

Contribuição das frações lábeis de fósforo em solos de diferentes coberturas vegetais

D. A. D. NUNES¹, R. I.C. OLIVEIRA², F.C. ZAIA³, E. F. GAMA RODRIGUES³, A.C. GAMA RODRIGUES³

¹ Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, Departamento de Engenharia Bioquímica

² Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Ciência do Solo

³ Universidade Estadual do Norte Fluminense, Laboratório de solos

E-mail para contato: danycidinha@yahoo.com.br

RESUMO – Em solos degradados e intemperizados, onde o fósforo (P) é pouco disponível, o P orgânico (Po) é uma importante fonte de P lábil. O objetivo deste trabalho foi avaliar a contribuição das frações de Po lábil e Pi lábil em relação ao P total dos solos de diferentes coberturas vegetais (*Mimosa caesalpinifolia*, *Acacia auriculiformes*, mata e pasto). O solo foi coletado na profundidade de 0-10 cm e incubado em laboratório por 60 e 173 dias, em estufa à 40°C. O Po (24,58%) teve participação menor que o Pi (75, 41%) em relação ao P total (300, 07 mg kg⁻¹) dos solos durante todo o tempo de incubação. A contribuição do Po lábil (67,65%) foi maior que a do P inorgânico (Pi) lábil (32,52%), em relação ao P total lábil (7,79 mg kg⁻¹). A correlação entre o Po lábil e o P disponível por Mehlich⁻¹ e o C orgânico dos solos foi positiva. Os resultados mostram a dependência do P em relação à fonte orgânica que contribui significativamente para o fornecimento de P às plantas.

1. INTRODUÇÃO

O fósforo (P) é um dos nutrientes essenciais à sobrevivência das plantas, estando presente em componentes estruturais das células, como nos ácidos nucleicos e fosfolipídios das biomembranas, e também em componentes metabólicos móveis armazenadores de energia, como o ATP (Gatiboni, 2003). Devido à sua baixa disponibilidade natural em solos mais intemperizados e argilosos, associada à alta capacidade que esses solos têm em reter o P na fase sólida do solo (Santos et al., 2008), o P é um dos nutrientes que tem merecido maior preocupação.

O fósforo do solo encontra-se distribuído na forma orgânica (Po) e inorgânica (Pi). Os métodos de avaliação da fertilidade do solo enfocam a fração inorgânica de P como indicadora da disponibilidade deste nutriente para as culturas, apesar da fração orgânica contribuir significativamente para o fornecimento de P às plantas (Novais e Smith, 1999), através da decomposição e mineralização da fração lábil de Po (Po lábil), que contribuindo para a disponibilidade de P para as plantas.

A exploração agrícola inadequada dos solos promove um desequilíbrio no ecossistema resultando em alterações negativas nas propriedades do solo e consequentemente na fertilidade deste. A recuperação desses solos pode ser conseguida através da revegetação por espécies florestais de rápido crescimento, especialmente as leguminosas arbóreas, inoculadas com bactérias fixadoras de nitrogênio (N₂) e fungos micorrízicos (Jesus et al., 2005), que promovem melhoria na absorção de nutrientes e água, resultado da extensa rede micelial que aumenta a zona de absorção radicular e o volume de solo explorado (Carvalho et al. 2003). Esta é uma tecnologia de baixo custo e viável, pois promove a melhoria do solo através da formação de serapilheira, que ao ser decomposta promove adição de matéria orgânica, reciclagem de nutrientes no solo e a mineralização de Po na forma de Pi disponível para às plantas, (Andrade et al., 2003).

Estudos sobre Po em solos de diferentes coberturas vegetais podem fornecer importantes subsídios para a compreensão do ciclo de P e elaboração de práticas de manejo da fertilização fosfatada que visem maximizar a capacidade produtiva dos solos de maneira sustentável. Portanto, o objetivo deste trabalho, foi de avaliar a contribuição das frações lábeis de fósforo, distinguindo a participação da fração orgânica lábil (Po lábil), da fração inorgânica lábil (Pi lábil) em relação a fração de fósforo total dos solos e relacionar o teor de Po lábil com alguns atributos químicos do solo.

2. Materiais e métodos

O solo foi coletado na Fazenda Carrapeta (município de Conceição de Macabu, RJ). O clima da região, é do tipo Am, quente e úmido, com temperatura média de 26 °C, precipitação média anual de 1.400 mm. O solo é classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo, Tb caulínítico, em relevo ondulado, com declividade em torno de 35 cm m⁻¹.

A área experimental é composta por quatro coberturas vegetais em parcelas de 1.500 m² (75 x 20 m). As coberturas vegetais foram: plantios puros das espécies arbóreas de *Acacia auriculiformis* (acácia) e *Mimosa caesalpinhiifolia* (sabiá), um pasto degradado, e um fragmento florestal de Mata Atlântica em sucessão secundária (capoeira), ambos com aproximadamente 40 anos de idade (Figura 1). Em cada cobertura vegetal, foram coletadas quatro amostras compostas, sendo cada uma constituída de quinze amostras simples, ao acaso, nas entrelinhas de plantio, na camada de 0-10 cm, em julho de 2007.

O Po total foi obtido por meio do método de extração sequencial (Bowman, 1989), e o Po lábil, pelo método de extração com NaHCO₃ 0,5 mol L⁻¹ (Bowman & Cole, 1978). O Pi foi determinado após clarificação dos extratos com carvão ativo (Guerra et al., 1996). O teor de Pi nos extratos ácidos e alcalinos foi determinado pelo método de Murphy & Riley (1962).

A incubação do solo foi realizada com solo de cada área experimental, com umidade padronizada para 80 % da capacidade máxima de saturação do solo. A quantidade de solo incubado foi de 50 g. As amostras foram acondicionadas em snap-caps dentro de estufa com temperatura controlada à 40°C e incubadas por 173 dias, sendo retiradas da incubação para determinação do Po mineralizado no 60º e 173º dia. A cada 15 dias, a umidade foi restabelecida ao nível inicial.

A caracterização da fertilidade do solo e os atributos químicos foram determinados de acordo com Embrapa (1997), com exceção do C orgânico (COT) dosado por oxidação com $K_2Cr_2O_7$ 1,25 mol L⁻¹ em meio ácido (Anderson & Ingram, 1996) (Tabela 1).

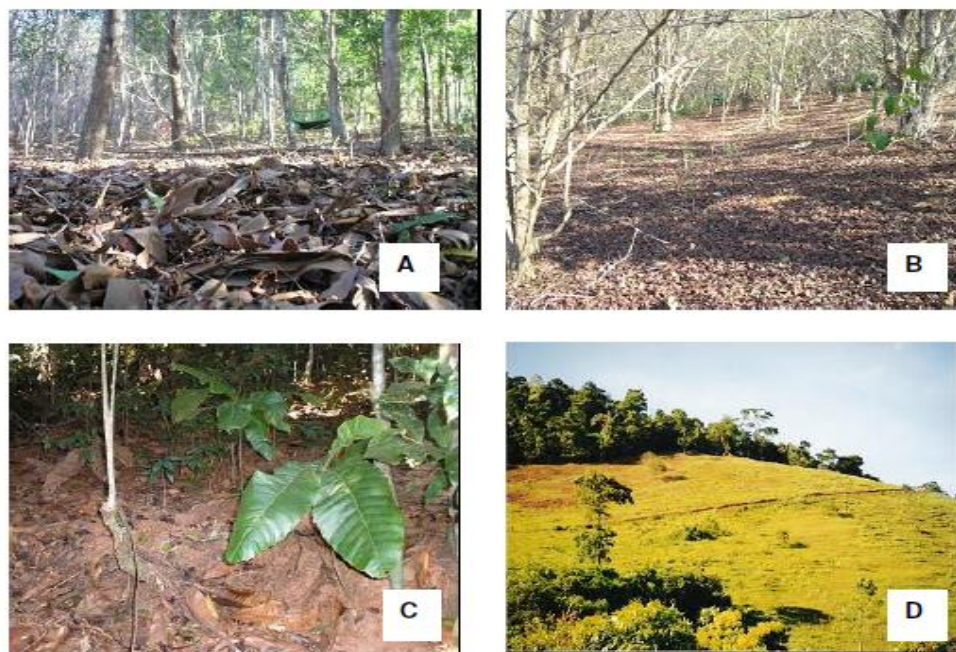


Figura 1. Fotos das coberturas onde foram coletadas as amostras de solo e serapilheira, na fazenda Carrapeta, Conceição de Macabu, RJ: A - *Acacia auriculiformis* (Acácia), B - *Mimosa caesalpinhiifolia* (Sabiá), C – Capoeira e D- Pasto

Tabela 1 – valores de pH e atributos químicos do solo de diferentes de coberturas vegetais

Cobertura	pH	Ca	Mg	Al	H+Al	CTC	P	K	Co	NT
		Cmolc _c dm ⁻³					mg dm ⁻³		g kg ⁻¹	
Acácia	4,6a ⁽¹⁾	1,2a	0,6a	0,3c	4,8d	6,7c	4,8a	36,3b	13,30b	1,40a
Sabiá	4,6a	,5a	0,5ab	0,4c	6,2c	8,3b	4,3a	51,5a	13,20b	1,40a
Capoeira	4,0b	0,3b	0,4bc	1,8a	9,6a	10,4a	4,8a	28,0b	14,90a	1,30ab
Pasto	4,3ab	0,6b	0,3c	1,2b	7,3b	8,3b	3,0a	40,8ab	12,20b	0,80b

^{1/}médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Os dados foram submetidos à análise de variância como em delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições, nas análises dos atributos químicos do solo, do P orgânico total e lábil e P inorgânico do solo. De maneira complementar, utilizou-se, para comparação de médias, o teste de Tukey a 5 %, onde cada cobertura florestal foi considerada um tratamento de efeito-fixe e foram estabelecidas correlações de Pearson a 5 % de probabilidade ($n = 12$) entre as diferentes frações de P e alguns atributos químicos do solo.

2. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O estudo da contribuição do Po e Pi para o P total dos solos antes e após incubação, mostra que houve um predomínio da fração de Pi em relação à fração de Po sob todas as coberturas vegetais (Tabela 2). Além disso, a média do Po e do Pi encontrada entre todos os tempos de incubação, foi de 24,58% e de 75,41% de Po e Pi respectivamente, em relação ao P total (300,07 mg kg⁻¹ em média), verificado no solo das mesmas coberturas vegetais, por Nunes (2011).

Antes da incubação dos solos, o Po representou de 19,20 a 30,69% do P total extraído. Duda (2000), estudando amostras do horizonte superficial e subsuperficial de 26 classes de solos, encontrou que a relação Po/ Ptotal foi em média de 30,6% no horizonte superficial e de 21,2% no horizonte subsuperficial. Após a incubação dos solos, a contribuição de Po e Pi do P total do solo sob todas as coberturas vegetais continua mostrando predomínio da fração Pi em relação à fração de Po, embora em quantidades diferentes (Tabela 2). Após 60 dias, o Po representou de 14,53 a 38,42% do P total extraído, enquanto após 173 dias o Po representou de 18,18 a 29,76% do P total extraído.

As maiores relações Po/ Ptotal, verificadas antes da incubação dos solos, foram encontradas no solo da acácia e sabiá, embora o solo do sabiá não tenha diferido significativamente do pasto e capoeira, que mostraram as menores relações Po/ P total (Tabela 2). Cunha (2002), também verificou redução na concentração de Po total em relação ao tipo de uso. Ele observou uma redução de 53% do teor de Po total da pastagem em relação ao plantio de eucalipto, sugerindo que embora as pastagens de modo geral sejam consideradas uma cobertura eficiente na proteção do solo, quando mal manejadas, a transferência de nutrientes para o sistema vegetação – animal e, ou, perdas por erosão, causam diminuição nos níveis de Po total do solo.

Após incubação de 60 dias, a maior relação Po/ Ptotal foi verificada no solo do pasto, enquanto as menores relações Po/ Ptotal foram encontradas nos solos da capoeira e sabiá (Tabela 2). Nos solos incubados por 173 dias, as maiores relações Po/ Ptotal foram verificadas no sabiá, pasto e acácia, embora o solo da acácia não tenha diferido significativamente da capoeira, que mostrou a menor relação Po/ Ptotal (Tabela 2). Antes ou após incubação dos solos durante os dois tempos estudados, observa-se que a capoeira apresenta uma das menores proporções de Po em relação ao P total do solo, embora a maior parte dele seja lábil (Tabela 2). Em ecossistemas florestais, as entradas de Po são provenientes da matéria orgânica da serapilheira e organismos do solo, que geralmente em menos de 1 ano nos trópicos úmidos, fornecem uma grande quantidade de fósforo em solos tropicais fortemente intemperizados, onde o fósforo liberado durante a decomposição é absorvido tão rapidamente pelas

raízes e micorrizas, que quase não é adsorvido por óxidos de ferro e alumínio no solo (Vincent et al., 2010).

Tabela 2 - Relação (Pi/ P total) e (Po/ P total) de amostras de solo sob diferentes coberturas vegetais

Coberturas	Pi/ P total	Po/ P total	Pi/ P total	Po/ P total	Pi/ P total	Po/ P total
	Antes da incubação		Após 60 dias		Após 173 dias	
	-----%					
Acácia	69,31b ^{1/}	30,69a ^{2/}	71,81b	28,19b	75,28ab	24,72ab
Sabiá	75,08ab	24,92ab	80,06a	19,94c	70,24b	29,76a
Capoeira	80,01a	19,99b	85,47a	14,53c	81,83a	18,18b
Pasto	80,80a	19,20b	61,57c	38,42a	73,50b	26,50a
Média	76,30	23,70	74,72	25,27	75,21	24,79

^{1/} Pi/ P total= Quantidade de Pi em relação ao P total do solo, ^{2/} Po/ P total= Quantidade de Po em relação ao P total do solo.

Observando a contribuição do Pi lábil e Po lábil para o P total lábil, antes e após incubação dos solos, verifica-se um comportamento inverso ao de Pi e Po em relação ao P total dos solos (Tabela 3), havendo um predomínio da fração Po lábil em relação à fração Pi lábil. A média do Po e do Pi encontrada entre todos os tempos de incubação, foi de 67,65% e de 32,52% de Po e Pi respectivamente, em relação ao P total (7,79 mg kg⁻¹ em média), verificado no solo das mesmas coberturas vegetais, por Nunes (2011). O Po lábil representou de 55,00 a 72,00% do P total lábil extraído antes da incubação dos solos.

Após a incubação, a contribuição de Po lábil e Pi lábil do P total lábil dos solos sob todas as coberturas vegetais, continua mostrando predomínio da fração Po lábil em relação à fração de Pi lábil, embora em quantidades diferentes (Tabela 3). Após 60 e 173 dias de incubação, em média, 70,66% e 66,31%, respectivamente do P total lábil das diferentes coberturas vegetais foi constituído por Po lábil.

Antes da incubação dos solos, as maiores relações PoL/ PTL (Po lábil/ P total lábil) foram encontradas nos solos da acácia, sabiá e capoeira que não diferiram significativamente entre si, enquanto a menor relação Po lábil/ P total lábil foi verificada no solo do pasto (Tabela 3). As maiores contribuições de Po lábil em relação ao P total lábil verificadas nas leguminosas e capoeira em relação ao pasto se devem provavelmente aos maiores valores de Ca, Mg e N nas leguminosas e ao maior valor de Co na capoeira, que conferem maior qualidade ao resíduo vegetal, favorecendo o fornecimento de P lábil na forma orgânica para o solo. Isso mostra que apesar de os métodos de avaliação da fertilidade do solo geralmente enfocarem a fração inorgânica de P como indicadora da

disponibilidade deste nutriente para as culturas, a fração orgânica contribui significativamente para o fornecimento de P às plantas, pelo processo de mineralização (Rocha et al., 2004), reduzindo os efeitos do processo de adsorção do Pi, pela fase mineral do solo.

As relações Po lábil/ P total lábil verificada após incubação de 60 dias, foram significativamente iguais para o solo de todas as coberturas vegetais estudadas (Tabela 3). Nos solos incubados por 173 dias, as maiores relações Po lábil/ P total lábil foram encontradas nos solos da acácia, sabiá e pasto, embora a acácia e o pasto não tenham diferido significativamente da capoeira (Tabela 3).

Após a incubação do solo durante os dois tempos estudados, o pasto passou a apresentar junto a outras coberturas, as maiores proporções de Po lábil em relação ao P total lábil (Tabela 3). Provavelmente por esta cobertura apresentar um resíduo vegetal menos lábil que as demais coberturas vegetais, resultando na liberação de Po de fontes mais estáveis após a incubação, pois no solo, ocorre rápida decomposição inicial de material lábil e, posteriormente, em um processo mais lento, de materiais mais estáveis (Fernandes et al., 2006).

Tabela 3 - Relação (PiL/ PTL) e (PoL / PTL) de amostras de solo sob diferentes coberturas vegetais

Coberturas	PiL/ PTL	PoL/ PTL	PiL/ PTL	PoL/ PTL	PiL/ PTL	PoL/ PTL
	Antes da incubação		Após 60 dias		Após 173 dias	
	-----%-----					
	-					
Acácia	30,27b ^{1/}	69,73a ^{2/}	33,04a	66,96a	36,81ab	63,19ab
Sabiá	30,43b	72,18a	26,03a	73,97a	28,15b	71,85a
Capoeira	32,67b	67,33a	33,28a	66,72a	37,49a	62,51b
Pasto	45,38a	54,62b	25,00a	75,00a	31,69ab	68,31ab
Média	34,69	65,97	29,34	70,66	33,54	66,31

^{1/} PiL/ PTL= Quantidade de Pi lábil em relação ao P total lábil do solo, ^{2/} PoL/ PTL= Quantidade de Po lábil em relação ao P total lábil do solo.

O Po lábil correlacionou-se positivamente com o P disponível extraído por Mehlich⁻¹ (Tabela 3 e 4), indicando que em solos mais intemperizados como os solos tropicais, onde o Pi sofre forte adsorção pelos óxidos e hidróxidos de Fe e Al, a mineralização da fração lábil de Po, assume grande importância (Silva e Mendonça, 2007), disponibilizando Pi para o sistema solo-planta. Outro fator que pode explicar essa correlação positiva, é que quanto maior a concentração de P disponível, maior o teor de Po lábil, devido à menor mineralização desta fração pelas fosfatases (Nunes et al., 2008b).

A correlação positiva e significativa entre Co e Po lábil e entre o Co e o P disponível extraído por Mehlich⁻¹ (Tabela 3 e 4), mostra a grande dependência do Po lábil a esse compartimento (Gerra et al., 1996), indicando que a acumulação do Co resulta em aumento do Po lábil, que disponibiliza P para o sistema. De modo que sistemas de manejo que privilegiem o contínuo aporte de material orgânico podem aumentar a ciclagem do P (Andrade et al., 2003).

Tabela 4 - Coeficiente de correlação linear entre Po total, Po lábil e algumas características de amostras de solo sob diferentes coberturas vegetais

Variáveis	Po total	Po lábil	P	Co	pH
Po total	1,00	0,45	0,47	-0,08	0,95*
Po lábil		1,00	0,96*	0,74*	0,43
P			1,00	0,79*	0,40
Co				1,00	-0,18
pH					1,00

* significativo ao nível de 5% de probabilidade. Variáveis: Po total = fósforo orgânico total; Po lábil = fósforo orgânico lábil; P = fósforo extraído por Mehlich-1; Co = carbono orgânico total e pH.

3. CONCLUSÕES

Os Teores de Po total e Po lábil foram influenciados pelas coberturas vegetais presentes no solo

Antes e após incubação dos solos, a fração Po lábil predominou em relação à fração Pi lábil do solo, indicando que a fração orgânica contribui significativamente para o fornecimento de P às plantas

Houve correlação positiva entre o Po lábil, P disponível e Co, evidenciando a dependência do P em relação à fonte orgânica

4. REFERÊNCIAS

ANDERSON, J. D.; INGRAM, J. S. I. Tropical soil biology and fertility. In: *A handbook of methods*. 2. ed. Wallingford, UK CAB International, 171p, 1996.

ANDRADE, F. V.; MENDONÇA, E. S.; ALVAREZ, V. H. V.; NOVAIS, R. F. Adição de ácidos orgânicos e húmicos em latossolos e adsorção de fosfato. *R. Bras. Ci. Solo*, v. 27, p. 1003-1011, 2003.

BOWMAN, R. A. A sequential extraction procedure with concentrated sulfuric acid and diluted base for soil organic phosphorus. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, v. 53, p. 326-366, 1989.

BOWMAN, R.A.; COLE, C.V. An exploratory method for fractionation of organic phosphorus from grassland soils. *Soil Sci.*, v. 125, p. 49-54, 1978.

CARVALHO, M. M. D. F.; XAVIER & M.J. ALVIM. Arborização melhora a fertilidade do solo em pastagens cultivadas. *Embrapa Gado de Leite*, Comunicado técnico, n° 29, 4 p, 2003.

CUNHA, G. M. Balanço e ciclagem de nutrientes em florestas montanas da mata atlântica e em plantio de eucalipto na região Norte Fluminense. *Tese doutorado*, Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, RJ, 122p, 2002.

DUDA, G.P. Conteúdo de fósforo microbiano, orgânico e biodisponível em diferentes classes de solos. *Tese doutorado*, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Itaguaí, RJ, 158p, 2000.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Manual de métodos de análise de solo*. 2.ed. Rio de Janeiro, 212p, 1997.

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. Santa Maria. *Ciência Florestal*, v. 16, n° 2, p. 163-175, 2006.

GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J.; RHEINHEIMER, D. S.; SAGGIN, A. Quantificação do fósforo disponível por extrações sucessivas com diferentes extratores em latossolo vermelho Distroférrico. *R. Bras. Ci. Solo*, v. 26, p. 1023- 1029, 2002.

GUERRA, J.G.M.; ALMEIDA, D.J.; SANTOS, G.A.; FERNANDES, M.S. Conteúdo de fósforo orgânico em amostras de solos. *Pesq. Agropec. Bras*, v. 31, p. 291-299, 1996.

JESUS, E. C.; SCHIAVO, J. A.; FARIA, S. M. Dependência de micorrizas para a nodulação de leguminosas arbóreas tropicais. *R. Árvore*, Viçosa-MG, v. 29, n° 4, p 545-552, 2005.

NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J. *Fósforo em solo e planta em condições tropicais*. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 399 p, 1999.

Nunes, D. A. D. Mineralização de fósforo orgânico em solos sob leguminosas florestais, floresta secundária e pastagem. Dissertação de mestrado. Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, RJ, 59p, 2011.

SANTOS, J. Z. L; NETO, A. E. F; RESENDE, A.V.; CURTI, 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. *R. Bras. Ci. Solo*, v. 32, p. 705-714, 2008.