
Pasto	> 2,0	-3%	-40%
	2,0-0,250	-31%	+6%
	< 0,250	+214%	-13%
Capoeira	> 2,0	-50%	-28%
	2,0-0,250	+34%	+340%
	< 0,250	+83%	+25%

<sup>1/</sup> Valores positivos indicam que ocorreu aumento da quantidade de Po com o tempo de incubação, <sup>2/</sup> Valores negativos indicam que ocorreu redução da quantidade de Po, portanto, a mineralização de Po. A mineralização do Po total e lábil foi obtida pela fórmula:  $Po\text{-min. (\%)} = (Po\text{-T1} - Po\text{-T0}) / (Po\text{-T0}) * 100$ .

## APÊNDICE

Quadro 1A. Análise de variância do teor fósforo inorgânico e orgânico total e lábil das classes de agregados entre as coberturas de floresta e o sistema agroflorestal de cacau, antes do tempo de incubação.

<b>Classe &gt; 2,0 mm</b>					
<b>F.V. <sup>(1)</sup></b>	<b>G.L. <sup>(2)</sup></b>	<b>S.Q. <sup>(3)</sup></b>	<b>Q.M. <sup>(4)</sup></b>	<b>F</b>	<b>Significância</b>
<b>Fósforo inorgânico total</b>					
Cobertura	2	2207.914	1103.957	159.09	
Resíduo	6	41.63460	6.939100		0.00000
Coeficiente de Variação = 3.849					
<b>Fósforo orgânico total</b>					
Área	2	27634.40	13817.20	1395.5	
Resíduo	6	59.40667	9.901111		0.00000
Coeficiente de Variação = 1.249					
<b>Fósforo inorgânico lábil</b>					
Área	2	13.50000	6.750000	13.500	
Resíduo	6	3.000000	0.500000		0.00601
Coeficiente de Variação = 10.102					
<b>Fósforo orgânico lábil</b>					
Área	2	103.6691	51.83453	23.035	
Resíduo	6	13.50133	2.250222		0.00153
Coeficiente de Variação = 11.604					
<b>Classe 2,0-0,250 mm</b>					
<b>F.V. <sup>(1)</sup></b>	<b>G.L. <sup>(2)</sup></b>	<b>S.Q. <sup>(3)</sup></b>	<b>Q.M. <sup>(4)</sup></b>	<b>F</b>	<b>Significância</b>
<b>Fósforo inorgânico total</b>					
Área	2	20921.61	10460.80	1336.5	
Resíduo	6	46.96027	7.826711		0.00000
Coeficiente de Variação = 1.130					
<b>Fósforo orgânico total</b>					
Área	2	5506.131	2753.065	481.935	
Resíduo	6	34.27513	5.712522		0.00000
Coeficiente de Variação = 3.075					
<b>Fósforo inorgânico lábil</b>					
Área	2	7.388889	3.694444	33.250	
Resíduo	6	0.666666	0.111111		0.00057
Coeficiente de Variação = 6.383					
<b>Fósforo orgânico lábil</b>					
Área	2	242.1334	121.0667	163.447	
Resíduo	6	4.444267	0.74071		0.00000
Coeficiente de Variação = 6.698					
<b>Classe &lt; 0,250 mm</b>					
<b>F.V. <sup>(1)</sup></b>	<b>G.L. <sup>(2)</sup></b>	<b>S.Q. <sup>(3)</sup></b>	<b>Q.M. <sup>(4)</sup></b>	<b>F</b>	<b>Significância</b>
<b>Fósforo inorgânico total</b>					
Área	2	9955.500	4977.750	905.04	
Resíduo	6	33.00000	5.500000		0.00000
Coeficiente de Variação = 1.457					

## Continuação do Quadro 1A

<b>Fósforo orgânico total</b>					
Área	2	2315.187	1157.593	356.863	
Resíduo	6	19.46280	3.243800		0.00000
Coeficiente de Variação = 4.242					
<b>Fósforo inorgânico lábil</b>					
Área	2	5.510556	2.755278	26.172	
Resíduo	6	0.6316667	0.105778		0.00109
Coeficiente de Variação = 7.365					
<b>Fósforo orgânico lábil</b>					
Área	2	351.2625	175.6312	335.117	
Resíduo	6	3.144533	0.524088		0.00000
Coeficiente de Variação = 5.653					

<sup>(1)</sup> Fonte de variação; <sup>(2)</sup> Graus de liberdade; <sup>(3)</sup> Soma de quadrados; <sup>(4)</sup> Quadrado Médio

Quadro 2A. Análise de variância do teor fósforo inorgânico e orgânico total e lábil das classes de agregados entre as coberturas de floresta e sistema agroflorestal de cacau, após 90 dias de incubação.

<b>Classe &gt; 2,0 mm</b>					
<b>F.V.</b> <sup>(1)</sup>	<b>G.L.</b> <sup>(2)</sup>	<b>S.Q.</b> <sup>(3)</sup>	<b>Q.M.</b> <sup>(4)</sup>	<b>F</b>	<b>Significância</b>
<b>Fósforo inorgânico total</b>					
Cobertura	2	3766.367	1883.184	289.584	
Resíduo	6	39.01833	6.503056		0.00000
Coeficiente de Variação = 0.978					
<b>Fósforo orgânico total</b>					
Área	2	840.2354	420.1177	145.430	
Resíduo	6	17.33274	2.888790		0.00000
Coeficiente de Variação = 3.079					
<b>Fósforo inorgânico lábil</b>					
Área	2	28.6666	14.33333	64.500	
Resíduo	6	1.33333	0.222222		0.00009
Coeficiente de Variação = 11.785					
<b>Fósforo orgânico lábil</b>					
Área	2	77.02060	38.51030	32.247	
Resíduo	6	7.165274	1.194212		0.00062
Coeficiente de Variação = 13.981					
<b>Classe 2,0-0,250 mm</b>					
<b>F.V.</b> <sup>(1)</sup>	<b>G.L.</b> <sup>(2)</sup>	<b>S.Q.</b> <sup>(3)</sup>	<b>Q.M.</b> <sup>(4)</sup>	<b>F</b>	<b>Significância</b>
<b>Fósforo inorgânico total</b>					
Área	2	5314.242	2657.121	342.41	
Resíduo	6	46.56000	7.760000		0.00000
Coeficiente de Variação = 0.938					
<b>Fósforo orgânico total</b>					
Área	2	840.4185	420.2092	73.909	
Resíduo	6	34.11308	5.685513		0.00006
Coeficiente de Variação = 5.526					

Continuação do Quadro 2A					
<b>Fósforo inorgânico lábil</b>					
Área	2	9.55555	4.77777	21.500	
Resíduo	6	1.33333	0.22222		0.00184
Coeficiente de Variação = 16.318					
<b>Fósforo orgânico lábil</b>					
Área	2	43.92212	21.96106	16.124	
Resíduo	6	8.172274	1.362046		0.00386
Coeficiente de Variação = 17.254					
<b>Classe &lt; 0,250 mm</b>					
F.V. <sup>(1)</sup>	G.L. <sup>(2)</sup>	S.Q. <sup>(3)</sup>	Q.M. <sup>(4)</sup>	F	Significância
<b>Fósforo inorgânico total</b>					
Área	2	81298.39	40649.19	4157.304	
Resíduo	6	58.66667	9.777778		0.00000
Coeficiente de Variação = 1.157					
<b>Fósforo orgânico total</b>					
Área	2	1667.627	833.8136	856.070	
Resíduo	6	5.783207	0.963867		0.00000
Coeficiente de Variação = 1.392					
<b>Fósforo inorgânico lábil</b>					
Área	2	51.07555	0.537777	5.149	
Resíduo	6	0.626666	0.104444		0.04990
Coeficiente de Variação = 11.728					
<b>Fósforo orgânico lábil</b>					
Área	2	5.201592	2.600796	335.117	
Resíduo	6	0.239350	0.398917 <sup>E-01</sup>		0.00009
Coeficiente de Variação = 10.226					

<sup>(1)</sup> Fonte de variação; <sup>(2)</sup> Graus de liberdade; <sup>(3)</sup> Soma de quadrados; <sup>(4)</sup> Quadrado Médio

Quadro 3A. Análise de variância do teor fósforo inorgânico e orgânico total e lábil das classes de agregados entre as coberturas de leguminosas florestais, pasto e capoeira, antes do tempo de incubação.

<b>Classe &gt; 2,0 mm</b>					
F.V. <sup>(1)</sup>	G.L. <sup>(2)</sup>	S.Q. <sup>(3)</sup>	Q.M. <sup>(4)</sup>	F	Significância
<b>Fósforo inorgânico total</b>					
Cobertura	3	50995.66	16998.55	57.459	
Resíduo	12	3550.030	295.8358		0.00000
Coeficiente de Variação = 7.263					
<b>Fósforo orgânico total</b>					
Área	3	6147.291	2049.097	270.526	
Resíduo	12	90.89385	7.574488		0.00000
Coeficiente de Variação = 3.976					
<b>Fósforo inorgânico lábil</b>					
Área	3	35.92188	11.97396	41.800	
Resíduo	12	3.437500	0.286458		0.00000
Coeficiente de Variação = 14.638					

Continuação do Quadro 3A					
<b>Fósforo orgânico lábil</b>					
Área	3	127.6001	42.53337	17.263	
Resíduo	12	29.56577	2.463815		0.00012
Coeficiente de Variação = 17.007					
<b>Classe 2,0-0,250 mm</b>					
F.V. <sup>(1)</sup>	G.L. <sup>(2)</sup>	S.Q. <sup>(3)</sup>	Q.M. <sup>(4)</sup>	F	Significância
<b>Fósforo inorgânico total</b>					
Área	3	14974.33	4991.443	3.569	
Resíduo	12	16784.89	1398.741		0.04719
Coeficiente de Variação = 15.072					
<b>Fósforo orgânico total</b>					
Área	3	7563.210	2521.070	265.881	
Resíduo	12	113.7834	9.481954		0.00000
Coeficiente de Variação = 6.549					
<b>Fósforo inorgânico lábil</b>					
Área	3	104.6631	34.88771	33.250	
Resíduo	12	0.921250	0.7677083 <sup>E-01</sup>		0.00057
Coeficiente de Variação = 5.735					
<b>Fósforo orgânico lábil</b>					
Área	3	53.48302	17.82767	104.319	
Resíduo	12	2.050750	0.170898		0.00000
Coeficiente de Variação = 11.215					
<b>Classe &lt; 0,250 mm</b>					
F.V. <sup>(1)</sup>	G.L. <sup>(2)</sup>	S.Q. <sup>(3)</sup>	Q.M. <sup>(4)</sup>	F	Significância
<b>Fósforo inorgânico total</b>					
Área	3	14964.01	4988.004	260.689	
Resíduo	12	229.6069	19.13391		0.00000
Coeficiente de Variação = 2.276					
<b>Fósforo orgânico total</b>					
Área	3	891.449	297.1483	66.312	
Resíduo	12	53.77292	4.481076		0.00000
Coeficiente de Variação = 7.095					
<b>Fósforo inorgânico lábil</b>					
Área	3	213.2723	71.09077	147.947	
Resíduo	12	5.766200	0.480516		0.00000
Coeficiente de Variação = 11.946					
<b>Fósforo orgânico lábil</b>					
Área	3	821.2625	273.7542	235.493	
Resíduo	12	13.94965	1.162471		0.00000
Coeficiente de Variação = 10.502					

<sup>(1)</sup> Fonte de variação; <sup>(2)</sup> Graus de liberdade; <sup>(3)</sup> Soma de quadrados; <sup>(4)</sup> Quadrado Médio

Quadro 4A. Análise de variância do teor fósforo inorgânico e orgânico total e lábil das classes de agregados entre as coberturas de leguminosas florestais, pasto e capoeira, após 90 dias de incubação.

<b>Classe &gt; 2,0 mm</b>					
F.V. <sup>(1)</sup>	G.L. <sup>(2)</sup>	S.Q. <sup>(3)</sup>	Q.M. <sup>(4)</sup>	F	Significância
<b>Fósforo inorgânico total</b>					
Cobertura	3	11227.59	3742.531	35.395	
Resíduo	12	1268.842	105.7369		0.00000
Coeficiente de Variação = 3.281					
<b>Fósforo orgânico total</b>					
Área	3	1636.373	545.4576	103.673	
Resíduo	12	63.13570	5.261308		0.00000
Coeficiente de Variação = 4.446					
<b>Fósforo inorgânico lábil</b>					
Área	3	15.68750	5.229167	13.211	
Resíduo	12	4.750000	0.395833		0.00041
Coeficiente de Variação = 19.738					
<b>Fósforo orgânico lábil</b>					
Área	3	91.41320	30.47107	56.547	
Resíduo	12	6.466341	0.538861		0.00000
Coeficiente de Variação = 16.056					
<b>Classe 2,0-0,250 mm</b>					
F.V. <sup>(1)</sup>	G.L. <sup>(2)</sup>	S.Q. <sup>(3)</sup>	Q.M. <sup>(4)</sup>	F	Significância
<b>Fósforo inorgânico total</b>					
Área	3	41058.25	13686.08	69.037	
Resíduo	12	2378.904	198.2420		0.00000
Coeficiente de Variação = 4.553					
<b>Fósforo orgânico total</b>					
Área	3	5173.258	1724.419	464.058	
Resíduo	12	44.59144	3.715953		0.00000
Coeficiente de Variação = 4.825					
<b>Fósforo inorgânico lábil</b>					
Área	3	3.197900	1.065967	16.956	
Resíduo	12	0.754400	0.628666 <sup>E-01</sup>		0.00013
Coeficiente de Variação = 10.265					
<b>Fósforo orgânico lábil</b>					
Área	3	88.39602	29.46534	45.864	
Resíduo	12	7.709483	0.642456		0.00000
Coeficiente de Variação = 16.102					
<b>Classe &lt; 0,250 mm</b>					
F.V. <sup>(1)</sup>	G.L. <sup>(2)</sup>	S.Q. <sup>(3)</sup>	Q.M. <sup>(4)</sup>	F	Significância
<b>Fósforo inorgânico total</b>					
Área	3	16362.81	5454.272	221.123	
Resíduo	12	295.9943	24.66619		0.00000
Coeficiente de Variação = 1.877					

## Continuação do Quadro 4A

<b>Fósforo orgânico total</b>					
Área	3	5676.220	1892.073	387.212	
Resíduo	12	58.63688	4.886407		0.00000
Coeficiente de Variação = 3.876					
<b>Fósforo inorgânico lábil</b>					
Área	3	7.187500	2.395833	16.429	
Resíduo	12	1.750000	0.145833		0.00015
Coeficiente de Variação = 18.515					
<b>Fósforo orgânico lábil</b>					
Área	3	16.17224	5.390746	41.810	
Resíduo	12	1.547219	0.128934		0.00000
Coeficiente de Variação = 14.637					

<sup>(1)</sup> Fonte de variação; <sup>(2)</sup> Graus de liberdade; <sup>(3)</sup> Soma de quadrados; <sup>(4)</sup> Quadrado Médio