

FÓSFORO ORGÂNICO EM HORIZONTES DIAGNÓSTICOS SUPERFICIAIS DE
DIFERENTES CLASSES DE SOLO BRASILEIRO

RUTHANNA ISABELLE DE OLIVEIRA

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE
DARCY RIBEIRO - UENF
CAMPOS DOS GOYTACAZES / RJ
MARÇO- 2012

FÓSFORO ORGÂNICO EM HORIZONTES DIAGNÓSTICOS SUPERFICIAIS DE
DIFERENTES CLASSES DE SOLO BRASILEIRO

RUTHANNA ISABELLE DE OLIVEIRA

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

Orientador: Prof. Dr. Antônio Carlos da Gama-Rodrigues

CAMPOS DOS GOYTACAZES / RJ

MARÇO – 2012

FICHA CATALOGRÁFICA

Preparada pela Biblioteca do CCTA / UENF 061/2013

Oliveira, Ruthanna Isabelle de

Fósforo orgânico em horizontes diagnósticos superficiais de diferentes classes de solo brasileiro / Ruthanna Isabelle de Oliveira. – 2012.

49 f.

Orientador: Antônio Carlos da Gama-Rodrigues.

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

Bibliografia: f. 45 – 49.

1. Solo tropical 2. Disponibilidade de fósforo 3. Fração orgânica 4. Fósforo lábil 5. Adubação fosfatada I. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias. II. Título.

CDD – 631.4

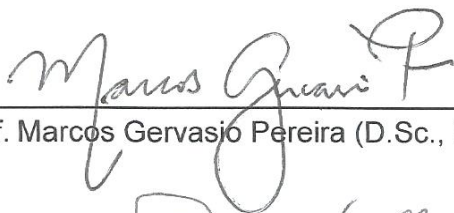
FÓSFORO ORGÂNICO EM HORIZONTES DIAGNÓSTICOS SUPERFICIAIS DE
DIFERENTES CLASSES DE SOLO BRASILEIRO

RUTHANNA ISABELLE DE OLIVEIRA

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

Aprovada em 02 de Março de 2012

Comissão Examinadora:



Prof. Marcos Gervasio Pereira (D.Sc., Ciência do Solo) – UFRRJ



Pesquisador Eduardo Francia Carneiro Campello (D.Sc., Ciência Florestal) –
Embrapa Agrobiologia



Prof^a. Emanuela Forestieri da Gama-Rodrigues (Ph.D., Ciência do Solo) – UENF



Antônio Carlos da Gama-Rodrigues (D.Sc., Solos e Nutrição de Plantas) – UENF
Orientador

Aos meus pais José Ramos e Maria Janete Oliveira, a minha tia Maria Janice Souza e minha irmã Hanna Oliveira, pelo amor e carinho e apoio em mais uma etapa cumprida.

Dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus;

Aos meus pais, Ramos e Janete pelo apoio em todos os momentos;

A Janice, tia, pelo carinho e dedicação e Hanna, irmã querida;

Ao Prof. Dr. Antônio Carlos da Gama-Rodrigues, pela orientação, conselhos e compreensão;

À Prof^a. Dra. Emanuela Forestieri da Gama-Rodrigues, pelos ensinamentos;

Às amigas Roberta, Élide, Shênia e Letícia, pela amizade e carinho;

Aos meus amigos Carol, Natália (*in memoriam*), Kellen, Bruna, Janaína, Carla e Hugo, por todos os momentos que passamos juntos;

Aos Amigos Zaia, Marlon e Paulo, pela ajuda nas análises estatísticas e sugestões;

Ao pessoal do laboratório de Fertilidade do Solo, especialmente Vanilda e Kátia pela realização deste trabalho;

Ao professor Marcos Gervasio Pereira por ter disponibilizado os solos da tese de Ademir Fontana (2009) para a realização deste estudo;

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos;

A todos aqueles que contribuíram direta ou indiretamente pela realização deste trabalho.

Muito obrigada!

“Feliz aquele que transfere o que sabe e
aprende o que ensina”

(Cora Coralina)

BIOGRAFIA

RUTHANNA ISABELLE DE OLIVEIRA, filha de José Ramos de Oliveira e Maria Janete Souza de Oliveira, nasceu em 16 de maio de 1985, em Recife, Estado de Pernambuco.

Em Dezembro de 2009, diplomou-se em Engenharia Agrônômica pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Em Recife, PE. Durante a graduação foi bolsista CNPq, participando de projetos de pesquisa.

Em março de 2010 iniciou o curso de Mestrado em Produção Vegetal (Área de concentração: Solos e Nutrição de Plantas).

SUMÁRIO

	Páginas
LISTA DE TABELAS.....	ix
LISTA DE FIGURAS.....	x
RESUMO.....	xi
ABSTRACT.....	xiii
1. INTRODUÇÃO.....	15
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	17
2.1. Fósforo e suas formas no solo.....	17
2.2. Importância do fósforo orgânico nos solos tropicais.....	19
2.3. Caracterização de Organossolos horizonte O e H hístico, Chernossolos com horizonte A chernozêmico e Latossolos com horizonte A húmico.....	21
2.3.1. Organossolos com horizonte O e H hístico.....	21
2.3.2. Chernossolos com horizonte A chernozêmico.....	22
2.3.3. Latossolos com horizonte A húmico.....	22
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	24

3.1. Procedência dos Perfis e Horizontes Diagnósticos de Solo.....	24
3.2. Determinação do fósforo orgânico (Po).....	27
3.3. Análises estatísticas.....	31
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	32
4.1. Análise descritiva do teor Po nos horizontes diagnósticos superficiais de diferentes classes de solo.....	32
4.2. Valores médios das frações de fósforo dos horizontes diagnósticos superficiais de diferentes classes de solo.....	35
4.3. Distribuição do percentual das frações orgânicas e inorgânicas totais e lábeis de P.....	36
4.4. Correlações entre o fósforo orgânico e as variáveis químicas e físicas dos solos.....	40
5. RESUMO E CONCLUSÕES.....	43
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	45

LISTA DE TABELAS

TABELA 1. Características gerais, morfológicas e químicas das amostras de Organossolos de horizontes superficiais O e H hístico.....	14
TABELA 2. Características gerais, morfológicas, químicas e físicas das amostras de Chernossolos com horizontes superficiais A chernozêmico.....	14
TABELA 3. Características gerais, morfológicas, químicas e físicas das amostras de Latossolos com horizontes superficiais A húmico.....	15
TABELA 4. Frações de fósforo total nas diferentes classes de solo.....	23
TABELA 5. Valores médios das frações de P nas diferentes classes de solo.....	25
TABELA 6. Coeficientes de correlação linear entre o fósforo orgânico total, fósforo orgânico lábil e fósforo disponível com as características químicas e físicas dos solos.....	30

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquema representativo simplificando as formas de fósforo no solo.....	17
Figura 2. Extração do P orgânico total conforme Bowman (1989).....	18
Figura 3. Diagrama esquemático do cálculo de Po total estimado.....	19
Figura 4. Extração do P orgânico lábil conforme Bowman e Cole (1978a)..	20
Figura 5. Diagrama esquemático do cálculo de Po lábil estimado.....	27
Figura 6. Distribuição percentual das frações totais de fósforo em horizontes superficiais de diferentes classes de solo.....	28
Figura 7. Distribuição percentual das frações lábeis de fósforo em horizontes superficiais de diferentes classes de solo.....	29

RESUMO

RUTHANNA ISABELLE DE OLIVEIRA; M.Sc.; Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Março de 2010. Fósforo orgânico em horizontes diagnósticos superficiais de diferentes classes de solo brasileiro. Orientador: Prof. Dr. Antônio Carlos da Gama-Rodrigues. Conselheira: Prof^a. Dra. Emanuela Forestieri da Gama-Rodrigues.

Os solos tropicais, em sua maioria, possuem uma baixa disponibilidade de fósforo (P) devido ao elevado intemperismo, limitando a produtividade das culturas. Nessas condições o fósforo orgânico (Po) assume um papel relevante na conservação do P disponível através da decomposição e mineralização da fração lábil de Po. Estimar o conteúdo de Po total e sua fração lábil permitirá saber a real contribuição da fração orgânica no solo. O presente trabalho teve como objetivo avaliar o teor de Po total e lábil em horizontes superficiais de diferentes classes de solo e avaliar quais variáveis do solo exercem uma maior influência na disponibilidade dessas frações de P. Foram utilizados 38 horizontes superficiais de diferentes classes de solo coletadas em vários estados do Brasil. Dez amostras de Organossolos, com dois horizontes O hístico e oito horizontes H hístico; doze amostras de Chernossolos com horizonte A chernozêmico e dezesseis amostras de Latossolos com horizonte A húmico. A taxa de recuperação de $P_i + P_o$ em relação à extração nítrico-perclórica do P total variou de 46 a 99%. Os horizontes utilizados apresentaram uma ampla variação no teor de Po total, com valores entre 35 a 1077 mg kg^{-1} . A fração lábil do Po variou entre 7,2 e 99,5 mg kg^{-1} , predominando amplamente sobre a fração inorgânica lábil (P_i lábil). Os valores médios de Po total (440 mg kg^{-1}) e Po lábil (48,0 mg kg^{-1})

¹) foram maiores na classe dos Organossolos. Nas análises de correlações simples entre o Po total e lábil e características químicas e físicas, houve correlações entre Po lábil e P total e o P disponível por Mehlich-1. O Po lábil correlacionou-se com o carbono orgânico total (COT) e também com a argila. Na classe dos Latossolos com horizonte A húmico houve uma correlação entre o Po lábil, COT e P disponível por Melihch-1.

Palavra-chave: Solos tropicais, disponibilidade de fósforo, fração orgânica, fósforo lábil, adubação fosfatada.

ABSTRACT

RUTHANNA ISABELLE DE OLIVEIRA; M.Sc.; Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Mach, 2010. Organic phosphorus in surface diagnostic horizons of different Brazilian soil classes. Advisor: Prof. Dr. Antônio Carlos da Gama-Rodrigues. Adviser: Prof. Dra. Emanuela Forestieri da Gama-Rodrigues.

Tropical soils mostly have a low availability of phosphorus (P) due to the high weathering, limiting crop productivity. Under these conditions the organic phosphorus (Po) plays a key role in keeping the available P through decomposition and mineralization of the labile Po. Estimate the total content of Po and its labile fraction in different soil classes indicates the real contribution of the organic P fraction in soil. This study aimed to evaluate the content of total and labile Po in surface horizons of different soil types and soil evaluate which variables exert a greater influence on the availability of these fractions of P. We used 38 different classes of surface horizons of soil collected in various states in Brazil. Ten samples of Histosoils, with two O histic horizons and eight H histic horizons; twelve samples Chenossoil with A mollic horizon and sixteen Oxisoils samples with A humic horizon. The recovery of $P_i + P_o$ in relation to the nitric-perchloric extraction of the total P ranged from 46 to 99%. The horizons showed a wide variation in the concentration of total Po, ranging from 35 to 1077 mg kg⁻¹ soil. The labile Po varied between 7.2 and 99.5 mg kg⁻¹ soil, predominantly greater than the labile inorganic fraction (P_i). The mean values of total Po (440 mg kg⁻¹) and labile Po (48.0 mg kg⁻¹) were higher in the class of Histosoils. In the analyzes of simple correlations between the total and labile Po and chemical and physical

characteristics, there were correlations between Po labile and total P and available P by Mehlich-1. The labile Po correlated with total organic carbon (TOC) and also with clay. In the class of Oxisoils with A humic horizon there was a correlation between the labile Po, TOC and available P by Mehlich-1.

Keyword: Tropical soils, phosphorus availability, organic fraction, labile phosphorus, phosphate fertilizer.

1. INTRODUÇÃO

O fósforo (P) é dos macronutrientes um dos menos exigidos pelas plantas. No entanto, nas regiões tropicais e subtropicais, como acontece no Brasil, é um elemento cuja falta no solo mais frequentemente limita a produtividade das culturas, sendo esse nutriente o mais usado em adubação no Brasil. O que reduz a eficiência da adubação fosfatada, além da carência generalizada de P nos solos brasileiros, é o fato do elemento apresentar forte interação com o solo (Faquin, 2005).

A disponibilidade de P pode ser influenciada por alguns fatores do solo através do processo de adsorção que é muito comum em solos tropicais devido ao avançado estágio de intemperismo. A adsorção de P no solo pode ocorrer quando o fósforo presente na solução reage com formas iônicas do tipo ferro (Fe), alumínio (Al), cálcio (Ca) ou ainda quando tal elemento é adsorvido pelos oxidróxidos de Fe e de Al (Prado, 2009). Outros fatores como mineralogia predominante no solo, área superficial específica do mineral, teor de alumínio trocável, teor de matéria orgânica e pH, também interferem nos fenômenos de adsorção de fósforo ao solo (Brady & Weil, 2002). Nesses solos, a mineralização do P orgânico pode ser uma importante fonte de P às plantas (Gatiboni et al., 2005).

O Po em condições tropicais úmidas tem grande importância, pois evita o processo de imobilização do P disponível para as plantas, minimizando os efeitos causados pelo processo de adsorção do P inorgânico, pela fase mineral do solo (Bizuti, 2011). O seu teor pode variar de 20 a 80% do teor de P total na camada de 0-20 cm (Rheinheimer, 2000), podendo corresponder à maior parte do P

disponível no solo. Essa variabilidade do percentual da fração orgânica depende de vários fatores como o material de origem, o grau de evolução pedogenética, presença de matéria orgânica e também pelo manejo realizado nos solos (Zaia, 2009).

A fração lábil do Po pode ser utilizada como uma indicadora de variações de fertilidade do solo e a relação entre o Po e P total lábeis (Pol/Ptl) pode ser usada para obter uma estimativa da quantidade de adubo fosfatado necessário. Dessa forma, quanto maior for a relação Pol/Ptl menor será a necessidade de aplicar fósforo ao solo para o crescimento e desenvolvimento das plantas (Duda, 2000). Assim, não só a quantificação do Po é importante, mas também, o seu fracionamento para saber a real contribuição do fornecimento das formas disponíveis de P no solo.

Diante do exposto, o presente trabalho objetivou:

- (1) determinar o conteúdo do Po orgânico em horizontes diagnósticos superficiais de diferentes classes de solo brasileiro;
- (2) avaliar a contribuição das frações lábeis de fósforo, distinguindo a participação da fração orgânica lábil (Po lábil); e
- (3) estimar por meio de correlações propriedades químicas e físicas do solo com as frações de Po, com o intuito de saber quais variáveis exercem uma maior influência na disponibilidade das frações de Po no solo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Formas de fósforo no solo

O fósforo, na forma de fosfato (PO_4^{3-}), faz parte de compostos importantes nas células vegetais, incluindo fosfato-açúcares, intermediários da respiração e fotossíntese, como também, os fosfolipídeos que fazem parte da membrana vegetal. Também atua como um dos componentes dos nucleotídeos utilizados no metabolismo energético das plantas (ATP, por exemplo), do DNA e do RNA (Taiz & Zeiger, 2009). Tornando esse nutriente essencial para o crescimento e desenvolvimento das plantas.

Os principais reservatórios de fósforo são as rochas e outros depósitos formados em idades geológicas passadas. A principal rocha é a apatita, seguida da fosforita e através do processo de intemperização o fosfato é liberado gradativamente para o ecossistema.

A dinâmica do fósforo no solo é motivo de vários estudos devido à sua complexidade em relação aos outros nutrientes do solo. Os teores de fósforo inorgânico se apresentam mais altos que os de fósforo orgânico, sendo este último variando entre 20 a 80% do fósforo total e de acordo com o teor de matéria orgânica presente no solo. Na figura 1 encontra-se um esquema simplificado das formas de fósforo no solo.

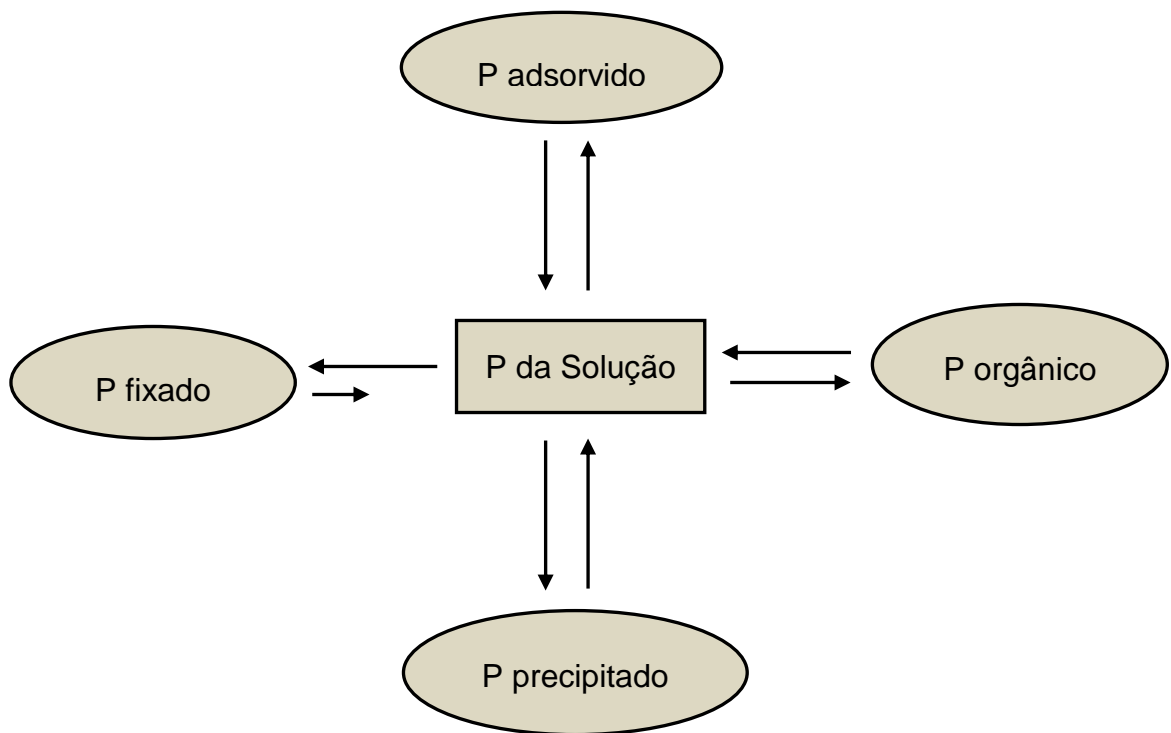


Figura 1. Esquema representativo simplificando as formas de fósforo no solo.

O fósforo na solução, o P disponível para as plantas, apresentam-se principalmente nas formas de H_2PO_4^- e HPO_4^{2-} , e a concentração vai variar de acordo com o pH do solo. Em solos com pH abaixo de 7,0, condição da maioria dos solos brasileiros, o fósforo encontra-se em sua maioria na forma de H_2PO_4^- . O P em solução, também chamado de P lábil, está presente em pequenas quantidades, da ordem de $0,01$ a 1 mg L^{-1} .

O P pode formar precipitados insolúveis com Al e Fe em meio ácido e com Ca em meio alcalino. Dessa forma, em solos ácidos o Al na solução pode causar a precipitação dos fosfatos que são adicionados ao solo, o mesmo ocorrendo com o Fe. Para minimizar esse efeito é realizada a calagem anterior à adição de P. Em casos onde há no solo uma elevada concentração de Ca, de forma natural ou por uma supercalagem, também pode ocorrer a precipitação de fosfatos adicionados ao solo (Novais e Smith, 1999).

O fósforo também pode estar adsorvido aos óxi-hidróxidos de ferro e alumínio, diminuindo a sua disponibilidade na solução do solo. Essa forma ocorre frequentemente em solos tropicais mais intemperizados e com alto teor de argila

em sua constituição. Inicialmente ocorre uma rápida adsorção de fósforo no solo, atração eletrostática inicial, seguida de uma adsorção específica entre os óxidos e fosfato da solução, uma ligação covalente e de alta energia. A adsorção do fósforo no solo é de grande importância para a agricultura, visando uma maior eficiência do uso de adubos fosfatados.

O fósforo precipitado e o adsorvido, com o passar do tempo, acabam formando ligações mais estáveis com o Fe, Al e o Ca, denominando o processo chamado de fixação. O fósforo fixado dificilmente retorna a solução do solo, o que causa o aumento das adubações fosfatadas principalmente nas regiões tropicais.

A última forma é o fósforo orgânico, que corresponde a uma fração muito importante na dinâmica do fósforo no solo. É composto principalmente por ortofosfato de monoésteres (R-O-PO₃), ortofosfatos de diésteres (R-O-PO₂-O-R) e fosfonatos (R-PO₄), além dos fosfatos inorgânicos ortofosfatos e pirofosfatos (Novais e Smith, 1999).

2.2. Importância do fósforo orgânico nos solos tropicais

A fração orgânica do solo pode ser derivada dos resíduos de plantas, tecidos da flora e fauna do solo e resíduos que resistem à rápida hidrólise. O P orgânico é uma fonte potencial de P às plantas graças à ciclagem biológica e à síntese e exsudação de enzimas fosfatases pelos microrganismos e pelas raízes das plantas, as quais transformam o P orgânico em P inorgânico disponível no solo (Ross et al., 1995).

Em condições tropicais úmidas o Po tem grande importância, pois evita o processo de imobilização do P disponível para as plantas, minimizando os efeitos causados pelo processo de adsorção do P inorgânico, pela fase mineral do solo (Cunha et al., 2007).

O Po pode ser quantificado pelo método da extração ou ignição. No entanto, o método de extração proposto por Bowman (1989) é o mais indicado para amostras de solo em estágio avançado de intemperismo, por ser mais rápido e preciso na caracterização do Po. A fração lábil de Po é extraída com NaHCO₃, pelo método de extração sequencial de frações de fósforo de Bowman e Cole (1978a).

As diferentes formas de Po no solo apresentam graus distintos de estabilidade, refletindo na sua disponibilidade, daí a necessidade de caracterizar essas frações para quantificar sua contribuição no fornecimento de formas disponíveis de P para as plantas (Machado et al., 1993).

Guerra et al. (1996), trabalhando com 17 amostras superficiais de diferentes solos, verificaram valores de Po total variando de 7 até 272 mg kg⁻¹, 26% deste correspondendo ao conteúdo de Po lábil. Houve correlação positiva entre Po total, o teor de Carbono total e P total em solos caracterizados como Podzólicos (Argissolos). O teor de Po total dos Latossolos apresentou correlação direta com os teores de Fe₂O₃ e argila. Nessa classe de solo, em especial, o Po lábil apresentou-se intimamente relacionado com o P disponível, evidenciando o potencial de contribuição da fração orgânica em solos com elevado grau de intemperismo.

Trabalhando com amostras de 20 solos do nordeste brasileiro e três de Gana, Condrón et al. (1990), observaram uma concentração média de P total igual a 482 mg kg⁻¹ (valores entre 40 e 1558 mg kg⁻¹) e Po igual a 208 mg kg⁻¹ (valores entre 24 e 1.253 mg kg⁻¹). Portanto, o Po participou, em média, com 43% do P total dos solos.

Zaia et al. (2008b), Em agrossistemas de cacau, verificaram que em Latossolos e Cambissolos o teor médio de Pi total (281,8 mg kg⁻¹ e 1044,45 mg kg⁻¹ respectivamente) foi maior que o de Po (76,7 mg kg⁻¹ e 426,4 mg kg⁻¹, respectivamente). Apesar disso, a fração de Po lábil (15,2 mg kg⁻¹ em média) desses solos, predominou sobre a fração de Pi lábil (12,2 mg kg⁻¹ em média), especialmente nos Latossolos, onde a contribuição de Po lábil foi 81% superior à do Pi lábil, quando comparados aos cambissolos que apresentaram contribuição do Po lábil 21% superior à do Pi lábil.

Cunha et al. (2007), estudando duas florestas naturais, povoamento de *Corymbia citriodora* e pastagem, verificaram que o teor médio de Po total nos solos florestais foi de 160 mg kg⁻¹ e, nos solos sob pastagem, de 69,8 mg kg⁻¹, onde o Po representou de 14,6 a 36,9% do P total extraído.

As diferentes formas de Po no solo apresentam graus distintos de estabilidade, refletindo na sua disponibilidade, daí a necessidade de caracterizar essas frações para quantificar sua contribuição no fornecimento de formas disponíveis de P para as plantas (Machado et al., 1993).

2.3. Caracterização de Organossolos horizonte O e H hístico, Chernossolos com horizonte A chernozêmico e Latossolos com horizonte A húmico

2.3.1. Organossolos com horizonte O e H hístico

De acordo com Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (SiBCS – EMBRAPA, 2006):

São solos pouco evoluídos, de coloração escura devido ao acúmulo de restos vegetais em vários estágios de decomposição. Esse acúmulo de material vegetal ocorre em condições onde a drenagem é restrita ou em ambientes úmidos de altitudes elevadas, saturados por água alguns dias durante o período das chuvas. Caracterizam-se pela presença de horizonte hístico (orgânico), representado pelo horizonte H ou O.

O horizonte H ocorre em situações em que o ambiente se encontra sob condições de forte hidromorfismo, devido ao lençol freático permanecer alto durante longos períodos ou o ano todo. Com isso, em condições de anaerobiose há uma restrição no processo de mineralização da matéria orgânica, limitando o desenvolvimento pedogenético, levando a um acúmulo expressivo de restos vegetais.

O horizonte O ocorre em situações de drenagem livre, condicionados por ambientes úmidos como os altimontanos. Nessas condições de baixa temperatura, ocorre um maior acúmulo de material orgânico devido à redução da atividade biológica.

2.3.2. Chernossolos com horizonte A chernozêmico

De acordo com Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (SiBCS – EMBRAPA, 2006):

São solos de evolução não muito avançada, sendo caracterizados pela presença de um horizonte mineral superficial, relativamente espesso e com alta

saturação por bases, com predomínio do íon cálcio e/ou magnésio, denominado horizonte A chernozêmico. Apresentam normalmente pouca coloração devido ao alto teor de matéria orgânica, imperfeitamente drenados, moderadamente ácidos a fortemente alcalinos e com argila de atividade alta.

O horizonte A chernozêmico precisa atender aos seguintes requisitos: uma estrutura suficientemente desenvolvida (com agregação e grau de desenvolvimento moderado ou forte) para que o horizonte não seja simultaneamente maciço e, de consistência quando seco, dura ou mais coesa (muito dura e extremamente dura); cor do solo com croma úmido, ≤ 3 e valor ≤ 3 quando úmido e ≤ 5 , quando seco; saturação por bases (V%) $\geq 65\%$; conteúdo de carbono orgânico é de 6g.kg^{-1} ou mais em todo horizonte.

2.3.3. Latossolos com horizonte A húmico

De acordo com Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (SiBCS – EMBRAPA, 2006):

Os Latossolos são solos minerais, apresentando um horizonte B latossólico logo abaixo de qualquer horizonte superficial, com exceção do hístico. Devido às transformações intensas do seu material constitutivo, esses solos possuem um avançado estágio de intemperização, ou seja, muito evoluídos. Não apresentam minerais primários ou secundários menos resistentes ao intemperismo, muito profundos, variando de fortemente a bem drenado. São em geral fortemente ácidos, com baixa saturação por bases, distróficos ou alumínicos.

Latossolos húmicos são caracterizados por apresentarem grande quantidade de matéria orgânica em seu horizonte A, tendo a mesma como caráter diagnóstico na classificação desses solos (Assis, 2008).

O horizonte húmico é um horizonte mineral superficial que tem como característica uma coloração escura, sendo reflexo de um expressivo conteúdo de carbono orgânico distribuído em profundidade, podendo ocorrer em praticamente todas as classes de solo. Contudo, este horizonte destaca-se quando ocorre em Latossolos por apresentar grande espessura, comumente superior a 100 cm (Araújo, 2010).

O horizonte A húmico é um horizonte mineral superficial, com valor e croma (cor do solo úmido) ≤ 4 e saturação por bases (V%) inferior a 65%, apresentando espessura e conteúdo de carbono orgânico dentro de limites específicos - Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (SiBCS – EMBRAPA, 2006).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Procedência dos Perfis e Horizontes Diagnósticos de Solo

Foram utilizados 38 horizontes diagnósticos superficiais de diferentes classes de solo coletadas em vários estados do Brasil. Dez amostras de Organossolos, com dois horizontes O hístico e oito horizontes H hístico; doze amostras de Chernossolos com horizonte A chernozêmico e dezesseis amostras de Latossolos com horizonte A húmico. Os solos estudados foram cedidos e utilizados na tese de Fontana (2009).

As informações da caracterização química e física das amostras de solo também foram as utilizadas na tese de Fontana (2009). As análises de carbono orgânico total (COT), pH, soma de bases (SB), hidrogênio (H^+), capacidade de troca de cátions (CTC), alumínio (Al^{3+}), saturação por bases (V), areia, silte e argila, cedidas da tese foram realizadas conforme Embrapa (1997 e 2006).

Para complementar o presente estudo foram realizadas análises de fósforo total do solo (PT), estimado por digestão nítrico-perclórica (Bataglia et al., 1983). O fósforo remanescente (Prem) foi determinado na solução de equilíbrio, após agitação de uma amostra de solo de 5 cm^3 com 50 mL de solução de $CaCl_2$ 10 mmol L^{-1} , contendo 60 mg L^{-1} de P durante uma hora (Alvarez et. al., 2000). A análise de P disponível foi determinada pelo extrator de Mehlich-1 com solução combinada de H_2SO_4 $0,0125\text{ mol L}^{-1}$ e HCl $0,05\text{ mol L}^{-1}$. As análises de Fe_2O_3 e Al_2O_3 foram realizadas de acordo com Embrapa (1997). Os atributos gerais, químicos e físicos dos horizontes superficiais das diferentes classes de solos são apresentados nas tabelas 1, 2 e 3.

Tabela 1. Características gerais, morfológicas e químicas das amostras de Organossolos de horizontes superficiais O e H histórico.

Perfil	Horiz.	Prof.	Localização	Ambiente	COT ¹	pH	SB	H ⁺	CTC	AL ³⁺	V	P ²	PT	Prem	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃
					g kg ⁻¹	H ₂ O										
RJ2	O1	0-42	Itatiaia/RJ	IA ³	170,4	4,8	1,92	33,0	34,92	0,0	5	3,8	2482,5	3,3	97	55
RS2	O	0-25	Cambara do Sul/RS	IA	81,6	4,0	2,07	17,4	23,97	4,5	9	14,4	550,0	2,9	92	51
MS2	Hdo1	0-40	Porto Morumbi/MS	INT	182,4	4,4	3,51	22,8	27,93	1,6	13	35,0	2117,5	11,7	194	23
PR2	Hdp1	0-20	Tijucas do Sul/PR	INT	224,8	4,4	9,40	34,1	44,20	0,7	21	47,7	1932,5	7,0	126	25
RS1	Hdp	0-10	Cambara do Sul/RS	INT	109,8	5,4	7,70	38,1	47,18	1,4	16	10,4	870,0	4,1	86	24
RS4	Hpj	0-16	Viamão/RS	BLT	470,0	3,0	8,00	83,6	97,10	5,5	8	26,4	357,5	58,5	6	1
RS5	Hdpj	0-35	Viamão/RS	BLT	541,1	3,7	21,90	52,4	74,9	0,6	29	20,8	882,5	51,5	7	7
RS5	Hdj	35-46	Viamão	BLT	414,9	3,5	10,20	45,0	57,40	2,2	18	38,4	1018,5	49,1	35	6
SC1	H2	17-67	Gravatal/SC	BLNT	445,7	4,6	23,30	15,8	39,68	0,6	59	13,2	832,5	42,2	58	14
SP1	Hp1	0-12	Taubaté/SP	INT	231,0	5,2	3,15	57,8	61,40	0,5	5	6,6	1662,5	3,5	106	7

¹COT = carbono orgânico total; pH; SB = soma de bases; H⁺ = hidrogênio; CTC = capacidade de troca de cátions; Al³⁺ = alumínio; V = saturação por bases. (Fonte: Fontana, 2009).

²P = Fósforo disponível por Mehlich-1; PT = Fósforo Total (digestão nítrico-perclórica); Prem = Fósforo Remanescente.

³IA = Interior/Altimontano; INT = Interior/Não Tiomórfico; BLT = Baixada Litorânea/Tiomórfico; BLNT = Baixada Litorânea/Não Tiomórfico.

Tabela 2. Características gerais, morfológicas, químicas e físicas das amostras de Chernossolos com horizontes superficiais A chernozêmico.

Perfil	Horiz.	Prof.	Localização	COT ¹	pH	SB	H ⁺	CTC	V	Areia	Silte	Argila	P ²	PT	Prem	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃
				g kg ⁻¹	H ₂ O												
MS1	A2	25-50	Ladario/MS	34,5	7,3	21,20	0,0	21,20	100	261	223	516	133,0	705,0	43,9	55	24
PF1	Ap	0-30	Italva/RJ	14,4	7,4	10,18	0,8	11,01	93	673	127	200	8,2	447,5	43,4	54	28
PF2	Ap	0-17	Italva/RJ	13,6	7,2	13,31	0,8	14,14	94	516	256	228	3,2	210,0	32,4	75	26
PF3	Ap	0-15	Cordeiro/RJ	12,0	6,9	3,39	1,3	4,71	72	674	129	197	1,6	335,0	51,2	52	16
PF3	A2	15-27	Cordeiro/RJ	16,2	6,9	10,82	3,8	14,62	74	658	190	152	4,2	312,5	56,3	57	23
PF6	Ap	0-40	Pinheiral/RJ	16,3	6,7	15,54	3,3	18,84	82	462	334	204	10,2	615,0	43,5	58	97
PF6	A2	40-60	Pinheiral/RJ	10,8	6,6	5,01	2,1	7,16	70	485	260	255	3,0	422,5	43,3	58	56
PF7	Ap	0-25	Itaperuna/RJ	21,1	7,5	13,78	0,8	14,61	94	514	453	33	24,2	1245,0	38,5	127	75
RJ1	Ap	0-19	Euclidelândia/RJ	16,5	8,2	10,08	0,1	10,18	99	488	241	271	4,6	352,5	41,5	102	50
RS1	A	0-80	Bagé/RS	14,9	6,1	26,01	3,7	29,71	88	93	397	510	2,2	147,5	40,8	102	42
SC2	Ap	0-80	Ipira/SC	28,9	7,2	20,60	2,1	22,70	91	104	597	299	8,6	1102,5	30,2	142	210
SC2	A2	80-160	Ipira/SC	22,8	6,0	10,95	6,0	16,95	65	10	496	494	1,0	880,0	10,9	175	250

¹COT = carbono orgânico total; pH; SB = soma de bases; H⁺ = hidrogênio; CTC = capacidade de troca de cátions; V = saturação por bases. (Fonte: Fontana, 2009).

²P = Fósforo disponível por Mehlich-1; PT = Fósforo Total (digestão nítrico-perclórica); Prem = Fósforo Remanescente.

Tabela 3. Características gerais, morfológicas, químicas e físicas das amostras de Latossolos com horizontes superficiais A húmico

Perfil	Horiz.	Prof.	Localização	COT ¹	pH	SB	H ⁺	CTC	Al ³⁺	V	Areia	Silte	Argila	P ²	PT	Prem	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃
				g kg ⁻¹	H ₂ O	-----	cmol _c kg ⁻¹ -----	-----	%	-----	g kg ⁻¹ -----	---	mg kg ⁻¹ ---	mg L ⁻¹	-----	g kg ⁻¹ -----		
BA1	A1	0-35	Camaçari/BA	63,5	3,7	3,80	73,1	80,00	3,1	5	631	301	68	5,6	247,5	28,6	15	9
BA1	A2	35-40	Camaçari/BA	27,9	5,3	1,60	10,1	13,00	1,3	12	737	78	185	3,6	135,0	17,7	31	9
ES1	Ap	0-10	Linhares/ES	31,7	6,1	3,30	6,6	10,20	0,3	32	759	60	181	3,4	332,5	40,3	33	9
P12	Ap1	-	/SP	22,3	5,3	2,13	6,6	9,23	0,5	23	416	107	477	1,6	210,0	16,3	167	48
P12	Ap2	-	/SP	15,8	5,2	1,00	6,7	8,80	1,1	11	368	141	491	0,4	252,5	7,5	194	51
PF5	A1	0-20	Nova Friburgo/RJ	32,3	4,4	0,80	13,5	18,50	4,2	4	350	160	490	13,6	1778,3	6,0	169	107
PF5	A2	20-40	Nova Friburgo/RJ	25,9	4,5	1,60	13,5	18,60	3,5	9	380	180	440	10,6	2247,5	4,7	173	101
RJ	A	0-24	Rio das Ostras/RJ	52,5	5,8	12,29	8,3	20,59	0,0	60	396	317	287	5,6	325,0	35,6	96	19
RJ2	A1	0-25	Itatiaia/RJ	66,2	5,0	1,52	17,3	21,16	2,3	7	480	229	291	31,8	1385,0	26,8	130	36
RJ2	A2	25-45	Itatiaia/RJ	48,5	5,6	1,26	12,6	15,29	1,4	8	590	152	258	28	1520,0	9,3	116	44
RS	A2	15-30	Gramado/RS	63,1	4,7	5,20	28,3	38,50	5,0	14	55	425	520	7,0	895,0	26,4	84	49
RS	A3	30-50	Gramado/RS	40,7	4,8	3,80	14,8	24,10	5,5	16	73	330	597	3,0	450,0	1,6	144	66
RS2	A	25-55	Cambara do Sul/RS	48,2	4,1	1,07	23,4	28,97	4,5	4	376	188	436	0,8	452,5	3,8	103	69
RS3	A2	15/18-30/34	Canela/RS	51,3	4,8	0,50	35,0	42,60	7,1	1	580	150	270	3,0	962,5	7,2	188	84
SP1	AP	8-49	Taubaté/SP	51,0	3,6	0,57	24,9	28,77	3,3	2	507	255	238	2,0	680,0	11,5	88	9
SC1	A	0-170	Lagos/SC	25,1	4,6	2,27	11,8	18,17	4,1	12	179	373	448	13,2	350,0	22,5	108	38

¹COT = carbono orgânico total; pH; SB = soma de bases; H⁺ = hidrogênio; CTC = capacidade de troca de cátions; Al³⁺ = alumínio; V = saturação por bases. (Fonte: Fontana, 2009).

²P = Fósforo disponível por Mehlich-1; PT = Fósforo Total (digestão nítrico-perclórica); Prem = Fósforo Remanescente.

3.2. Determinação do fósforo orgânico (Po)

Para a quantificação do Po total foi utilizado o método de Bowman (1989) (Figura 1), modificado por Guerra (1993). Foi utilizado o método de extração que consiste na solubilização das substâncias orgânicas através da adição de ácido e, em seguida, aumentando o pH do meio pela adição de álcali. O Po foi extraído juntamente com as substâncias orgânicas, as quais foram destruídas em digestão posterior do extrato.

Para clarificação do extrato foi utilizado carvão ativado, proposto por Guerra (1993), no momento da determinação de Pi. Como o carvão ativado contém Pi e para que não houvesse contaminação das amostras foram necessárias lavagens sucessivas pela mesma solução extratora, exceto na extração por H_2SO_4 , onde o carvão foi lavado com HCl 6 mol L^{-1} .

Em tubo de centrífuga pesou-se 2,0 g de solo seco ao ar passado em peneira de 180 μm e adicionou-se 3mL de H_2SO_4 concentrado (18 mol L^{-1}) agitando o tubo suavemente para a completa imersão e mistura do solo com o ácido. Em seguida adicionou-se 4mL de água destilada em alíquotas de 1 mL por vez agitando suavemente o tubo. Posteriormente, acrescentou-se 43 mL de água destilada e agitou-se novamente o tubo. As amostras foram centrifugadas a 1500 x g por 10 minutos e filtrou-se o sobrenadante utilizando papel filtro Whatman nº 42 e em seguida transferidas para um frasco limpo. O papel filtro utilizado na filtragem do extrato ácido foi devolvido para o mesmo tubo de centrífuga contendo o solo e adicionou-se 40 mL de NaOH $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ para a extração alcalina. Após a adição de NaOH , agitou-se por 30 minutos a suspensão. Os tubos de centrífuga foram colocados em banho-maria a 80°C por 2 horas e após este período foram resfriados em água corrente e posteriormente centrifugados e filtrados como foi feito na extração ácida.

Para determinação do P total, retirou-se uma alíquota de 5mL dos extratos ácidos e alcalinos e colocou-se em tubo de digestão. Antes de levar o tubo ao bloco digestor acrescentou-se 1mL de $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ saturado e em seguida 1 mL de HClO_4 concentrado ao extrato ácido. Para o extrato alcalino 1mL de HClO_4 . O tubo foi agitado lentamente e em seguida colocado no bloco digestor a uma temperatura inicial de 80°C , elevando a mesma lentamente até atingir 180°C . A digestão encerrou-se quando ocorreu a formação de gel incolor no fundo do tubo.

Assim que o tubo esfriou, adicionou-se 5mL de água destilada e aqueceu-se, para em seguida, transferir o volume do tubo para um balão volumétrico de 50 mL. Logo após, retirou-se uma alíquota para a quantificação do P total.

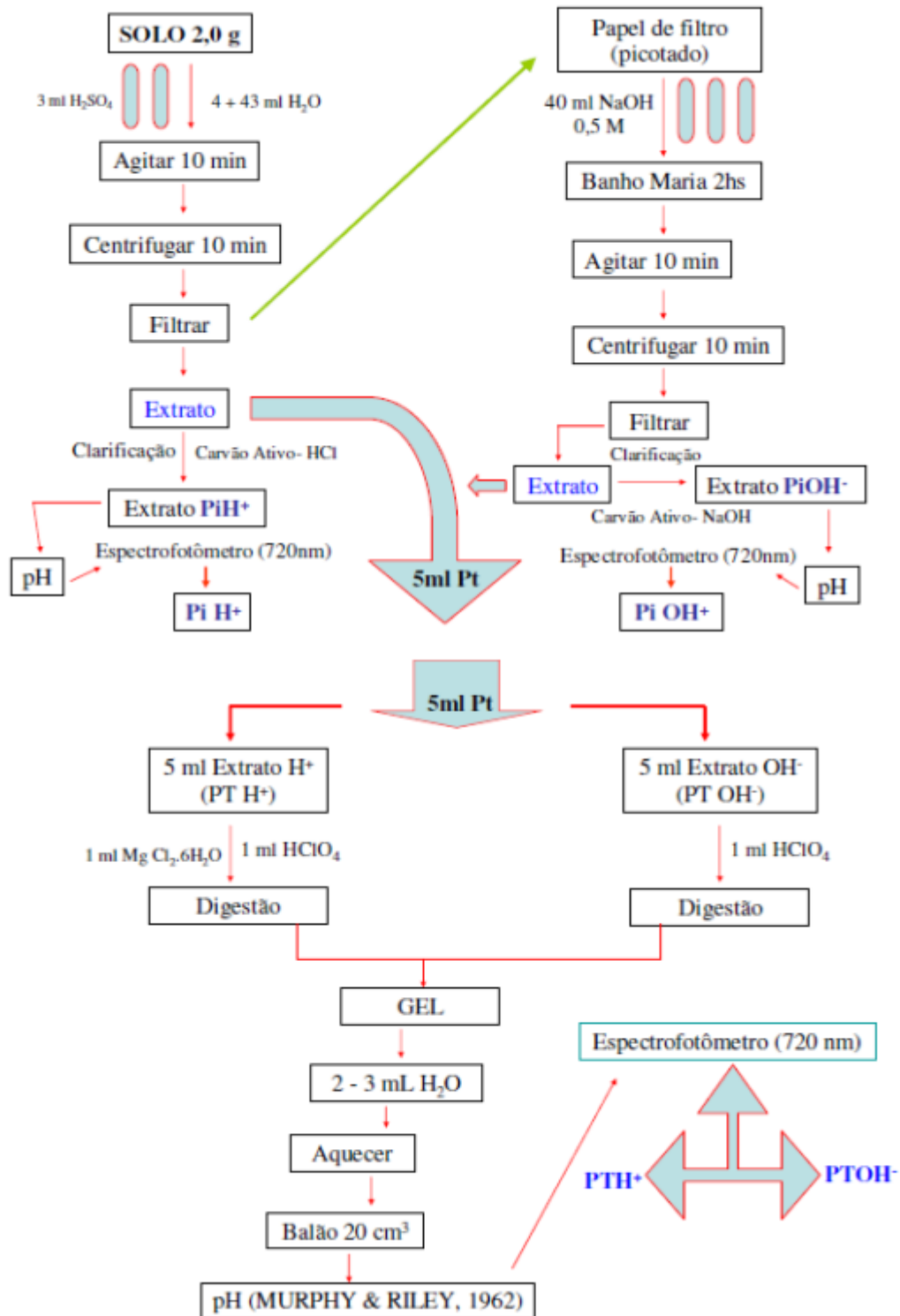


Figura 2. Extração do P orgânico total conforme Bowman (1989). (Fonte: Zaia, 2009)

O P total do extrato digerido foi determinado pelo método Murphy e Riley (1962), com neutralização da acidez pela adição, gota a gota, de NaOH 5 mol L⁻¹ em presença de *p*-nitrofenol. A leitura do P foi realizada em espectrofotômetro (720 nm).

Para a determinação do Pi nos extratos ácidos e alcalino adicionou-se 0,5 cm³ de carvão ativado purificado em 20 mL de extrato em um frasco snap-cap e agitou-se manualmente. Em seguida, filtraram-se os extratos com papel filtro rápido, recolhendo o filtrado em outro frasco. Os extratos ácidos de Pi clarificados foram determinados pelo método de Murphy e Riley (1962). Nos extratos alcalinos o teor de Pi foi determinado pelo método de Dick e Tabatabai (1977). A leitura do P foi realizada em espectrofotômetro (720 nm).

O teor de Po total foi estimado a partir da soma das diferenças dos valores de P total dos extratos ácidos e alcalinos e seus respectivos conteúdos de Pi (Figura 2).

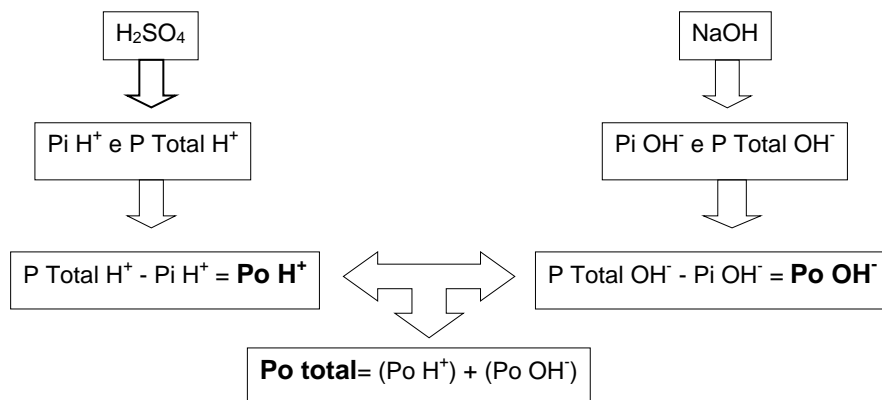


Figura 3. Diagrama esquemático do cálculo de Po total estimado.

A determinação do P lábil foi realizada pelo método da extração com NaHCO₃ a 0,5 mol L⁻¹ de Olsen et al. (1954). No entanto, determinando-se no extrato o Po lábil de acordo com Bowman e Cole, (1978a) (Figura 3).

Pesou-se 2,5 g de TFSA em snap-cap e adicionou-se 50 mL de NaHCO₃ a 0,5 mol L⁻¹ com pH ajustado para 8,5. Em seguida agitou-se por 30 minutos o snap-cap contendo a suspensão a 220 rpm. Após a agitação, foi deixado em repouso por 30 minutos e posteriormente, filtrou-se o extrato com papel filtro lento em um novo snap-cap.

Do extrato filtrado retirou-se 5mL, transferindo-os para um tubo de digestão para determinação do P total lábil. Adicionou-se 1mL de $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ saturado e, em seguida, 1 mL de $HClO_4$ concentrado. A amostra foi agitada e levou-se o tubo para o bloco digestor aquecido a 80 °C. A temperatura foi elevada lentamente até atingir 180 °C. A digestão encerrou-se até a formação de um gel incolor. Após o resfriamento do tubo, adicionou-se 5mL de água destilada, o tubo foi aquecido e o extrato digerido transferido para um balão volumétrico de 25 mL. Retirou-se uma alíquota para a determinação de Pi da mesma forma que na determinação de P dos extratos ácido e alcalino.

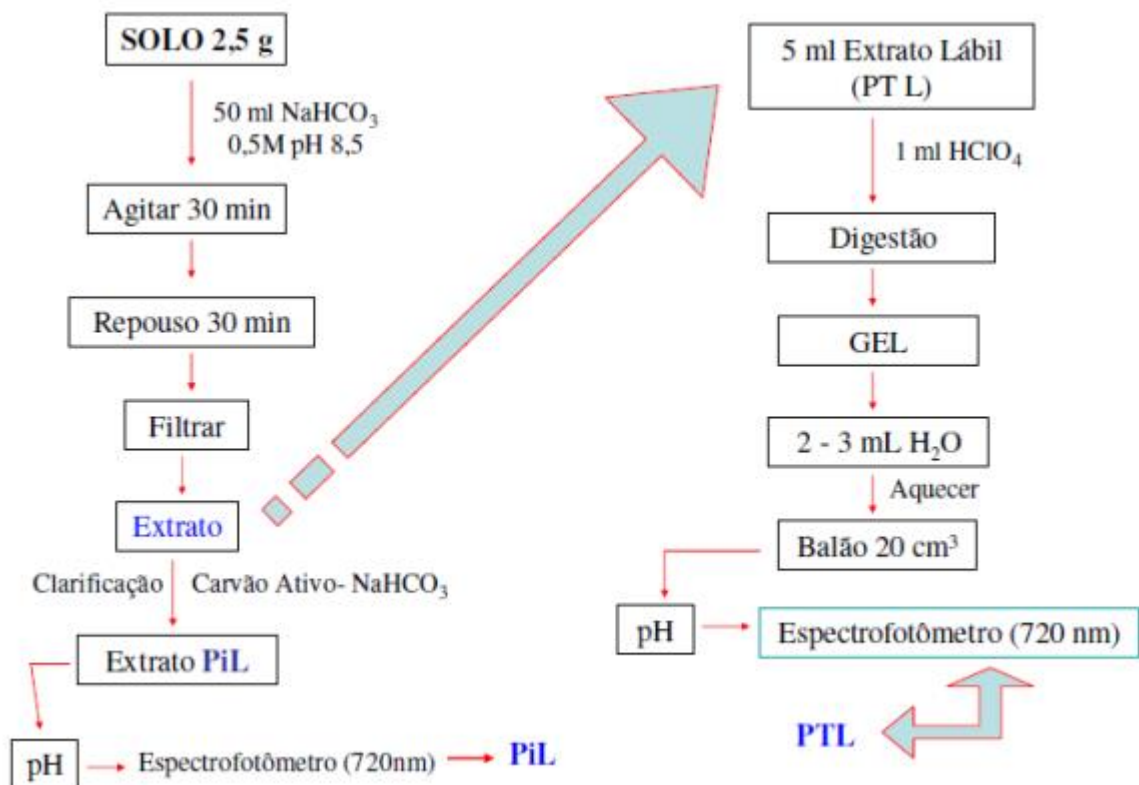


Figura 4. Extração do P orgânico lábil conforme Bowman e Cole (1978a).
(Fonte: Zaia, 2009)

Uma outra alíquota do extrato filtrado foi retirada e colocada em um frasco, onde foi adicionado $0,5 \text{ cm}^3$ de carvão ativado purificado com $NaHCO_3$ $0,5 \text{ mol L}^{-1}$. Agitou-se a mistura e, em seguida, filtrou-se em papel filtro rápido, recolhendo-se o filtrado em outro recipiente. Quantificou-se, então, o Pi extraído pelo método de Murphy e Riley (1962). A leitura do P será realizada em espectrofotômetro (720

nm). O teor de Po lábil foi então estimado pela subtração do Pi lábil (NaHCO_3) do P total lábil do extrato (NaHCO_3) (Figura 4).

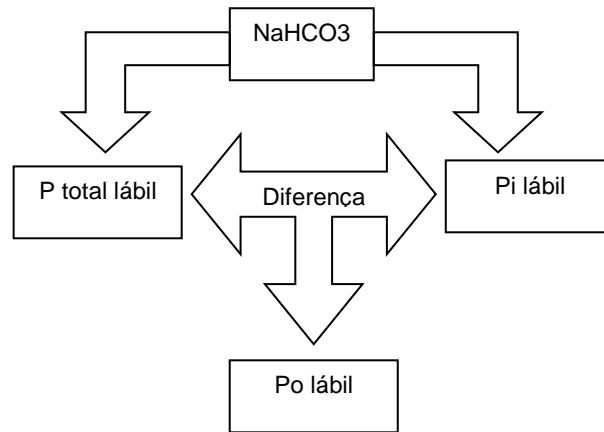


Figura 5. Diagrama esquemático do cálculo de Po lábil estimado.

3.3. Análises estatísticas

Os dados dos teores das frações de Pi, Po e Pi+Po dos horizontes superficiais nas diferentes classes de solo foram submetidos a teste de normalidade, onde se pode verificar distribuição normal dos parâmetros avaliados. Para a estatística descritiva, os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), com uso do software STATISTICA 8.0 (StatSoft inc., 2007). Foram realizadas análises de correlação simples entre o P orgânico total e lábil e as variáveis químicas e físicas considerando os solos em conjunto e isoladas em Organossolos, Chernossolos e Latossolos com horizonte A húmico.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Análise descritiva do teor Po nos horizontes diagnósticos superficiais de diferentes classes de solo

A partir dos dados apresentados na tabela 4, pode-se verificar a taxa de recuperação do PT (P_i+P_o) em relação à extração nítrico-perclórica do P total por digestão. Os valores variaram entre 46 e 99% para o horizonte Hdpj e Hdp respectivamente na classe dos Organossolos, com uma média geral de 79%. Utilizando o mesmo método, Condrón et al. (1990) em um estudo com 20 amostras do nordeste brasileiro e três de Gana, a maioria desses solos com horizonte A, encontraram taxas de recuperação variando entre 30 e 107%, com uma média de 77%. Trabalhando com fósforo orgânico em solos com horizontes superficiais (0-20 cm) de diferentes classes taxonômicas, Guerra et al. (1996), verificaram uma variação de 48 e 109% com uma média de 70%. Cunha et al. (2007) obtiveram valores entre 50 a 82% e uma média de 65% em uma pesquisa com fósforo orgânico em solos sob florestas montanas, pastagens e eucalipto na profundidade de 0-10cm.

Avaliando a taxa de recuperação dos horizontes superficiais nas classes de solo, verifica-se que para os Organossolos a taxa de recuperação média foi de 71%, com valores variando entre 46 a 99%. A média dos Chernossolos foi de 82%, variando entre 67 a 92%. Os Latossolos húmicos apresentaram uma média de 81%, variando entre 52 a 97%. Estando as médias, nas diferentes classes, apresentando um bom nível de recuperação do método.

Tabela 4. Frações de fósforo total nas diferentes classes de solo.

Solo	Perfil	Horiz.	Fração					
			Pi + Po ¹		Pi		Po	
			Total ²	Lábil ³	Total	Lábil	Total	Lábil
			mg kg solo ⁻¹					
Organossolos	RJ2	O1	2160(87) ⁴	22,7	1083	3,0	1077	19,7
	RS2	O	347(63)	63,2	226	11,0	121	52,2
	MS2	Hdo1	1447(68)	90,1	750	12,0	697	78,0
	PR2	Hdp1	1595(83)	73,2	1057	25,0	538	48,2
	RS1	Hdp	860(99)	46,2	443	7,0	417	39,2
	RS4	Hpj	246(69)	87,5	164	36,0	82	51,5
	RS5	Hdpj	407(46)	76,3	201	26,0	206	50,3
	RS5	Hdj	742(73)	93,3	415	48,0	327	45,3
	SC1	H2	542(65)	69,3	260	10,0	282	59,3
	SP1	Hp1	977(59)	40,8	329	7,0	648	33,8
DMSp<0,05⁵			19	1,0	37	0,04	47	1,1
Des. Padrão			601	22,4	335	14,2	296	14,9
Chernossolos	MS1	A2	647(92)	23,3	438	12,0	210	11,3
	PF1	Ap	406(91)	13,8	241	4,0	165	9,8
	PF2	Ap	157(75)	9,4	102	2,0	55	7,4
	PF3	Ap	247(74)	9,3	157	2,0	90	7,3
	PF3	A2	234(75)	9,2	153	2,0	82	7,2
	PF6	Ap	537(87)	23,5	353	6,0	184	17,5
	PF6	A2	378(89)	13,8	245	2,0	133	11,8
	PF7	Ap	1063(85)	18,4	740	6,0	323	12,4
	RJ1	Ap	323(92)	18,5	212	6,0	111	12,5
	RS1	A	103(70)	13,9	60	4,0	44	9,9
	SC2	Ap	736(67)	18,2	458	6,0	279	12,2
	SC2	A2	801(91)	9,2	538	1,0	263	8,2
DMSp<0,05⁵			10	0,7	4	0,5	8	0,5
Des. Padrão			286	5,2	208	3,0	89	2,9
Latosolos com horizonte A húmico	BA1	A1	219(88)	27,5	140	8,0	79	19,5
	BA1	A2	115(85)	18,2	77	4,0	38	14,2
	ES1	Ap	300(90)	27,5	160	6,0	140	21,5
	P12	Ap1	155(74)	23,2	121	4,0	35	19,2
	P12	Ap2	141(56)	13,8	103	4,0	38	9,8
	PF5	A1	1733(97)	35,8	1420	10,0	313	25,8
	PF5	A2	1880(84)	32,4	898	10,0	982	22,4
	RJ	A	273(84)	22,5	143	8,0	131	14,5
	RJ2	A1	1107(80)	78,5	975	10,0	132	68,5
	RJ2	A2	1393(92)	27,6	448	7,0	945	20,6
	RS	A2	781(87)	109,5	331	10,0	450	99,5
	RS	A3	350(78)	13,8	228	2,0	123	11,8
	RS2	A	340(75)	9,2	223	2,0	117	7,2
	RS3	A2	898(93)	32,2	555	6,0	343	26,2
	SP1	Ap	355(52)	13,7	118	6,0	238	7,7
	SC1	A	280(80)	55,3	208	10,0	73	45,3
	DMSp<0,05⁵			5	1,0	1,0	0,1	5
Des. Padrão			575	26,0	382	2,8	292	24,1
Média Geral			688(79)	42,6	390	11,2	298	31,4
Des. Padrão			530	30	325	11,5	262	22,8

¹Pi+Po: fósforo inorgânico + fósforo orgânico; ²Extração sequencial de acordo com Bowman (1989); ³Extração de acordo com Bowman e Cole (1978a); ⁴Recuperação percentual em relação a Bataglia et al., (1983); ⁵Teste de Tukey

O teor de P total nos solos avaliados apresentou um valor médio de 688 mg kg⁻¹ de solo, variando entre 141 e 2160 mg kg⁻¹ para o horizonte Ap2 do Latossolo húmico e O1 do Organossolo, respectivamente. Apesar dos teores relativamente elevados encontrados na maioria dos solos, o teor de P disponível, com algumas exceções, foi baixo. De acordo com Novais & Smith (1999), o baixo teor de P disponível está relacionado com a elevada capacidade de retenção de fósforo em solos intemperizados.

Os solos utilizados apresentaram uma ampla variação no teor de Po total, com valores variando de 35 a 1077 mg kg⁻¹ e uma média geral de 298 mg kg⁻¹. O maior valor foi encontrado no Organossolo de horizonte O1 e o menor no Latossolo húmico de horizonte Ap1 (Tabela 4). Condrón et al. (1990), encontraram uma variação média entre 9 e 248 mg kg⁻¹, com uma média geral de 88 mg kg⁻¹. Guerra et al. (1996), encontraram uma variação de 7 a 272 mg kg⁻¹ e uma média de 83 mg kg⁻¹. Duda (2000), trabalhando com 26 horizontes superficiais de diferentes classes de solo, observou uma variação de 12,01 a 687,81 mg kg⁻¹ e uma média geral de 197,60 mg kg⁻¹. Os valores do presente estudo chegaram a superar os dados encontrados nos referentes trabalhos. Maiores proporções de Po são observadas em solos orgânicos ou em horizontes ricos em matéria orgânica (Stevenson & Cole, 1999), ao se observar as tabelas 1, 2 e 3, o teor de carbono orgânico total apresenta-se bastante elevado contribuindo para os altos teores de Po total.

Nos Organossolos os teores quantificados variaram entre 82 a 1077 mg kg⁻¹, onde o menor valor foi encontrado para o horizonte Hpj e o maior para o horizonte O1 (Tabela 4). Duda (2000), encontrou no solo orgânico com horizonte H um teor de Po de 687,81 mg kg⁻¹, estando o valor desse horizonte dentro da faixa observada nesse trabalho. Nos Chernossolos houve uma variação de 44 a 279 mg kg⁻¹ do Po total, o menor valor sendo encontrado no horizonte A e o maior correspondendo ao horizonte Ap do perfil SC2 (Tabela 4). Os Latossolos com horizonte A húmico apresentaram uma variação entre 35 e 982 mg kg⁻¹. O menor teor foi observado no horizonte Ap1 e o maior no A2 do perfil RJ (Tabela 4). Guerra et al. (1996), encontraram para um Latossolo Vermelho-Amarelo A húmico um valor de 70 mg kg⁻¹ e Duda (2000), encontrou no horizonte superficial de um Latossolo Vermelho-Amarelo Álico A húmico um valor de 88 mg kg⁻¹. Estando os

valores encontrados por esses autores dentro da variação encontrada no presente estudo.

A fração lábil do Po também se mostrou bastante variável onde o menor valor foi encontrado no horizonte A2 do perfil PF3 dos Chernossolos e no horizonte A do perfil RS2 dos Latossolos húmicos, com $7,2 \text{ mg kg}^{-1}$, respectivamente e o maior valor foi encontrado no Latossolo húmico A2 do perfil RS com $99,5 \text{ mg kg}^{-1}$. A média geral para essa fração foi de $31,4 \text{ mg kg}^{-1}$. Guerra et al. (1996), encontraram uma variação para o Po lábil entre 6 e 35 mg kg^{-1} e uma média geral de 14 mg kg^{-1} . Duda (2000), também observou uma ampla variação no Po lábil em horizontes superficiais, com valores entre 4,9 a 78 mg kg^{-1} e uma média geral de $17,07 \text{ mg kg}^{-1}$. A variação da fração lábil de Po encontrada no presente estudo é esperada, uma vez que essa fração é considerada a menos estável do fósforo orgânico.

Dentro de cada classe de solo também houve uma grande variação no teor de Po lábil nos horizontes superficiais (Tabela 4). Nos Organossolos os valores variaram entre 19,7 e $78,0 \text{ mg kg}^{-1}$. Duda (2000) encontrou para um solo orgânico de horizonte H um teor de Po lábil de $50,10 \text{ mg kg}^{-1}$, estando este valor dentro do encontrado no presente estudo. Para os Chernossolos houve uma variação de 7,2 a $17,5 \text{ mg kg}^{-1}$. Os Latossolos com horizonte A húmico apresentaram uma variação entre 7,2 a $99,5 \text{ mg kg}^{-1}$. Guerra et al. (1996), em um horizonte superficial de um Latossolo húmico encontraram para Po lábil um valor de $11,0 \text{ mg kg}^{-1}$.

4.2. Valores médios das frações de fósforo dos horizontes diagnósticos superficiais de diferentes classes de solo

Os valores médios das frações de P nas diferentes classes de solo são apresentados na tabela 5. A maior média para o Po total foi observada nos Organossolos, com 440 mg kg^{-1} . Nesta classe de solo destaca-se que os teores de C orgânico são maiores que os Chernossolos e Latossolos com horizonte A húmico e que também apresentaram altos teores de P total (Tabela 1, 2 e 3). De acordo com Stevenson (1994) e Guerra et al. (1996), o maior acúmulo de Po normalmente é associado aos valores de P e C totais que eles apresentam.

Tabela 5. Valores médios de frações de P nas diferentes classes de solo

Solo	Fração					
	Pi + Po ¹		Pi		Po	
	Total ²	Lábil ³	Total	Lábil	Total	Lábil
	----- mg kg solo ⁻¹ -----					
Organossolos	932a ⁴	66,3 a	493a	18,5a	440a	48,0a
Chernossolos	434b	15,1c	272b	4,4c	161b	10,6c
Lat. com horiz. A húmico	645b	33,8b	384ab	6,7b	261b	27,1b

¹Pi+Po: fósforo inorgânico + fósforo orgânico

²Extração sequencial de acordo com Bowman (1989)

³Extração de acordo com Bowman e Cole (1978a)

⁴Teste de Tukey p<0,05

Para o Po lábil, a classe dos Organossolos apresentou a maior média (48,0 mg kg⁻¹), seguida dos Latossolos com horizonte A húmico (27,1 mg kg⁻¹) e Chernossolos (10,6 mg kg⁻¹) (Tabela 5). Ao verificar as médias do teor de COT nas referidas classes de solo, os Organossolos apresentaram a maior média, seguido dos Latossolos com horizonte A húmico e Chernossolos, contribuindo assim para seqüência dos teores de Po lábil.

4.3. Distribuição do percentual das frações orgânicas e inorgânicas totais e lábeis de P

Na figura 5 encontra-se a distribuição percentual das frações orgânicas e inorgânicas totais de P, onde se observa que na maioria dos solos houve o predomínio da fração inorgânica que ultrapassou os 50% do P total, com exceção dos Organossolos com horizontes H2 e Hp1 e dos Latossolos com horizontes A2 (PF5, RJ2 e RS) e Ap (SP1). Nos solos tropicais, em geral, há um predomínio da fração inorgânica como relatado por alguns autores (Condrón et al., 1990; Guerra et al., 1996; Cunha et al., 2007; Zaia et al., 2008b).

O Po participou em média com 36, 39 e 46% do P total, para Chernossolos, Latossolos com horizonte A húmico e Organossolos, respectivamente. Nos Organossolos chegando essa fração a compor quase 50% do P total do solo.

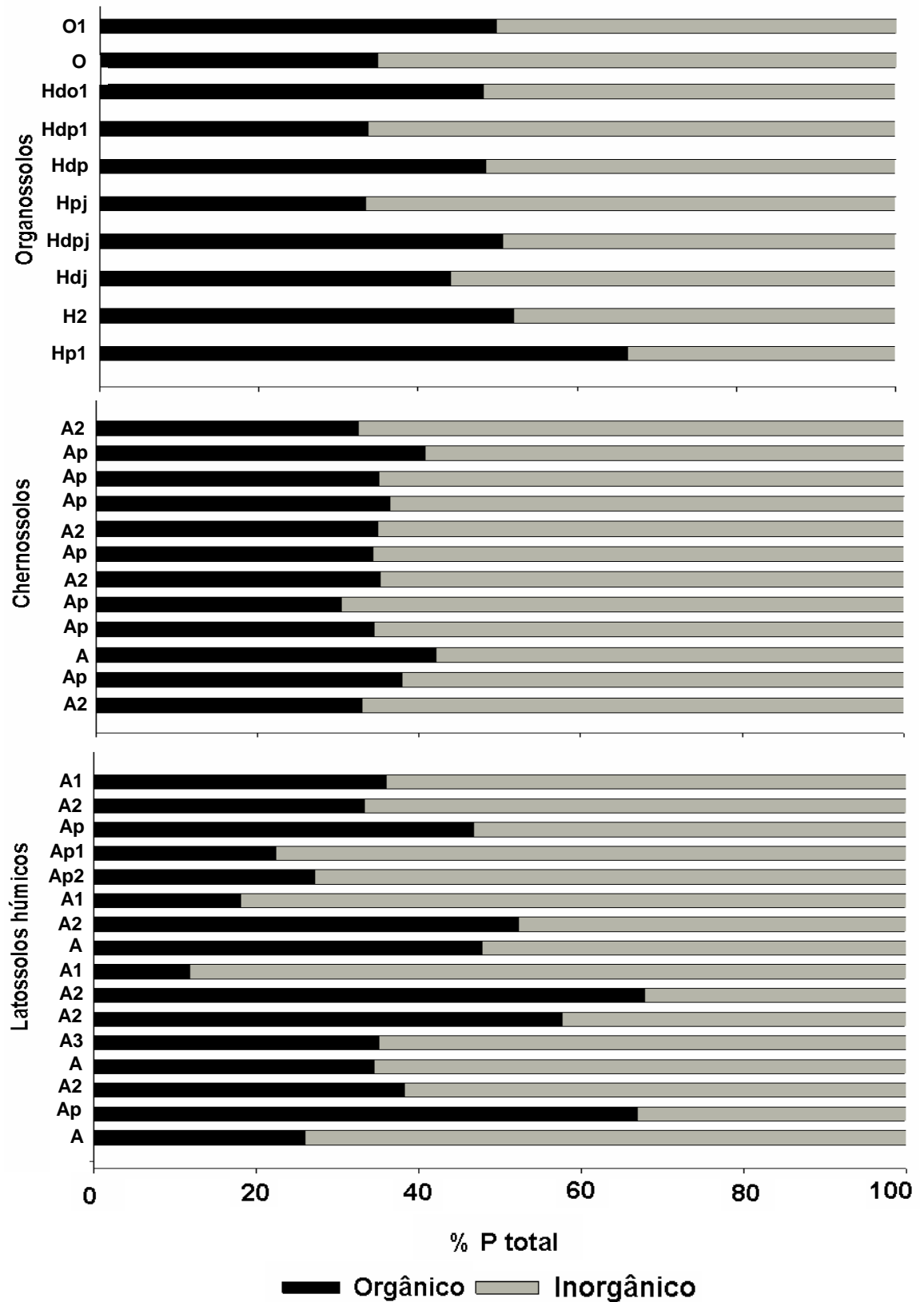


Figura 6. Distribuição percentual das frações totais de fósforo em horizontes superficiais de diferentes classes de solo.

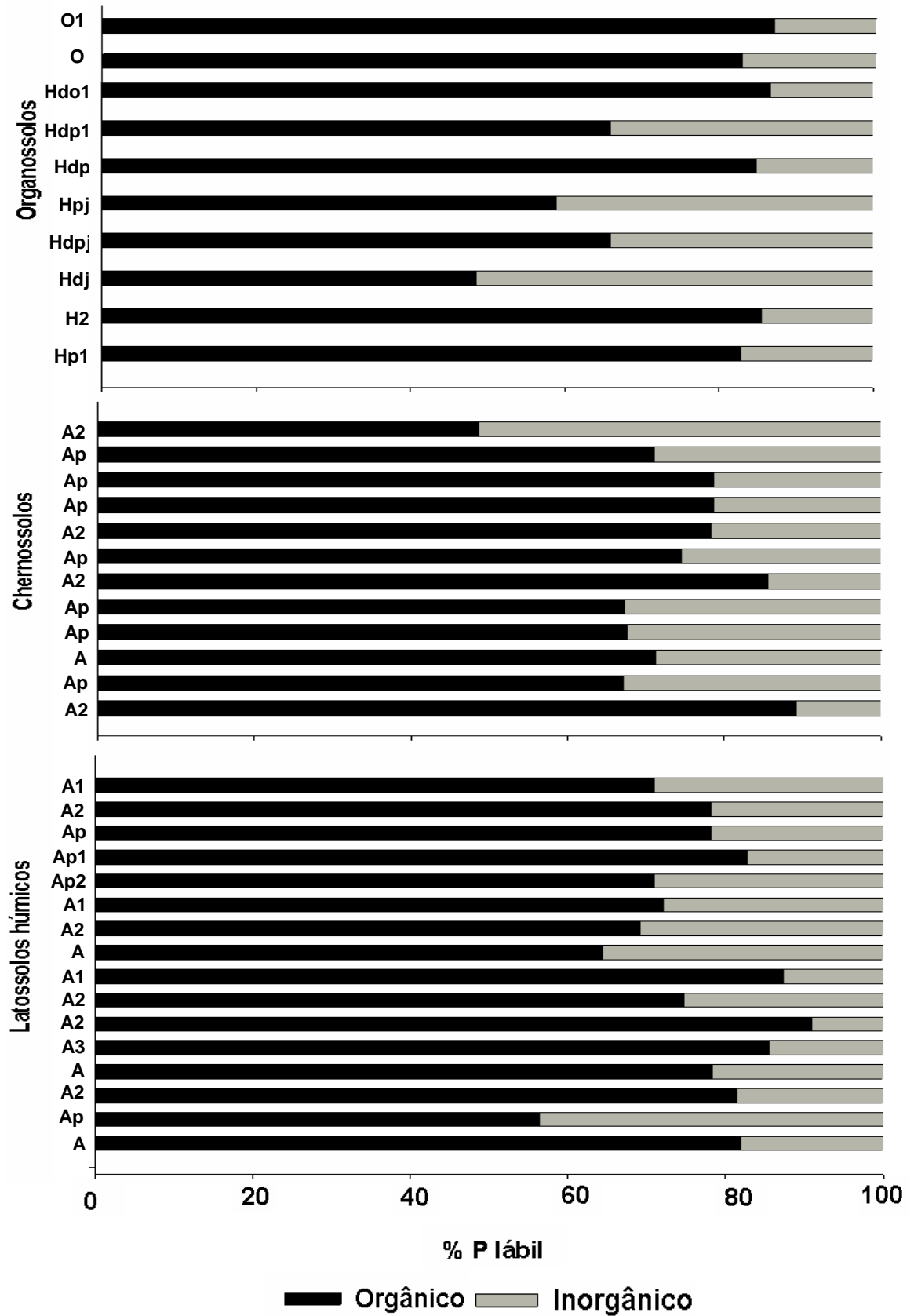


Figura 7. Distribuição percentual das frações lábeis de fósforo em horizontes superficiais de diferentes classes de solo.

Nos Latossolos com horizonte A húmico houve uma maior variação na distribuição da fração orgânica, variando entre 12 a 68%. Guerra et al. (1996) encontraram para um Latossolo Vermelho-Amarelo A húmico uma participação de 24% e Duda (2000), encontrou no horizonte superficial de um Latossolo Vermelho-Amarelo Álico A húmico uma participação de 30% do Po em relação ao P total. Nos Organossolos a variação foi entre 33 a 66%. Em um Organossolo de horizonte H, Duda (2000) encontrou uma participação de 49% do Po em relação ao P total, estando dentro da faixa do presente estudo. Nos Chernossolos a variação foi mais uniforme com valores entre 30 a 42%.

O percentual da fração lábil de Po foi superior a 50% em relação à fração inorgânica (Figura 6), com exceção do Organossolo de horizonte Hdj e do Chernossolo de horizonte A2 (MS1). Com exceção desses horizontes os valores variaram entre 56 e 91%. Em outros trabalhos também foi verificada a predominância da fração orgânica lábil (Bowman & Cole, 1978b; Guerra et al., 1996; Zaia et al., 2008b), indicando que a disponibilidade de P, em curto prazo, não seria completamente acessada por determinações de P disponível (Novais & Smith, 1999). Em solos de avançado estágio de intemperismo, o P disponível estaria estreitamente relacionado com as frações de Po (Tiessen et al., 1984; Beck & Sanches, 1994; Cunha et al., 2007). O Po lábil correspondeu em média com 10% do Po total nos solos.

A média da fração lábil nas classes de solo mostrou-se bem uniforme com 73, 75 e 76%, para Chernossolos, Organossolos e Latossolos com horizonte A húmico, respectivamente. No entanto, dentro de cada classe de solo a participação da fração orgânica lábil mostrou-se bastante variável. Nos Organossolos houve uma variação de 49 a 87%. Duda (2000) encontrou para um Organossolo de horizonte H uma participação da fração orgânica lábil de 36%. Nos Chernossolos variou entre 49 a 89%. Nos Latossolos com horizonte A húmico variou entre 56 a 91%. Guerra et al. (1996), encontraram para um Latossolo A húmico uma participação de 74%.

4.4. Correlações entre o fósforo orgânico e as variáveis químicas e físicas dos solos

Foram feitas análises de correlação simples entre o Po total e lábil e os atributos químicos e físicos dos horizontes superficiais das diferentes classes de solo (Tabela 6). As correlações foram feitas analisando as classes em conjunto e isoladamente (Organossolos com horizonte O e H hístico, Chernossolos com horizonte A chernozêmico e Latossolos com horizonte A húmico). Nos solos em conjunto as correlações feitas entre o Po total e lábil e areia, silte, argila e silte+argila, só foram feitas nos Chernossolos e Latossolos A húmicos.

Avaliando as classes de solo em conjunto verificou-se uma correlação positiva entre o Po lábil e o P total e entre o Po lábil e o P disponível por Mehlich-1. Zaia (2009), também observou correlações positivas entre essas frações, indicando uma dependência da fração orgânica em relação à fração inorgânica, onde a variação do estoque de Po estaria estreitamente relacionada à adição de Pi.

O Po lábil correlacionou positivamente com a argila nas classes analisadas em conjunto. Sugerindo que a estabilização da fração lábil de Po pode ocorrer diretamente junto a este componente granulométrico.

O Po total correlacionou-se positivamente com P total do solo em todas as classes de solo. Guerra et al. (1996), também encontraram correlações positivas entre Po total e P total independente da classe de solo, evidenciando o controle exercido pelo P sobre a produção de matéria orgânica e, conseqüentemente na acumulação de P orgânico no solo, controlada pela atividade da biomassa microbiana do solo.

Houve uma correlação negativa significativa entre Po total e o Prem em todas as classes de solo. Duda (2000) também encontrou o mesmo tipo de correlação, evidenciando que solos que possuem altos teores de Po têm uma alta capacidade de adsorver P. De acordo com Anderson et al. (1974) e Shang et al. (1992), citados por Duda (2000), esse tipo de relação é possível tendo em vista que já foi observado que as frações orgânicas de P podem se adsorver às partículas coloidais do solo.

Tabela 6. Coeficientes de correlação linear entre o fósforo orgânico total, fósforo orgânico lábil e fósforo disponível com as características químicas e físicas dos solos.

Características das amostras	Solos ¹							
	Organossolos		Chernossolos		Latosolos		Conjunto	
	Total ²	Lábil ³	Total	Lábil	Total	Lábil	Total	Lábil
	P orgânico							
COT(g kg ⁻¹)	-0,469*	0,188	0,652*	0,194	0,078	0,427*	0,162	0,523*
pH	0,602*	-0,334	0,101	0,195	0,010	0,009	-0,190*	-0,518*
SB(cmol _c kg ⁻¹)	-0,464*	0,266	0,138	0,263	-0,153	0,108	-0,210*	-0,062
H ⁺ (cmol _c kg ⁻¹)	-0,240	-0,262	0,044	-0,127	-0,048	0,100	0,194*	0,434*
Al ³⁺ (cmol _c kg ⁻¹)	-0,656*	0,287	-	-	0,153	0,250	-	-
H ⁺ +Al ³⁺ (cmol _c kg ⁻¹)	-0,290	-0,230	-	-	-0,03	0,120	-	-
CTC(cmol _c kg ⁻¹)	-0,434*	-0,126	0,142	0,216	-0,052	0,141	0,117	0,433*
V(%)	-0,325	0,372*	0,084	0,285	-0,213	-0,082	-0,332*	-0,431*
Areia(g kg ⁻¹)	-	-	-0,350*	-0,115	-0,018	-0,405	-0,06	-0,250*
Silte(g kg ⁻¹)	-	-	0,625*	0,294	-0,042	0,505	0,01	0,150
Argila(g kg ⁻¹)	-	-	-0,069	-0,110	0,054	0,196	0,08	0,220*
Silte+Argila(g kg ⁻¹)	-	-	0,350*	0,115	0,018	0,405	0,06	0,250*
Al ₂ O ₃ (g kg ⁻¹)	0,469*	0,399*	0,573*	-0,005	0,250	-0,052	0,238*	-0,028
Fe ₂ O ₃ (g kg ⁻¹)	0,449*	-0,286	0,654*	0,175	0,445*	0,039	0,112	-0,246*
Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃ (g kg ⁻¹)	0,510*	0,260	0,650*	0,120	0,340*	-0,02	0,200*	-0,150
Prem (mg L ⁻¹)	-0,605*	0,277	-0,486*	0,037	-0,316*	0,364*	-0,454*	-0,045
P total (mg kg ⁻¹)	0,947*	-0,220	0,982*	0,375*	0,814*	0,253	0,888*	0,347*
Po total (mg kg ⁻¹)	-	-0,410*	-	0,410*	-	0,130	-	0,240*
	P disponível ⁴							
Po total (mg kg ⁻¹)	0,093		0,275		0,440*		0,133	
Po lábil (mg kg ⁻¹)	0,379		0,154		0,436*		0,195*	

¹Número de observações: 10, 12, 16 e 38, respectivamente, para Organossolos, Chernossolos, Latossolos e análise conjunta. As correlações feitas entre o Po total e lábil e areia, silte, argila e silte+argila, só foram feitas entre Chernossolos e Latossolos húmicos.

²Extração sequencial de acordo com Bowman (1989)

³Extração de acordo com Bowman e Cole (1978a)

⁴P disponível por Melich-1

*Significativo p<0,05

Houve correlação positiva entre o Po total e Fe_2O_3 em todas as classes de solo. Com exceção dos Latossolos com horizonte A húmico houve correlação significativa e positiva entre o Po total e Al_2O_3 . Guerra et al. (1996), encontraram correlações positivas do Po total apenas com Fe_2O_3 em Latossolos e Duda (2000) em diferentes classes de solo, encontrou correlações apenas com Al_2O_3 .

Dentre as classes de solos, apenas nos Latossolos houve correlação significativa entre o Po lábil, COT e P disponível por Mehlich-1. Em solos mais intemperizados, a solubilidade de formas de P inorgânico (P_i) é muito pequena, e, por esta razão, a disponibilidade de P seria regulada pela mineralização do Po (Cunha et al., 2007). De acordo com Guo et al. (2000), há um aumento da fração lábil de Po de acordo com o intemperismo do solo. Desta forma, mais de 80 % da variabilidade em P disponível pode ser explicada pela variação no Po lábil (Tiessen et al., 1984; Guerra et al., 1996; Cunha et al., 2007). E a fração orgânica de P, seria regulada pela disponibilidade de substratos orgânicos (Solomon et al., 2002; Zaia, 2005).

5. RESUMO E CONCLUSÕES

Os solos em condições tropicais apresentam, em sua maioria, deficiência em fósforo devido aos problemas relacionados à alta adsorção desse nutriente às partículas coloidais do solo, tornando-se, na maioria das vezes indisponível para as plantas. Nessas condições, onde o P disponível apresenta-se em quantidades mínimas, o fósforo orgânico constitui em uma fração importante do P total, principalmente a fração lábil, através da mineralização dos componentes orgânicos. Portanto, é necessário determinar o conteúdo de Po em horizontes superficiais de diferentes classes de solo, principalmente, a participação da fração orgânica lábil. E por meios de correlações saber quais as propriedades do solo que exercem uma maior influência na disponibilidade das frações de Po no solo.

Os resultados mostraram um elevado teor de Po nos horizontes superficiais das diferentes classes de solo, principalmente nos Organossolos. Este fato se deve ao elevado teor de matéria orgânica e conseqüentemente carbono orgânico total presente nesses solos.

Os valores para a fração lábil do Po apresentaram uma ampla variação. Entretanto, esses resultados são esperados devido a essa fração ser considerada a menos estável no solo pela sua rápida mineralização. Os valores médios de Po total e lábil nos horizontes superficiais das diferentes classes de solo foram maiores na classe dos Organossolos. Esse resultado era esperado, pois essa classe possui maiores teores de matéria orgânica em relação às outras classes de solo.

Na distribuição percentual das frações orgânicas e inorgânicas de P, houve um predomínio da fração inorgânica na maioria dos solos estudados. Os solos tropicais, de maneira geral, apresentam esse comportamento. A fração lábil

apresentou um comportamento contrário, predominando na maioria dos solos. Indicando que nos solos localizados nas regiões tropicais o P disponível está estreitamente ligado à fração orgânica.

Houve correlações entre Po lábil e P total e o P disponível por Mehlich-1 nos solos analisados em conjunto. Isso mostra que a fração orgânica depende da fração inorgânica, onde o estoque de Po estaria estreitamente ligado às quantidades de Pi adicionadas ao solo.

O Po lábil correlacionou-se com o COT e também com a argila nos solos em conjunto. Indicando a argila como uma propriedade do solo acumuladora de COT e, conseqüentemente, um estoque de Po lábil.

Na classe dos Latossolos com horizonte A húmico houve uma correlação entre o Po lábil, COT e P disponível por Melihch-1. Em solos mais intemperizados onde o P inorgânico encontra-se em menores quantidades, a mineralização do Po regulariza a disponibilidade de P no solo. E essa fração orgânica seria regularizada pela disponibilidade de substratos orgânicos, que nesse solo apresentam-se bem elevados devido aos teores de COT mais altos pela presença de horizonte A húmico nessa classe de solo.

Com os dados obtidos nesse trabalho, pode-se observar a importância do Po, principalmente da fração lábil, devendo-se ser realizados mais estudos não somente nas diferentes classes de solo, como também, nos diferentes tipos de manejo para o melhor entendimento da dinâmica dessa fração no solo.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarez, V.H.; Novais, R.F.; Dias, L.E.; Oliveira, J.A. (2000) Determinação e uso do fósforo remanescente. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. p. 27-32 (Boletim Informativo).
- Anderson, G.; Williams, E.G.; Moir, J.O. (1974) A comparison of the sorption of inorganic orthophosphate and inositol hexaphosphate by six acid soils. *Journal of Soil Science, Oxford*, v. 25, p. 51-62.
- Araújo, J.K.S. (2010) Caracterização de Amarelos Húmicos sob diferentes sistemas de manejo e avaliação da qualidade do solo no município de Brejão, agreste de Pernambuco. Dissertação (Mestrado) – Recife –PE, Universidade Federal rural de Pernambuco – PE, 87p.
- Assis, C.P. (2008) Matéria orgânica de Latossolos Húmicos: Análises térmica e espectroscópica, efeito do uso e correção química. Tese (Doutorado) – Viçosa-MG, Universidade federal de Viçosa – MG, 79p.
- Bataglia, O.C.; Furlani, A.M.C.; Teixeira, J.P.F.; Furlani, P.R. e Gallo, J.R. (1983) Métodos de análise química de plantas. Campinas, Instituto Agronômico, 48p.
- Beck, M.A. e Sanches, P.A. (1994) Soil phosphorus fraction dynamics during 18 years of cultivation on a Typic Paleudult. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, v. 58, p. 1424-1430.

- Bizuti, D.T.G. (2011) Ciclagem do fósforo em Floresta Ombrófila Densa dos Núcleos de Picinguaba e Santa Virgínia – SP. Dissertação (Mestrado) – Piracicaba-SP, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ, 113p.
- Bowman, R.A.; Cole, C.V. (1978a) Transformations of organic phosphorus substrates in soils as evaluated by NaHCO_3 extraction. *Soil Science*, Baltimore, v. 125, p. 49-54.
- Bowman, R.A.; Cole, C.V. (1978b) An exploratory method for fractionation of organic phosphorus from grassland soils. *Soil Science*, Baltimore, v. 125, p. 95-101.
- Bowman, R.A. (1989) A sequential extraction procedure with concentrated sulfuric acid and diluted base for soil organic phosphorus. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.53, p. 326-366.
- Brady, N.C.; Weil, R.R. (2002) Nature and properties of soils. 13rd ed. New Jersey: Prentice Hall, 960p.
- Condon, L.M.; Moir, J.O.; Tiessen, H. & Stewart, J.W.B. (1990) Critical evaluation of methods for determining total organic phosphorus in tropical soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, v. 54, p. 1261-1266.
- 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*, v. 31, p. 667-671.
- Dick, W.A e Tabatabai, M.A. (1984) Kinetic parameters of phosphatases in soils and organic waste materials. *Soil Sci.*, v. 137, p. 7-15.
- Duda, G.P. (2000) Conteúdo de fósforo microbiano, orgânico e biodisponível em diferentes classes de solos. Tese (doutorado) - Itaguaí, RJ. Universidade

Federal Rural do Rio de Janeiro – UFRRJ, 158p.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA. (1997) Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2. ed. Rio de Janeiro, 212p.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA. (2006) Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de classificação de Solos. 2. ed. Rio de Janeiro, 306p.

Faquin, V. Nutrição Mineral de Plantas. Lavras: UFLA – FAEPE, 2005. 183p.

Fontana, A. (2009) Fracionamento da matéria orgânica e caracterização dos ácidos húmicos e sua utilização no Sistema Brasileiro de Classificação do Solo. (Tese de Doutorado) Rio de Janeiro, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. 82p.

Gatiboni, L.C.; Rheinheimer, D.S.; Flores, A.F.C.; Anghinoni, I.; Kaminski, J. & Lima, M.A.S. (2005) Phosphorus forms and availability assessed by ³¹P-NMR in successive cropped soil. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, v. 36, p. 2625-2640.

Guerra, J.G.M. (1993) Produção sazonal de *Brachiaria decumbens* Stapf., conteúdo de fósforo orgânico e microbiano em solos tropicais de baixa fertilidade natural. Tese (Doutorado). Itaguaí – RJ. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – UFRRJ, 234p.

Guerra, J.G.M.; Almeida, D. L.; Santos, G.A. e Fernandes, M.S. (1996) Conteúdo de fósforo orgânico em amostras de solos. *Pesq. Agropec. Bras.*, v. 31, p. 291-299.

Guo, F.; Yost, R.S.; Hue, N.V.; Evensen, C.I. & Silva, J.A. (2000) Changes in phosphorus fractions in soils under intensive plant growth. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, v. 64, p. 1681-1689.

- Machado, M.I.C.S., Brauner, J.L., Vianna, A.C.T. (1993) Formas de fósforo na camada arável de solos do Rio Grande do Sul. *R. Bras. Ci. Solo*, v. 17, p. 331-336.
- Murphy, J. e Riley, J.P. (1962) A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Analytical Chemistry Acta*, Amsterdam, v.27, p.31-36.
- Novais, R.F. & Smyth, T.J. (1999) Fósforo em solo e planta em condições tropicais. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 399p.
- Olsen, S.; Cole, C.; Watanabe, F.; Dean, L. (1954) Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. USDA Circular Nr 939, US Gov. Print. Office, Washington, D.C.
- Prado, G.R. (2009) Superfosfato simples contendo fosfato de ferro de baixa solubilidade aplicado em solos de várzea do Rio Grande do Sul. Dissertação (Mestrado) – Santa Maria-RS, Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, 78p.
- Rheinheimer, D.S. (2000) Dinâmica do fósforo em sistemas de manejo de solos. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, Porto Alegre-RS, 210p.
- Ross, D.J.; Speir, T.W.; Kettles, H.A. & Mackay, A.D. (1995) Soil microbial biomass, C and N mineralization and enzyme activities in a hill pasture: Influence of season and slow-release P and sorption fertilizer. *Soil Biol. Biochem.*, v. 27, p. 1431-1443.
- Shang, C.; Stewart, J.W.B.; Huang, P.M. (1992) pH effect on kinetics of adsorption of organic and inorganic phosphates by short-range ordered aluminum and iron precipitates. *Geodema*, Amsterdam, v. 53, p. 1-14.

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*, v. 105, p. 21-48.

StatSoft, Inc.. STATISTICA (2007) (data analysis software system), version 8.0.

Stevenson, F.J. (1994) *Humus Chemistry: genesis, composition, reactions*. 2^a ed. New York: John Wiley, 496p.

Stevenson, F.J.; Cole, M.A. (1999) *Cycles of soils: carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients*. 2^a ed. New York: J. Wiley, 427p.

Taiz, L. e Zeiger, E. (2009) *Fisiologia Vegetal*. 4^a ed. Porto Alegre: Artmed, 848p.

Tiessen, H.; Stewart, J.W.B. & Cole, C.V. (1984) Pathways of phosphorus transformation in soils of differing pedogenesis. *Soil Sci.*, v. 48, p. 853-858.

Zaia, F.C. (2005) *Frações de fósforo do solo sob diferentes coberturas vegetais no Norte Fluminense e em plantios de cacau no sul da Bahia*. (Tese de Mestrado) Campos dos Goytacazes, Universidade Estadual do Norte Fluminense. 89p.

Zaia, F.C.; Gama-Rodrigues, A.C.; Gama-Rodrigues, E.F; Machado, R.C.R. (2008b) Fósforo orgânico em solos sob agrossistemas de cacau. *R. Bras. Ci. Solo*, v. 32, p. 1987-1995.

Zaia, F.C. (2009) *Fósforo orgânico do solo em sistemas agroflorestais de cacau no Sul da Bahia*. Tese (Doutorado) – Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF, 91p.