

ESTUDO DAS DIVERSAS FORMAS DE FÓSFORO EM SOLOS DA REGIÃO DA
IBIAPABA, CEARÁ

FRANCISCO HÉLIO PIMENTA TEÓFILO

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À COORDENAÇÃO DO
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM SOLOS E NUTRIÇÃO DE PLANTAS
PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE
MESTRE
UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
FORTALEZA - 1981

Esta Dissertação foi apresentada como parte dos requisitos necessários a obtenção do Grau de Mestre em Solos e Nutrição de Plantas, outorgado pela Universidade Federal do Ceará, e em cuja Biblioteca Central encontra-se à disposição dos interessados.

A citação de qualquer trecho desta Dissertação é permitida, desde que seja feita de conformidade com as normas da ética científica.

FRANCISCO HÉLIO PIMENTA TEÓFILO

DISSERTAÇÃO APROVADA EM

14/05/1981

JOSE NELSON ESPINDOLA FROTA
Orientador da Dissertação

JOSE FERREIRA ALVES

FRANCISCO JOSÉ MARTINS HOLANDA

FERNANDO FELIPE FERREYRA HERNANDEZ

À
CONCEIÇÃO, ATILA, ZÉ e
IVAN.

D E D I C O

AGRADECIMENTOS

À UNIVERSIDADE FEDERAL DO ACRE e ao PROGRAMA INSTITUCIONAL DE CAPACITAÇÃO DE DOCENTES (PICD), pela oportunidade e bolsa de estudo concedida para realização do curso de Mestrado.

Ao prof. JOSÉ NELSON ESPÍNDOLA FROTA, pela sua orientação prática e objetiva que possibilitou a execução deste trabalho.

À Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Concentração em Solos e Nutrição de Plantas da Universidade Federal do Ceará (UFC), na pessoa do prof. MARDÔNIO AGUIAR COELHO, pelas facilidades facultadas à execução desta pesquisa e atenção.

Aos professores JOSÉ FERREIRA ALVES e FRANCISCO JOSÉ MARTINS HOLANDA, pelos esclarecimentos e sugestões apresentadas.

Ao prof. visitante FERNANDO FELIPE FERREYRA HERNANDEZ, pelo desmedido apoio aos trabalhos de laboratório e sugestões apresentadas durante a execução do trabalho.

Ao prof. visitante PIERRY AUDRY pelas sugestões apresentadas durante a execução dos trabalhos.

Ao prof. HÉLIO GUEDES DE CAMPOS BARROS, pelo incentivo e amizade.

Ao prof. LINDBERGUE ARAÚJO CRISÓSTOMO, pelo apoio, amizade e sugestões apresentadas.

Ao sr. ANTONIO LUIS DE OLIVEIRA pela colaboração nos trabalhos de laboratório.

À Secretaria do Curso de Pós-Graduação na pessoa da Sra. TERESINHA DE JESUS PINTO FARIAS pela atenção e amizade.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS	vii
LISTA DE FIGURAS	ix
RESUMO	xi
1 - <u>INTRODUÇÃO</u>	1
2 - <u>REVISÃO DA LITERATURA</u>	3
2.1 - <u>Frações inorgânicas de fósforo</u>	4
2.2 - <u>Fósforo orgânico</u>	8
2.3 - <u>Frações de fósforo, fósforo disponível e absorção vegetal</u>	10
3 - <u>MATERIAL E MÉTODO</u>	14
3.1 - <u>Solo</u>	14
3.2 - <u>Determinação das frações de fósforo inorgânico..</u>	20
3.3 - <u>Determinação do fósforo disponível</u>	20
3.4 - <u>Determinação do fósforo total, inorgânico e orgânico</u>	20
3.5 - <u>Ensaio em casa de vegetação</u>	21
3.5.1 - <u>Incubação das amostras de solo</u>	21
3.5.2 - <u>Instalação e condução do ensaio</u>	21
3.6 - <u>Análise estatística</u>	22
4 - <u>RESULTADOS E DISCUSSÃO</u>	24
4.1 - <u>Características gerais dos solos</u>	24
4.2 - <u>Distribuição das formas de fósforo dos solos na camada arável</u>	25
4.2.1 - <u>Frações do fósforo inorgânico</u>	25
4.2.2 - <u>Fósforo orgânico e fósforo total</u>	27
4.2.3 - <u>Fósforo "disponível"</u>	28

4.3 - <u>Variação das formas de fósforo após 60 dias de incubação</u>	31
4.3.1 - Fósforo solúvel em NH_4Cl	33
4.3.2 - Fósforo ligado ao alumínio, ao ferro e solúvel em redutor	33
4.3.3 - Fósforo ligado ao cálcio	36
4.3.4 - Fósforo orgânico e fósforo total	39
4.3.5 - Fósforo "disponível"	39
4.4 - <u>Variação das formas de fósforo após a colheita do material vegetal</u>	40
4.5 - <u>Relação entre fósforo absorvido, massa seca e formas de fósforo dos solos</u>	45
5 - <u>CONCLUSÕES</u>	49
6 - <u>ABSTRACT</u>	51
7 - <u>LITERATURA CITADA</u>	52
<u>APÊNDICE</u>	59

LISTA DE TABELAS

TABELA		Página
1	Classificação, formação geológica, material originário e localização de seis perfis das unidades de solo mais representativas da Região da Ibiapaba, Ceará, Brasil, 1981	16
2	Características físicas dos solos, Fortaleza, Ceará, Brasil, 1980	18
3	Características químicas dos solos. Fortaleza, Ceará, Brasil, 1980	19
4	Distribuição das formas de fósforo da camada arável (0-25cm) de seis perfis das unidades de solo mais representativas da região da Ibiapaba, Ceará, Brasil, 1980	29
5	Distribuição percentual das frações inorgânicas de fósforo na camada arável	30
6	Distribuição das formas de fósforo nos solos após 60 dias de incubação com 100ppm de KH_2PO_4 . Fortaleza, Ceará, Brasil, 1980	32
7	Distribuição percentual das frações inorgânicas de fósforo após período de incubação.	34
8	Análise da variância relativa a variação do teor de fósforo entre os solos e entre formas de fósforo após 60 dias de incubação ..	35

TABELA

Página

9	Teste de médias para avaliar a variação nas formas de fósforo após período de incubação.	37
10	Resultado da aplicação do teste Tukey aos valores diferenciais das formas de fósforo entre o solo natural e após 60 dias de incubação	38
11	Distribuição das formas de fósforo nos solos após colheita do material vegetal. Fortaleza, Ceará, Brasil, 1980	42
12	Distribuição percentual das frações inorgânicas de fósforo após a colheita do material vegetal	43
13	Teste de médias para avaliar a variação das formas de fósforo após colheita do material vegetal	44
14	Participação do fósforo do solo e do fertilizante na formação do fósforo total da planta. Fortaleza, Ceará, Brasil, 1980	48

LISTA DE FIGURAS

FIGURA		Página
1	Distribuição do fósforo solúvel em NH_4Cl no solo natural, incubado e após colheita do material vegetal	60
2	Distribuição do fósforo ligado ao alumínio no solo natural, incubado e após colheita do material vegetal	61
3	Distribuição do fósforo ligado ao ferro no solo natural, incubado e após a colheita do material vegetal	62
4	Distribuição do fósforo solúvel em redutor no solo natural, incubado e após a colheita do material vegetal	63
5	Distribuição do fósforo ligado ao cálcio no solo natural, incubado e após a colheita do material vegetal	64
6	Distribuição do fósforo residual no solo natural, incubado e após a colheita do material vegetal	65
7	Distribuição do fósforo inorgânico no solo natural, incubado e após a colheita do material vegetal	66
8	Distribuição do fósforo orgânico no solo natural, incubado e após a colheita do material vegetal	67

FIGURA		Página
9	Distribuição do fósforo no solo natural, <u>in</u> cubado e após colheita do material vegetal.	68
10	Distribuição do fósforo disponível no solo natural, incubado e após colheita do material vegetal	69

RESUMO

Determinações das formas de fósforo foram realizadas em amostras de solos da camada arável de seis perfis das unidades de solo mais representativas da Região da Ibiapaba, Ceará, Brasil, objetivando conhecê-las em seu estado natural e seu comportamento após aplicação do fertilizante e as relações com o fósforo absorvido pela planta.

O fósforo total, orgânico e inorgânico foram encontrados de acordo com a metodologia de Jackson; para a determinação das frações de fósforo inorgânico utilizou-se a técnica de Chang & Jackson, modificada por Petersen & Corey, utilizando-se sucessivamente as soluções de NH_4Cl 1N ("P-salóide"), NH_4F 0,5N, pH = 8,2 (P-Al), NaOH 0,1N (P-Fe), ditranito - citrato bicarbonato (P-Red.) e H_2SO_4 0,5N (P-Ca). O fósforo na planta foi determinado com base na metodologia de Lott et alii. O fósforo disponível foi determinado utilizando-se o extrator químico Mehlich.

O valor médio de fósforo total dos solos foi de 93,14 ppm, o que demonstra os baixos teores de fósforo nestes solos, devido possivelmente se originarem de materiais pobres neste elemento. O conteúdo médio de fósforo orgânico foi de 36,5 ppm, que em termos percentuais médios representa 38,35% do fósforo total.

As frações fósforo solúvel em NH_4Cl , fósforo ligado ao alumínio, fósforo ligado ao ferro, fósforo solúvel em redutor e fósforo ligado ao cálcio, apresentaram valores médios de: 1,95 ppm, 9,65 ppm, 10,84 ppm, 24,22 ppm e 6,68 ppm, respectivamente.

Após a aplicação do fertilizante houve diferença significativa no destino do fósforo aplicado, mas não existiu diferença significativa na retenção de fósforo entre os solos.

As frações fósforo ligado ao alumínio, ao ferro e solo em redutor, foram as que retiveram mais fósforo e em conjunto representaram 85,91% do fósforo inorgânico, com a predominância do fósforo ligado ao alumínio com 46,54%.

Houve uma diminuição do fósforo total do solo após 30 dias de desenvolvimento da cultura causada pela absorção de fósforo pelas plantas. O fósforo da planta correlacionou-se significativamente com as frações fósforo ligado ao alumínio e ao ferro, combinadas. Mesmo a absorção de fósforo sendo significativa não houve aumento correspondente de massa seca.

O fósforo disponível apresentou aumento significativo após a aplicação do fertilizante, diminuindo após a colheita do material vegetal, devido possivelmente a diminuição do conteúdo de fósforo nas formas em que atua o extrator usado e também a absorção pelo vegetal.

1 - INTRODUÇÃO

O fósforo do solo é classificado como orgânico e inorgânico. Devido a complexidade das formas orgânicas de fósforo e metodologia não satisfatória, os estudos pouco tem avançado neste setor. Trabalhos intensivos tem sido conduzidos com fósforo disponível e fósforo total. Em menor escala tem-se estudado as diversas frações inorgânicas de fósforo do solo. Os métodos usados sobretudo na determinação do fósforo disponível sofrem algumas restrições, uma vez que os extratores químicos não atuam exclusivamente sobre uma determinada forma de fósforo, mas sobre diferentes compostos, ocasionando nem sempre respostas precisas. Todavia estas restrições não invalidam a utilização dos métodos. A sua aplicação combinada com a resposta da cultura, fornece os dados que auxiliarão nas indicações das quantidades de fertilizantes a serem adicionadas ao solo.

O fósforo solúvel adicionado ao solo pode assumir várias formas: fósforo solúvel em água, fósforo ligado ao alumínio (P-Al), fósforo ligado ao ferro (P-Fe), fósforo ligado ao cálcio (P-Ca), fósforo solúvel em redutor (P-Red.) e fósforo sob formas orgânicas (P-org.). A distribuição destas formas é controlada por uma série de fatores tais como: atividade de vários íons, pH, produto de solubilidade dos diversos fosfatos, grau de intemperismo do solo e matéria orgânica.

O fracionamento do fósforo é importante no estudo da química do fósforo disponível, no entendimento do seu status químico no solo, nos estudos de gênese e fertilidade do solo.

O conhecimento das formas de fosfato e suas transformações no tempo e objeto de constante interesse que permite caracterizar o solo e estabelecer sua importância para as plantas.

O estudo das formas e absorção de fósforo pela planta constituem o fundamento deste trabalho que teve como objetivos:

- Determinar as formas de fósforo no solo natural;
- Verificar as transformações do fósforo e sua disponibilidade ao longo do tempo após aplicação do fertilizante;
- Verificar as relações entre as formas de fósforo e absorção pelo vegetal.

2 - REVISÃO DA LITERATURA

A determinação do fósforo disponível feita por extratores químicos, serve de base para recomendação do uso de fertilizante. SILVA (1978), estudando métodos de fósforo disponível em solos do Estado do Ceará, verificou que o procedimento de Mehlich e Bray P-1, foram uma excelente estimativa da disponibilidade de fósforo.

O conteúdo de fósforo total do solo não é de importância prática direta, mas é utilizado frequentemente como um índice de intemperismo. A este respeito DAHNKE et alii (1964) encontraram, em solos de El Salvador, uma concentração de fósforo total variando de 0,04 a 0,11% que na sua maioria estava na forma de fosfato de ferro ocluso e nos minerais não intemperizados. LARSEN (1967) encontrou uma concentração de fósforo na solução do solo de 0,1 a 1 ppm, o que corresponde aproximadamente a uma solução de concentração de 10^{-5} M de fosfato.

As frações de fósforo do solo são subdivididas, usualmente, em frações ativas e relativamente inativas. Nas primeiras se agrupam os fosfatos de cálcio, fosfatos de alumínio e fosfatos de ferro, nas últimas encontram-se as formas oclusas e solúvel em redutor. Estas últimas apresentam formas fosfatadas que através de processos pedogenéticos estão contidas nos hidróxidos e concreções do solo.

O fósforo solúvel em NH_4Cl ou "P-salóide", de acordo com CHANG & JACKSON (1958), corresponde ao fósforo solúvel em água e ao fracamente adsorvido. Observaram ainda estes autores que o fracionamento do fósforo, permite a determinação

do status químico do fósforo no solo natural e do destino do fertilizante aplicado, com ou sem a cultura.

O conceito de disponibilidade de fósforo proposto por BRAY (1948) relaciona a quantidade de um elemento independente de sua forma, em dado momento, com o crescimento vegetal. Existindo a relação entre a quantidade de fósforo extraída, e o crescimento vegetal, o extrator usado retira a forma disponível. O uso de extratores químicos de acordo com FASSBENDER (1966), altera as características do solo e não extrai o fósforo de composto definido, mas de diferentes compostos, tratando-se, portanto, de uma metodologia relativamente empírica.

A determinação do fósforo disponível, de acordo com CHANG & CHU (1961), CHANG & JACKSON (1957), CHANG & JUO (1963) e PAYNE & HANNA (1965), depende de um determinado número de fatores, destacando-se: quantidades relativas das formas de fósforo, solubilidade ao extrator usado e atividade das diversas formas. Com relação a atividade das formas FRANKLIN & REISENAUER (1960), chegaram a observar uma reatividade do óxido de alumínio cerca de 160 vezes maior que o óxido de ferro na retenção de fósforo.

Em estudos realizados com solos de El Salvador, DAHNKE et alii (1964) observaram que, no geral, há uma certa relação entre o estágio de desenvolvimento do solo e as quantidades absolutas das frações de fósforo e guardam uma certa relação entre si.

2.1 - Frações inorgânicas de fósforo

As frações inorgânicas de fósforo do solo se apresentam muito complexas. De um modo geral aparecem fazendo parte dos compostos de ferro, alumínio e cálcio, como fosfato nas grades dos cristais de argila e em outras formas minerais.

Fatores físicos, químicos e biológicos influenciam a maior ou menor presença de uma ou outra forma. CHANG & JACKSON (1958), estudando as frações de fósforo em solo com pH variando de 4,7 a 6,7, verificaram que as frações mais abundantes foram, em ordem decrescente: fosfato de ferro, cálcio e alumínio. Observaram ainda que, a calagem nestes solos pouco afetou a quantidade relativa destas formas e a aplicação de fertilizantes proporcionou um pequeno aumento de fosfato de cálcio, decorrente provavelmente da remoção pelas culturas e a precipitação, em formas menos solúveis, de P-Fe e P-Al.

CHO & CALDWELL (1959), verificaram que a distribuição das frações inorgânicas de fósforo do solo foram mais ou menos uniforme com pH próximo a 7. ANASTACIO (1968), em trabalho realizado com fixação de fósforo, observou que dos solos estudados os de menor poder de fixação possuíam valores de pH variados: 4,2; 5,7; 3,7; mostrando que a acidez não é fator decisivo na fixação de fósforo e que os solos mais ácidos não foram os que retiveram mais fósforo.

GHANI & ISLAM (1946) em estudos de fixação de fósforo em solos ácidos observaram que 45 a 85% do fósforo adicionado era fixado no início da incubação, sendo que 90% do fósforo foi precipitado em forma de P-Al e P-Fe. HECK (1934), estudando a natureza dos fosfatos formados após aplicação do fertilizante em vários solos, observou que os produtos formados variavam conforme o tipo de solo. ANASTACIO (1968), verificou que acima de 100 ppm as curvas formadas por fósforo adicionado e fósforo extraído, são, em geral, praticamente retas, variando apenas sua inclinação.

WILLIAMS *et alii* (1960) observaram pelo estudo de correlação que a adsorção de fosfato, numa série de solos ácidos da Escócia, era função mais do alumínio do que do ferro. Abordando este aspecto BROMFIELD (1964) verificou que a retenção de fosfato nos solos estudados era dominada pelo óxi-

do de alumínio presente e não pela quantidade relativamente grande de óxido de ferro facilmente reduzível. VELOSO (1969) verificou também em solos da Colômbia que o ferro presente parecia não ser ativo na adsorção de fosfato. De acordo com KITRICK & JACKSON (1955), os fosfatos de alumínio, provavelmente, controlam a atividade do fosfato em solução, sendo a forma P-Al a mais ativa dentre as demais. Estudo de DEAN (1949) evidencia que tanto os óxidos de alumínio como os óxidos de ferro desempenham importante papel na adsorção de fosfato em solos ácidos, mesma tendência observaram HSU (1964-1965), COLEMAN et alii (1960) e BLACK (1968).

SYERS et alii (1971) encontraram que os compostos de alumínio amorfo foram fixadores mais ativos de fósforo do que os óxidos de ferro nos podzólicos e latossolos do sul do Brasil. Entretanto, SHELTON & COLEMAN (1968), encontraram em podzólicos, que o fósforo adicionado se combinou com o ferro e o alumínio do solo na mesma proporção durante o primeiro ano do experimento; com 3 anos 2/3 do fósforo foram detectados como P-Fe e com 6 anos a proporção aumentou para 75%. O P-Al sendo mais solúvel foi se transformando gradualmente em P-Fe.

FROTA (1973), estudando os solos aluviais do Ceará, verificou que a adição de 50 ppm de fósforo no solo proporcionou uma fixação entre 20,7 e 48,1 ppm. Existiu um aumento do valor absoluto de fixação em cada solo quando se utilizou 100 e 200 ppm; diminuiu, no entanto, o percentual fixado. Neste mesmo trabalho o autor observou correlações significativas entre fósforo fixado e teores de cálcio trocável e percentagem de argila quando adicionou 50 ppm de fósforo; a mesma correlação não se verificou para concentrações de 100 e 200 ppm de fósforo. Só houve correlação com a percentagem de argila e 100 ppm; não existiu correlação entre alumínio trocável e quaisquer dos níveis de fósforo.

PERKINS et alii (1942), estudando a fixação de fósforo em relação as frações do solo, observaram que a composição química dos minerais do solo e fixação de fósforo estão relacionados com o tamanho das partículas; com a diminuição do tamanho das partículas a relação $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$ decresceu, então a fixação em relação a área superficial decresceu mas aumentou em relação ao peso.

DAHNIKE et alii (1964), em estudo das frações de fósforo em solos de El Salvador observaram que existe uma grande relação entre fósforo total e fósforo disponível. UDO & OGUNWALE (1977), em solos da Nigéria, verificaram que a quantidade de fósforo nas diversas formas obedeciam a seguinte escala decrescente: P-ocluído; P-Fe; P-Al e P-Ca; a mesma escala obteve BAHIA & BRAGA (1975) em latossolos do Estado de Minas Gerais.

SHELTON & COLEMAN (1968), em estudo das frações de fósforo do solo, observaram que o fósforo era rapidamente convertido a fosfato de alumínio e ferro, quando grandes quantidades do elemento eram realizadas em solos com alta capacidade de fixação. Verificaram também que ao longo do tempo (oito anos), ocorreu uma diminuição do P-Al e um aumento do P-Fe. Neste mesmo estudo constataram que o fósforo disponível estava altamente correlacionado com o P-Al.

WESTIN & BRITO (1969), observaram que, o aumento do intemperismo, ocasiona diminuição do pH, do P-total, das frações ativas de fósforo, do P-org. e mudança nas frações P-Ca para P-Fe. O P-Al e o fósforo solúvel em redutor não sofreram mudanças apreciáveis com a intensificação do intemperismo, sendo afetados mais por deficiência de drenagem, no caso do P-Al, e pelas condições de solo seco no caso do P-red.

LINDSAY et alii (1959), estudando o equilíbrio do fósforo no solo observaram que, geralmente, os compostos mais solúveis, governam a atividade do fosfato na solução.

FASSBENDER (1968), em estudo de fósforo em solos da América Central, observou que o fósforo solúvel em NH_4Cl representou uma fração bastante pequena do fósforo total, com um valor médio de 2,3 ppm em solos com predominância de P-Al e P-Fe; predominando cálcio, o valor médio foi de 6,2 ppm. Observou ainda que, a fração "P-salóide" pode ser considerada como aquela adsorvida ao complexo coloidal do solo, sendo de certa importância como a primeira fonte de fósforo para a planta.

RAUSCHKOLB (1963), em estudos das frações de fósforo em solos do Arizona, obteve valores de fósforo solúvel em NH_4Cl que variaram de 3,12 a 25,60 ppm, com valor médio de 10,41 ppm, que em termos médios representa 1,72% do fósforo inorgânico.

2.2 - Fósforo orgânico

O conteúdo de fósforo orgânico no solo tem ampla variação, situando-se entre 20 e 80% do fósforo total, embora WILLIAMS & STEINBERGS (1958) tenham verificado que valores mais extremos possam ocorrer, como em solos podsolizados onde o fósforo orgânico pode representar 4% do fósforo total, ou em solos húmicos com 90% de fósforo orgânico.

A natureza química de cerca da metade do fósforo orgânico é desconhecida. ANDERSON & MALCOM (1974) identificaram três compostos: inositol fosfato, fosfolipídeos e ácidos nucleicos. Estes autores sugerem ainda que, além desses três principais grupos, há evidência da presença de fosfoproteínas e açúcares fosforilados.

O fósforo orgânico pode ser uma importante fonte de fósforo para a planta quando o solo possui baixo poder de fixação. MARTIN & CARTWRIGHT (1971), citado por DALAL (1977),

compararam o ganho de inositol hexafosfato (IHP) e KH_2PO_4 , com ^{32}P , pelo azevém (*Lolium perenne*) e verificaram que am bos tornaram o fósforo, disponível, na mesma proporção, quan do o solo possuía baixo poder de fixação, mas não houve dis pon ibi lida de quando o solo tinha alto poder de retenção.

WILLIAMS et alii (1960), verificaram que solos deriva do s do basalto e de materiais de rochas ígneas, contem maio re s quantidades de fósforo orgânico do que aqueles derivados do granito, embora estes possuam pequena quantidade de fósfo ro orgânico. KAILA (1963) verificou que os solos de textura argilosa são mais ricos em fósforo orgânico que os de textura grossa e que o conteúdo de fósforo orgânico nos solos estuda do s teve uma variação de 100 a 940 ppm, com valor médio de 340 ppm.

THOMPSON et alii (1954) & WILLIAMS et alii (1960), em estudo de fósforo orgânico, verificaram que há uma correla ção po sitiva entre conteúdo de nitrogênio orgânico e fósforo orgânico e negativa entre fósforo orgânico e pH, e BARROW (1961) & WILLIAMS et alii (1960) tem enfatizados que a rela ção C:P é mais variável que C:N e C:S, Tem-se sugerido que, se a relação C:P-org. é menor que 200:1 ou maior que 300:1, ocorre a mineralização ou imobilização, respectivamente (TISDALE & NELSON, 1975). Todavia, ENWEZOR (1967), observou que a relação C:P-org. no solo, foi um índice pouco confiá vel pa ra prever a mineralização e imobilização.

Estudos de CHO & CALDWELL (1959) mostram que o fósfo ro orgânico está relacionado com o conteúdo de matéria orgâ nica, mas VIEIRA (1966), em estudos de ocorrência de fósforo em solos da Amazonia, verificou que o fósforo orgânico não tem, em geral, relação com o conteúdo de matéria orgânica. FRIEND & BIRCH (1960) encontraram uma correlação negativa en tre fósforo aplicado e conteúdo de fósforo orgânico.

2.3 - Frações de fósforo, fósforo disponível e absorção vegetal

O fósforo na planta está na forma de íon fosfato ou combinado com compostos orgânicos. Nesta última categoria encontram-se ésteres de carboidratos, nucleotídeos, fosfolipídeos e fosfato de adenosina. No processo de mineralização estes compostos são transformados em ortofosfatos que podem ser assimilados pela planta. A absorção do íon fosfato pelo vegetal é governada por uma série de fatores, destacando-se: pH do solo, atividade de vários íons (particularmente dos íons de Ca^{++} , Al^{+++} e Fe^{+++}) e solubilidade dos fosfatos.

FOX et alii (1974) mostraram que existe uma concentração ótima de fósforo na solução que proporciona uma boa produção e esta concentração varia com as espécies. Nesse estudo observaram que para o milho, 95% de sua produção máxima está associado com uma concentração de 0,6 ppm de fósforo na solução do solo e para a batata doce, 75% de sua produção máxima correspondia a uma concentração de 0,003 ppm de fósforo, demonstrando que existem espécies que toleram baixa concentração de fósforo, o que é de grande implicação econômica.

KHASAWNEH (1971), fazendo uma extensa revisão dos diversos trabalhos sobre formas de fósforo inorgânico e absorção vegetal, observou que em cultivo exaustivo, em casa de vegetação, o volume de solo explorado é limitado e a absorção é função do parâmetro quantidade (fósforo do solo). Nessa situação, apesar da relação entre absorção e quantidade ser diferente de solo para solo, o autor afirma que os resultados podem ser extrapolados para outros solos.

AL-ABBAS & BARBER (1964), ao correlacionarem a disponibilidade de fósforo para as plantas com as frações inorgânicas de fósforo do solo, verificaram que em todas as séries de análises realizadas, o fosfato de ferro estava altamente relacionado com a disponibilidade de fósforo. Já RAUSCHKOLB

(1963) verificou que as frações de fósforo, combinadas ou isoladamente, comparadas com o peso seco do tomateiro, mostraram que o fósforo extraído com NH_4Cl estava correlacionado significativamente com a massa seca. Contudo a utilização de formas isoladas não foi proporcional em todos os solos.

BALDOVINOS & THOMAS (1967) encontraram que o crescimento máximo de feijão e milho estava associado com o nível de 0,07 ppm de fósforo em latossolos e podzólicos argilosos. Em solos arenosos a concentração ótima está em torno de 0,2 ppm na solução do solo.

AWAN & RICHER (1964), estudando as frações de fósforo em solos da Jordania, verificaram que em pH baixo (4,3) pouco fósforo foi removido do solo pela cultura; feita a calagem o pH elevou-se a 8 e quantidades de fósforo foram liberadas, resultando numa diminuição do P-total. Sucessivas correções de solo proporcionou um aumento do fósforo orgânico e maior concentração de fósforo foi encontrada na superfície do solo.

CHANG (1965), estudando o fracionamento do fósforo em relação ao fósforo disponível, observou que, em culturas de arroz sob inundação, a principal fonte de fósforo para a planta foi o P-Fe, tanto em solo ácido como em solo alcalino. Verificou também que, das frações determinadas, o P-Fe e o P-Al, foram as principais fontes de fósforo para a planta. BAHIA & BRAGA (1975) verificaram, em latossolos de Minas Gerais, que a quantidade de fósforo absorvido e matéria seca foram influenciados, principalmente, pelo fósforo ligado ao alumínio. Estudos de FASSBENDER (1968) mostram que a fração de fósforo solúvel em NH_4Cl se correlacionou significativamente com o fósforo absorvido e nos solos mais ácidos não houve correlação entre as formas P-Ca, P-Fe, P-Al e o fósforo absorvido. MC LEAN & LOGAN (1970) verificaram que em solos de baixa capacidade de fixação, o aumento do fósforo solúvel em água, elevava o conteúdo de fósforo em plantas jo-

vens de milho. Já em solos de alta capacidade de fixação, o conteúdo de fósforo decresceu com o aumento do fósforo solúvel em água.

DEDATTA et alii (1966), ao estudar a capacidade de suprimento de fósforo do solo na cultura do arroz, observaram que os diversos solos estudados apresentavam respostas diferentes a adubação; sob este aspecto constataram que a maior parte do fósforo requerido pela cultura era proveniente do fósforo existente no solo, ao passo que a participação do fósforo aplicado teve uma variação de 8 a 27% do total requerido. SING et alii (1966), estudando o fósforo residual e sua disponibilidade para as plantas observaram, através do fracionamento do fósforo, que o fósforo nativo e residual estava presente no solo na forma de P-Fe. Aplicações de superfosfato resultaram em pequenos, porém significativos, aumentos nas quantidades de P-Al e P-Ca. A comparação das frações inorgânicas de fósforo, antes e depois da implantação da cultura, evidenciou que o P-Al, P-Fe e P-Ca foram as fontes de fósforo na primeira colheita e o P-Fe na segunda e terceira colheita. Essa mesma tendencia foi observada por AL-ABBAS (1964) e PAYNE & HANNA (1965).

GUNARY & SUTTON (1967), estudando a absorção de fósforo pelo vegetal, utilizando diversas dosagens de fósforo, encontraram que a correlação entre fósforo absorvido e matéria seca era baixa na dose mais alta de fósforo. Em razão disso, os autores admitiram que outros fatores, além do suprimento de fósforo foram responsáveis pelo limite de crescimento.

BRAGA & DEFELIPO (1972), verificaram que o fósforo extraído pelos métodos de Bray-1 e Bray-2 se correlacionou com a forma P-Fe, enquanto o extrator Carolina do Norte correlacionou com a forma P-Al.

BAHIA FILHO (1975), utilizando vários métodos na determinação do fósforo disponível, verificou que a fração de

fósforo predominantemente removida pelos extratores é a de fósforo ligada ao alumínio, o que indica um maior solubilidade dos fosfatos de alumínio e maior atividade relativa desta forma em relação as demais. Nesse mesmo estudo o autor observou que a fração P-Ca estava numa concentração média de 55,3 ppm.

3 - MATERIAL E MÉTODO

3.1 - Solo

Os solos estudados estão distribuídos na Região da Ibiapaba, Estado do Ceará, e são os mais representativos desta Região.

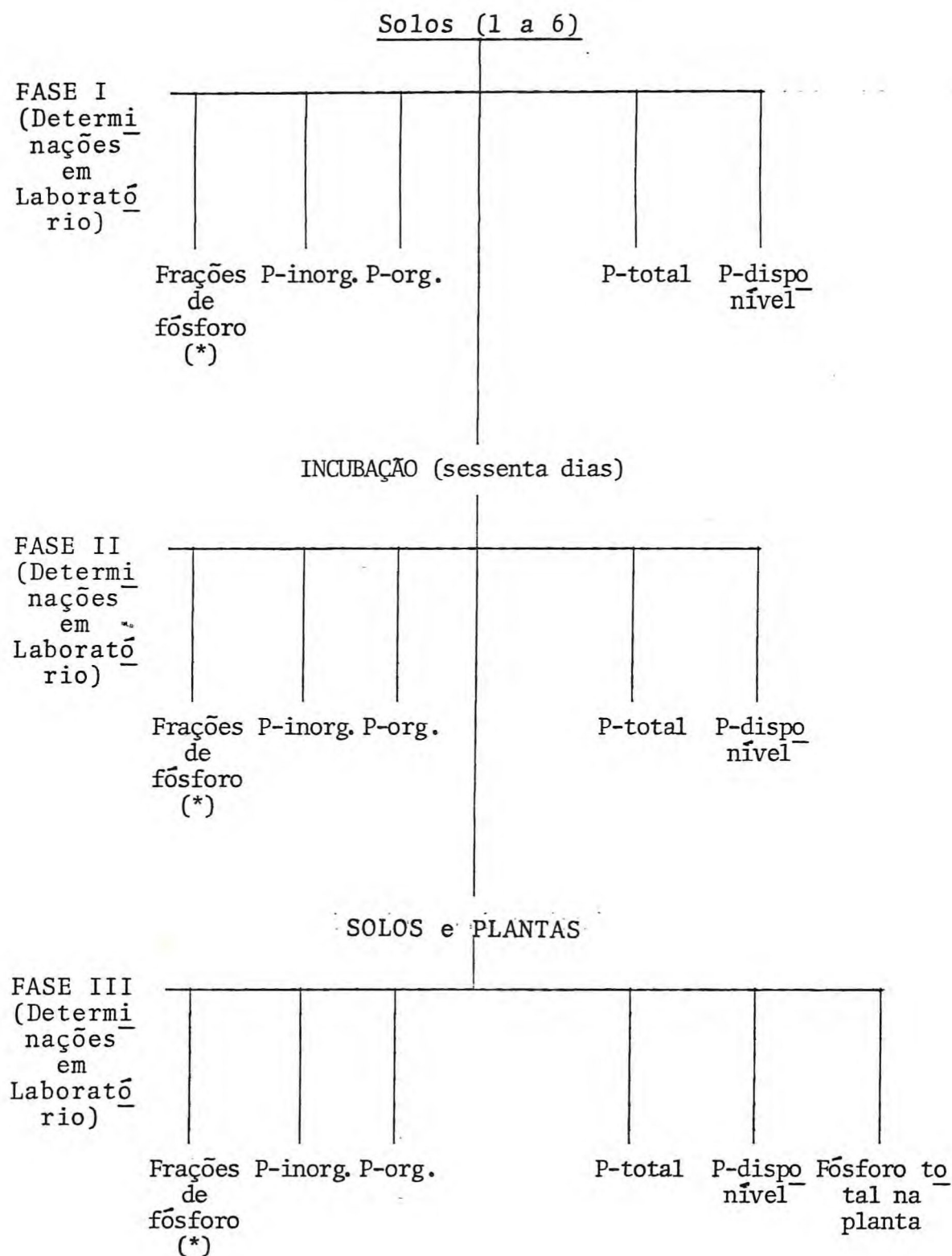
INCLAN et alii (1979) verificaram que estes solos são originados do arenito da formação Serra Grande, pobres em materiais primários e de acordo com a classificação de Koppen o tipo climático predominante é o Amw' - clima tropical de monção. A precipitação média dos municípios: São Benedito, Tianguá e Ubajara, onde estão localizados estes solos e de acordo com dados catalogados pelo Departamento de Recursos Naturais da SUDENE, são, respectivamente: 2.121mm, 1.242mm e 1.481mm.

As unidades estudadas foram em número de seis: três latossolos vermelho distrófico, um latossolo acinzentado distrófico, um podzólico vermelho amarelo equivalente eutrófico e um areia quartzosa distrófica.

Em cada solo foi coletada uma amostra no horizonte superficial (0-25cm), nas proximidades do perfil. As amostras foram secas ao ar, destorroadas, homogeneizadas e passadas em peneiras de 2mm de malha. De cada amostra foram retiradas três subamostras que correspondem as determinações dos diversos parâmetros, conforme fluxograma a seguir.

As características físicas e químicas (TABELAS 1, 2, e 3) foram determinadas pelo Laboratório de Solos do Cenpro de

FLUXOGRAMA DE EXECUÇÃO



(*) Frações de fósforo: "P-salóide", P-Al, P-Fe, P-red., P-Ca e P-resid.).

TABELA 1 - Classificação, formação geológica, material originário e localização de seis perfis das unidades de solo mais representativas da Região da Ibiapaba, Ceará, Brasil, 1981.

Solos	Classificação	Formação Geológica	Material Originário	Localização
1	LATOSSOLO VERMELHO AMARELO DISTRÓFICO A <u>pro</u> eminente textura argilosa fase floresta <u>sub</u> perenifólia relêvo suave ondulado.	Devoniano inferior Formação Serra Grande	Arenito	Estrada São Benedito -Ibiapina (CE-75), Sítio Queimadas - São Benedito.
2	PODZÓLICO VERMELHO AMARELO EQUIVALENTE EU-TRÓFICO LATOSSOLICO textura franco arenoso fase floresta subperenifólia relêvo suave ondulado.	Devoniano inferior Formação Serra Grande	Decomposição da rocha <u>sub</u> jacente	Estrada Cajuaçu Tabocas - Tianguá(CE).
3	LATOSSOLO VERMELHO AMARELO DISTRÓFICO A <u>mo</u> derado textura média fase floresta <u>subpere</u> nifólia relêvo suave ondulado.	Devoniano inferior Formação Serra Grande	Arenito	Estrada Tianguá - Ubajara (CE-75). Tianguá(CE).
4	LATOSSOLO VERMELHO AMARELO DISTRÓFICO A <u>mo</u> derado textura argilosa fase floresta <u>sub</u> perenifólia relêvo ondulado.	Devoniano inferior Formação Serra Grande	Arenito	Estrada Ubajara - Boi Morto. Ubajara(CE).

TABELA 1 - (Continuação).

Solos	Classificação	Formação Geológica	Material Originário	Localização
5	AREIAS QUARTZOSAS DISTRÓFICAS A fraco fase floresta subperenifólia relêvo suave ondulado.	Devoniano inferior Formação Serra Grande	Arenito	Estrada Tianguá-Viçosa do Ceará. Tianguá (CE).
6	LATOSSOLO ACINZENTADO DISTRÓFICO A fraco textura média fase floresta subcaducifolia relêvo plano.	Devoniano inferior Formação Serra Grande	Arenito	Estrada Tianguá - São João da Fronteira - (BR-222). Tianguá (CE).

TABELA 2 - Características físicas dos solos. Fortaleza, Ceará, Brasil, 1980.

Solos	areia grossa	areia fina	silte	argila total %	argila natural	umidade 1/3 atm.	Classe textural (*)
1	47,4	31,4	7,3	13,9	3,2	8,0	franco arenoso
2	5,4	66,4	18,9	9,3	2,9	8,0	franco arenoso
3	51,3	25,4	7,0	16,3	4,3	7,7	franco arenoso
4	32,8	33,8	5,9	27,5	14,4	6,3	franco argilo arenoso
5	42,6	40,2	8,1	9,1	1,7	4,5	areia franca
6	6,5	72,9	4,8	15,8	6,5	4,0	franco arenoso

(*) De acordo com o sistema americano de classificação.

TABELA 3 - Características químicas dos solos. Fortaleza, Ceará, Brasil, 1980.

Solos	pH	Complexo sortivo dos solos (eq.mg/100g)								V	C	N	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂
		H ⁺	Al ⁺⁺⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	S	T						
1	4,20	3,84	0,81	0,90	1,00	0,08	0,04	2,02	6,67	30	0,798	0,073	7,50	0,90	8,64
2	4,30	4,52	0,76	1,40	1,00	0,06	0,03	2,49	7,77	32	1,122	0,098	3,75	0,80	3,96
3	5,00	2,02	0,12	2,40	1,10	0,07	0,02	3,59	5,73	62	0,810	0,084	6,00	1,10	7,16
4	4,30	1,84	0,63	0,80	1,00	0,06	0,02	1,88	4,35	43	0,570	0,042	4,25	0,60	4,78
5	4,20	2,76	0,87	0,90	0,90	0,09	0,03	1,92	5,55	34	0,774	0,070	2,75	0,30	3,34
6	4,30	1,35	0,63	0,70	0,70	0,12	0,02	1,54	3,52	43	0,438	0,039	3,00	0,30	3,68

Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, visando, assim, proporcionar maior compreensão das unidades genéticas.

3.2 - Determinação das frações de fósforo inorgânico

Utilizou-se o método de CHANG & JACKSON (1957), modificado por PETERSEN & COREY (1966), no fracionamento do fósforo do solo. Determinou-se as frações: fósforo solúvel em NH_4Cl ("P-salóide), fósforo ligado ao alumínio (P-Al), fósforo ligado ao ferro (P-Fe) fósforo solúvel em redutor (P-red.) e fósforo ligado ao cálcio (P-Ca), solúveis em NH_4Cl , NH_4F , NaOH , ditionito-citrato-bicabornato e H_2SO_4 , respectivamente. Considerou-se ainda o fósforo residual (P-Resid.), como a diferença entre o fósforo inorgânico e o somatório das diversas frações.

3.3 - Determinação do fósforo disponível

Os teores de fósforo disponível foram obtidos utilizando-se o extrator químico Mehlich composto de H_2SO_4 0,025N e HCl 0,05N, utilizando-se a relação solo: solução de 1:10 com tempo de agitação de cinco minutos.

3.4 - Determinação do fósforo total, inorgânico e orgânico

A determinação do fósforo total e inorgânico foi feita de acordo com a metodologia proposta por JACKSON (1958) e os teores de fósforo orgânico obtidos pela diferença entre fósforo total e fósforo inorgânico.

3.5 - Ensaio em casa de vegetação

3.5.1 - Incubação das amostras de solo

As amostras de solo foram incubadas com uma solução de 100 ppm de fósforo, na forma de KH_2PO_4 , durante sessenta dias. Foram retirados de cada solo 18 kg, correspondente a uma amostra, e a estas foi incorporada a solução de fósforo até a capacidade de campo, como a finalidade de proporcionar maior uniformidade na distribuição do fósforo. As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos, fechados e mantidos a temperatura ambiente (mínima: $21,6^\circ\text{C}$ e máxima: $31,8^\circ\text{C}$).

3.5.2 - Instalação e condução do ensaio

Após o período de incubação, as amostras foram secadas ao ar, destorroadas e passadas em peneiras de 2mm de abertura. Cada amostra de 18 kg foi subdividida em três subamostras, colocadas em vasos plásticos, com capacidade para 10Kg, recebendo cada um 6 kg de solo, totalizando 18 vasos, o mesmo foi feito com o solo natural. Os vasos foram distribuídos ao acaso com três repetições obedecendo o delineamento de blocos casualizados. O ensaio foi conduzido em casa de vegetação no Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, sob condições ambientais normais.

Utilizou-se o milho (*Zea mays*, L.), cultivar "central mex", como planta indicadora. Para tanto semearam-se trinta sementes por vaso. Os vasos receberam irrigação até 80% da capacidade de campo dos solos e foram distribuídos ao acaso. Fez-se a drenagem dos vasos, com o cuidado de retornar algum

excesso de água que aparecesse. Após uma semana de emergência das plântulas foi feito o desbaste, ficando 25 plantas por vaso.

Durante o experimento a cultura foi irrigada diariamente com água destilada, com a finalidade de se manter a umidade a 80% da capacidade de campo. A colheita foi realizada trinta dias após a emergência das plântulas, cortando-se o material vegetal rente ao solo e acondicionando-o em sacos de papel apropriado.

O material colhido foi colocado em estufa a 70°C e pesado diariamente até peso constante. Esse material foi triturado em moinho tipo Wiley, ficando assim, em condições apropriadas para análise de fósforo na planta, o que foi realizada com base na metodologia descrita por LOTT et alii (1956).

3.6 - Análise estatística

Para verificar a intensidade de aumento ou diminuição das formas de fósforo após o período de incubação, os dados foram analisados estatisticamente pelos métodos comuns de análise de variância dos ensaios em blocos casualizados e os contrastes formulados comparados pelo teste de Tukey, tendo sido adotado o nível de 0,05 de probabilidade.

Outrossim, as variações das formas de fósforo após a incubação e após a colheita do material vegetal foram estudadas com base no teste de diferença de duas médias para dados emparelhados, usando-se o teste estatístico "t", $t = \bar{d}/s_{\bar{d}}$, com n-1 graus de liberdade.

Procedeu-se, também, o estudo de correlação entre %C x P-total, P-org. x P-total, "P-salóide" x P-absorvido, P-Al x P-absorvido, P-Fe x P-absorvido, P-Ca x P-absorvido,

P-Al/P-Fe x P-absorvido; "P-salóide" x massa seca, P-Al x massa seca, P-Fe x massa seca, P-Ca x massa seca e P-Al/P-Fe x massa seca, visando identificar a relação existente entre esses diversos parâmetros mencionados anteriormente, sem no entanto estabelecer as relações de causa e efeito. Para testar os coeficientes de correlação usou-se o teste t, com $n-2$ g.l., sendo $n = 6$.

4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 - Características gerais dos solos

Tendo como base a classificação textural, TABELA 2, e as características físicas (TABELA 2), pode-se observar que a fração areia predomina neste grupo de solos variando de 66,6% a 82,8%, com valor médio de 76%. O somatório das bases trocáveis, valor S (TABELA 3), teve uma variação de 1,54 a 3,59mE/100g de solo, como média de 2,24mE/100g de solo, o que demonstra uma pobreza destes solos em cátions básicos necessários para uma boa fertilidade do solo. A capacidade de troca de cátions (T) (TABELA 3), variou de 3,52 a 7,77mE/100g de solo, indicando uma baixa capacidade de troca destes solos. Os valores de pH situaram-se entre 4,2 e 5,0, sendo portanto, solos de reação ácida (TABELA 3).

Com base nos resultados acima conclui-se que estes solos, de um modo geral, apresentam baixa fertilidade natural, o que concorda com INCLAN et alii (1979).

Existe nos solos uma predominância de óxidos de alumínio ($Al_2O_3\%$) em relação aos óxidos de ferro ($\%Fe_2O_3$), apresentando valores máximos de 7,5 e 1,1%, respectivamente (TABELA 3).

Os valores relativos à %C apresentados na TABELA 3, demonstram que estes solos possuem baixo teor de matéria orgânica.

4.2 - Distribuição das formas de fósforo dos solos na camada arável

4.2.1 - Frações do fósforo inorgânico

(a) Fósforo solúvel em NH₄Cl

Pelo exame da TABELA 5 observa-se que o fósforo solúvel em NH₄Cl, de um modo geral, não apresentam grande variação, oscilando numa faixa de 2,90 a 1,53 ppm, com média de 1,95 ppm. A mesma tendência observaram FASSBENDER *et alii* (1968) os quais encontraram um valor médio de 2,3 ppm. Esta fração, de acordo com CHANG & JACKSON (1958), corresponde aquela facilmente solúvel ou fracamente adsorvida as partículas do solo. FASSBENDER *et alii* (1968), consideraram esta fração como aquela adsorvida ao complexo coloidal do solo, a qual estaria em equilíbrio com a solução do solo, assim teria certa importância como a primeira fonte de fósforo para a planta. Supõe-se ainda que, pequenas quantidades sejam retiradas, principalmente do fósforo orgânico facilmente solúvel ou do fósforo ligado ao alumínio e ao ferro. Em termos percentuais médio a participação desta fração na formação do fósforo inorgânico foi de 3,54% (TABELA 5).

(b) Fósforo ligado ao alumínio, ao ferro e solúvel em redutor

Os dados obtidos para estas frações, (TABELA 5) mostram que 81,28% do fósforo inorgânico dos solos, está na forma P-Al, P-Fe e P-red., o que está de acordo com os estudos de UDO & OGUNWALE (1977) e BAHIA & BRAGA (1975) onde verifi-

caram que as quantidades de fósforo foram maiores nas formas de P-red., P-Al e P-Fe. DEAN (1949), KITTRICK & JACKSON (1955), COLEMAN et alii (1960), HSU (1965) e BLACK (1968), estudando a natureza das reações dos fosfatos demonstraram que nos solos ácidos os óxidos de ferro e alumínio são os principais compostos envolvidos nestas reações.

Em termos médio, os percentuais de participação destas frações na formação do fósforo inorgânico foram: 18,74% (P-Al), 18,86% (P-Fe) e 43,68% (P-red.), (TABELA 5).

(c) Fósforo ligado ao cálcio

O conteúdo de fósforo ligado ao cálcio variou de 10,16 ppm a 3,23 ppm, com valor médio de 6,68 ppm, (TABELA 4). Estes valores revelam que há um baixo teor de P-Ca nestes solos. Entretanto BAHIA FILHO (1975), em estudo com latossolo de Minas Gerais, encontrou um valor médio de 55,3 ppm de P-Ca.

O fosfato de cálcio existe no solo sob várias formas; fosfato mono, di e tricálcico; a forma mono sendo facilmente solúvel em água, é precipitada na forma de fosfato di e tricálcico, que são formas menos solúveis. Como a forma monocalcica - $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ - predomina na faixa de pH de 2 a 7, ela é possivelmente a que ocorre nos solos estudados. O fósforo liberado do cálcio pode combinar com o alumínio e o ferro, formando compostos muito menos solúvel do que o fosfato di e tricálcico.

A participação do P-Ca na formação do fósforo inorgânico foi de 11,65%, (TABELA 5).

4.2.2 - Fósforo orgânico e fósforo total

A variação de P-total nos diversos solos foi de 123,42 a 63,6 ppm, com valor médio de 93,14 ppm (TABELA 4). Estes valores revelam que são baixos os teores de fósforo nesses solos, pois possivelmente se originam de materiais pobres neste elemento, (INCLAN et alii, 1979). Segundo WESTIN & BRITO (1969), o intenso processo de intemperismo, promove também uma diminuição do conteúdo de P-total do solo.

O coeficiente de correlação linear entre porcentagem de carbono e o fósforo total foi $r = 0,90^*$. Este valor mostra que há uma estreita relação linear entre as variáveis estudadas, o que está de acordo com FASSBENDER (1966), que encontrou alta correlação sempre que predominaram o P-Al e o P-Fe. A correlação entre fósforo orgânico e fósforo total foi de $0,78^*$, (significativa ao nível de 5% de probabilidade).

Tendo por base a relação C:P-org. observa-se que os extremos foram de 126,47:1 a 60,39:1 (valores oriundos das TABELAS 3 e 4); como esta relação tem sido usada para indicar se há mineralização ou imobilização, constata-se que a mineralização é uma constante, com base na relação menor do que 200:1 e maior do que 300:1, cujos limites definem a mineralização e imobilização, respectivamente (TISDALE & NELSON, 1975), embora ENWEZOR (1967) tenha observado que a relação C:P-org. seja um índice de pouca confiança para avaliar a mineralização e imobilização. Estes processos são grandemente afetados por uma série de fatores, tais como: temperatura, umidade, aeração, pH, adição de fertilizantes, tratamentos culturais, microorganismos do solo e plantas.

Os teores de P-org. variaram de 55,89 ppm a 20,1 ppm, com um teor médio de 36,5 ppm (TABELA 4). KAILA (1963), determinando estes mesmos valores, encontrou, nos solos estuda

dos, uma variação de 100 a 940 ppm, com valor médio de 340 ppm. Contrariamente ao que verificou KAILA (1963), ficou evidenciado pelos dados apresentados nas TABELAS 3 e 4, que o conteúdo de fósforo orgânico não seguiu a tendência de se apresentar maior, com o aumento do teor de argila. Acredita-se que tal comportamento seja possivelmente, devido ao desmatamento e queimadas excessivas, ausências de práticas conservacionistas, que determinam como consequência a presença de baixos teores de substratos orgânicos.

A participação do fósforo orgânico na formação do fósforo total, variou de 56,24% a 28,83%, com valor médio de 38,35% (valores obtidos da TABELA 4).

4.2.3 - Fósforo "disponível"

O fósforo disponível corresponde aquela quantidade de fósforo existente no solo, que comparado com os dados de produção obtidos experimentalmente em casa de vegetação e em campo, permite fazer uma avaliação da disponibilidade deste elemento as plantas.

Os dados obtidos para fósforo disponível teve uma variação de 4,4 a 1,3 ppm, com valor médio de 2,6 ppm (TABELA 4). Comparando estes dados com os níveis críticos de fósforo (0 a 15 ppm, baixo) adotado pela Laboratório de Análise de Solo do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, constata-se que estes solos são de baixíssimo teor de fósforo disponível, estando de acordo com o teor de P-total existente nestes solos, tendência também observada por DAHNKE *et alii* (1964), cujo trabalho mostrou uma intensa proporção entre P-total e fósforo disponível.

TABELA 4 - Distribuição das formas de fósforo da camada arável (0 - 25cm) de seis perfis das unidades de solo mais representativos da região da Ibiapaba, Ceará-Brasil., 1980.

Solos	"P. salóide"	P-Al	P-Fe	P-Red.	P-Ca	P-Resid.	P-Inorg.	P-Org.	P-Total	P-Disp.
					ppm					
1	2,90	5,15	8,41	23,55	10,16	6,70	56,87	37,51	94,38	2,0
2	1,72	15,49	10,92	28,22	6,00	5,33	67,68	55,74	123,42	4,4
3	1,90	8,21	15,16	28,75	7,00	2,23	63,25	25,46	88,71	1,7
4	1,75	15,43	15,53	21,23	8,91	4,83	67,68	26,70	94,38	4,0
5	1,53	6,17	7,47	20,28	4,81	1,30	41,56	52,82	94,38	2,3
6	1,90	7,45	7,58	23,34	3,23	0,20	43,70	19,90	63,60	1,3
Médias	1,95	9,65	10,84	24,22	6,68	3,43	56,79	36,35	93,14	2,6

TABELA 5 - Distribuição percentual das frações inorgânicas de fósforo na camada arável.

Solos	"P-salóide"	P-Al	P-Fe %	P-red.	P-Ca	P-resid.
1	5,10	9,05	14,78	41,42	17,86	11,79
2	2,52	22,89	16,15	41,69	8,87	7,88
3	3,00	12,98	23,96	45,16	11,07	3,53
4	2,59	22,80	22,95	31,36	13,17	7,13
5	3,68	14,84	17,98	48,79	11,58	3,13
6	4,35	17,04	17,35	53,40	7,40	0,46
Médias	3,54	18,74	18,86	43,68	11,65	5,65

4.3 - Variação das formas de fósforo após 60 dias de incubação

O estudo geral das diversas formas de fósforo no solo natural e incubado (TABELAS 4 e 6), tendo como base os valores diferenciais, existentes nos solos após o período de incubação (TABELA 8), mostra que houve uma diferença significativa no destino do fósforo aplicado, o que era esperado devido a heterogeneidade dentro do próprio solo e a presença de vários elementos, principalmente alumínio e ferro (TABELA 3) que em meio ácido tem grande afinidade com o íon fosfato. As diferenças encontradas entre solos na retenção de fósforo não foram significativas, contraria as observações de HECK (1934). Este fato ocorreu devido possivelmente, a uma relativa uniformidade das características químicas entre os solos, permitindo um estudo de conjunto dos mesmos. CHO & CALDWELL (1959) verificaram uma distribuição mais ou menos uniforme das formas de fósforo, entretanto o pH dos solos estava em torno de 7.

A quantidade de fósforo nas diversas frações encontradas no solo natural obedeceram a seguinte escala decrescente: P-red., P-Fe, P-Al e P-Ca (TABELA 4), o mesmo observado por UDO & OGUNWALE (1977) e BAHIA & BRAGA (1975). Após o período de incubação, as diversas frações fosfatadas apresentaram-se na escala decrescente: P-Al, P-red., P-Fe e P-Ca (TABELA 6). Possivelmente, essa inversão inicial, em relação a situação anterior tenha influenciado o tempo de incubação, não só pela maior concentração relativa de alumínio existente nos solos, mas também por ser um elemento altamente reativo na presença de fósforo em meio ácido.

TABELA 6 - Distribuição das formas de fósforo nos solos após 60 dias de incubação com 100ppm de KH_2PO_4 . Fortaleza, Ceará, Brasil, 1980.

Solos	"P. salóide"	P-Al	P-Fe	P-Red.	P-Ca ppm	P-Resid.	P-Inorg.	P-Org.	P-Total	P-Disp.
1	10,98	77,42	25,68	51,82	7,68	1,32	174,90	20,49	195,39	59,4
2	8,98	91,22	26,82	37,68	6,44	16,36	187,50	41,19	228,69	62,7
3	9,98	75,36	30,40	65,96	7,68	0,03	189,41	12,64	202,05	51,7
4	8,98	84,00	39,08	47,10	6,44	12,59	198,19	10,87	209,06	83,6
5	13,98	84,00	13,30	29,20	6,44	5,54	152,46	39,32	191,78	83,6
6	15,98	77,42	13,30	42,40	5,44	3,25	157,79	10,61	168,40	79,2
Médias	11,48	81,57	24,76	45,69	6,68	6,51	176,70	22,52	199,22	70,03

4.3.1 - Fósforo solúvel em NH_4Cl

Das frações ativas esta foi a que menos participou na formação do fósforo inorgânico dos solos. Apresentou uma variação de 4,79 a 10,12% com um percentual médio de 6,69% do fósforo inorgânico, (TABELA 7). A mesma tendência obteve RAUSCHKOLB (1963) em estudos das frações de fósforo em solos do Arizona, com 1,72% de participação média na formação do fósforo inorgânico.

A análise dos dados mostra ainda que houve um ganho significativo de fósforo na forma "P-salóide" após o período de incubação (TABELA 9).

4.3.2 - Fósforo ligado ao alumínio, ao ferro e solúvel em redutor

A participação destas formas na formação do fósforo inorgânico foram respectivamente de: 46,54% (P-Al), 13,65% (P-Fe) e 25,72% (P-red.), (TABELA 7). Em conjunto representam 85,91% do fósforo inorgânico (TABELA 7), sendo o fósforo ligado ao alumínio de maior representatividade com 46,54% o que está de acordo com FRANKLIN & REISENAUER (1960) onde em seus estudos observaram que a reatividade do óxido de alumínio é cerca de 160 vezes maior que o óxido de ferro na retenção de fosfato e LINDSAY (1959) verificando que os compostos mais solúveis governam a atividade do fosfato na solução. De outra parte GHANI & ISLAM (1946), encontraram que 45 a 85% do fósforo aplicado era "fixado" no início da incubação e que 90% foram precipitados nas formas P-Al e P-Fe.

Os resultados obtidos mostram ainda que, o fósforo aplicado, não se combinou proporcionalmente com o ferro e o alumínio existente no solo, possivelmente devido a variação

TABELA 7 - Distribuição percentual das frações inorgânicas de fósforo após período de incubação.

Solos	"P-salóide"	P-Al	P-Fe %	P-red.	P-Ca	P-resid.
1	6,28	44,27	14,68	29,62	4,40	0,75
2	4,79	48,65	14,30	20,10	3,43	8,73
3	5,26	39,79	16,04	34,83	4,06	0,02
4	4,54	42,38	19,72	23,76	3,24	6,36
5	9,16	55,10	8,73	19,15	4,23	3,63
6	10,12	49,06	8,43	26,88	3,45	2,06
Médias	6,69	46,54	13,65	25,72	3,80	3,59

TABELA 8 - Análise da variância relativa a variação do teor de fósforo entre os solos e entre formas de fósforo após 60 dias de incubação.*

Causas de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Solos (Blocos)	5	39,3	7,86	1,26 n.s.
Formas de fósforo (Tratamentos)	8	442,6	55,32	8,9 **
Erro Experimental	40	248,5	6,21	

* Valor diferencial entre o solo natural e o incubado;

** Significativo ao nível de 1%;

n.s. Não significativo.

nos seus teores originais. O mesmo comportamento observou VELOSO (1969), contudo, SHELTON & COLEMAN (1968), encontraram uma combinação proporcional entre fósforo adicionado e os teores de ferro e alumínio. Os mesmos pesquisadores observaram também que ao longo do tempo o P-Al tende a diminuir e o P-Fe a aumentar.

A análise dos dados (TABELA 9) mostra também que houve uma retenção significativa de fósforo nas formas P-Al, P-Fe e P-red. A comparação das diferentes formas de fósforo, pelo teste de Tukey (TABELA 10), mostra que a fração P-Al diferiu significativamente de todas as outras formas, com exceção do "P-salóide". Este resultado está de acordo com WILLIAM *et alii* (1960) e BROMFIELD (1964) cujos estudos mostraram que a retenção de fósforo era dominada pelos óxidos de alumínio, mesma tendência verificada por GHANI & ISLAM (1946), HSU (1964) e SYERS *et alii* (1971).

4.3.3 - Fósforo ligado ao cálcio

Esta fração apresentou uma distribuição mais ou menos uniforme, com uma participação variando de 3,24% a 4,40% do fósforo inorgânico, com valor médio de 3,8% (TABELA 7). As concentrações de P-Ca no solo incubado apresentaram pequenas variações em relação ao solo natural, o que confirma a análise dos dados, mostrando que não existiu uma retenção significativa de fósforo nesta forma, TABELA 10. Este comportamento de P-Ca esta de acordo com CHANG & JACKSON (1958), os quais mostraram que a aplicação de fertilizantes proporcionou um pequeno aumento de fosfato de cálcio (TABELAS 7 e 8), provavelmente atribuído a precipitação a formas menos solúveis de P-Al e P-Fe. Outro fator a considerar é a baixa atividade do íon cálcio em solos ácidos; entretanto, caso se tratasse de solos alcalinos a situação poderia ser diferente.

TABELA 9 - Teste de médias para avaliar a avariação nas formas de fósforo após período de incubação.

Formas de fósforo	Teste de Médias (ppm)		
	\bar{X}_1 (1)	\bar{X}_2 (1)	\bar{D} (2)
Solúvel em NH_4Cl	11,48	1,95	9,53 **
Ligado ao alumínio	81,57	9,65	71,92 **
Ligado ao ferro	24,76	10,84	13,92 **
Solúvel em redutor	45,69	24,22	21,47 **
Ligado ao cálcio	6,68	6,68	-0- n.s.
Residual	6,51	3,05	3,46 n.s.
Inorgânico	176,70	56,79	119,91 **
Orgânico	36,51	22,52	13,99 **
Total	199,22	93,14	106,08 **
Disponível	70,00	2,60	67,40 **

\bar{X}_1 = média após o período de incubação;

\bar{X}_2 = média antes da incubação;

\bar{D} = média maior menos média menor;

n.s. = não significativo;

** = significativo ao nível de 1%.

TABELA 10 - Resultado da aplicação do teste Tukey aos valores diferenciais das formas de fósforo entre o solo natural e após 60 dias de incubação.

	$\Delta=4,57(5\%)$	$\Delta=5,36(1\%)$	8,9(P-Al)	5,1(P-Sal)	3,4(P-Red)	2,3(P-Inorg)	1,3(P-Fe)	1,1(P-Total)	0,9(P-Resid)	0,1(P-Ca)	-0,25(P-Org)
-0,25	9,15**	5,35*	3,65	2,48	1,55	1,35	1,15	1,25	-		
0,1	8,8 **	5,0 *	3,3	2,2	1,2	1,0	0,8	-			
0,9	8,0 **	4,2	2,5	1,4	0,4	0,2	-				
1,1	7,8 **	4,0	2,3	1,2	0,2	-					
1,3	7,6 **	3,8	2,1	1,0	-						
2,3	6,6 **	2,8	1,1	-							
3,4	5,5 **	1,7	-								
5,1	3,8	-									

* = significativo ao nível de 5%;

** = significativo ao nível de 1%.

4.3.4 - Fósforo orgânico e fósforo total

Após o período de incubação o fósforo orgânico sofreu um decréscimo significativo, TABELA 9, estando de acordo com FRIEND & BIRCH (1960) que encontraram uma correlação negativa entre fósforo aplicado e conteúdo de fósforo orgânico. No presente caso, a diminuição do fósforo orgânico após o período de incubação, provavelmente seja devido a mineralização do fósforo orgânico por microorganismos dos solos, uma vez que a umidade dos solos foi mantida constante, mais ou menos a 1/3 atm, durante o período de incubação, o que pode ter favorecido a atividade dos microorganismos.

O fósforo total apresentou uma variação de 168,4 ppm a 228,69 ppm e o conteúdo de fósforo orgânico variando de 10,61 ppm a 41,19 ppm (TABELA 6). A participação percentual média do fósforo orgânico na formação total foi de 11,36%, (valor obtido da TABELA 6).

4.3.5 - Fósforo "disponível"

Os solos apresentaram um aumento altamente significativo (TABELA 9), de fósforo disponível após o período de incubação, cujos teores variaram de 51,7 a 83,6 ppm, com valor médio de 70 ppm (TABELA 6). Com base nestes resultados, embora os solos não tenham passados por qualquer tratamento adicional, e os obtidos por SILVA (1978), utilizando o mesmo método e os mesmos solos, pode-se afirmar que os solos respondem significativamente a adição de fertilizantes fosfatados no que se refere a disponibilidade de fósforo.

Adotando a metodologia utilizada por FROTA (1973) no estudo de fixação de fósforo em solos aluviais do Ceará, Brasil, verifica-se que a "fixação" nos solos estudados, variou de 18,7 ppm a 50 ppm, com valor médio de 32,6 ppm. Estes va-

lores não foram proporcionais a variação de pH, o que está de acordo com os estudos de ANASTACIO (1968), verificando que a acidez não é fator decisivo na "fixação".

4.4 - Variação das formas de fósforo após a colheita do material vegetal

As formas de "P-salóide", P-Al e P-Ca, sofreram uma diminuição significativa (TABELA 13).

O fósforo solúvel em redutor teve um aumento altamente significativo, sendo que nesta forma se encontra como fosfato de ferro III revestindo as partículas do solo. Isto demonstra que as formas relativamente mais solúveis de fosfato, com o tempo, vão se transformando em outras menos solúveis, como observaram também SYERS et alii (1971) e SHELTON & COLEMAN (1968). Possivelmente, também a variação das formas, "P-salóide", P-Al e P-Ca, seja devido a remoção de fósforo pela cultura, conforme já constatado por vários pesquisadores, FASSBENDER et alii (1968), PAYNE & HANNA (1965) e SING et alii (1966).

Em termos percentuais médios, as formas "P-salóide", P-Al, P-Ca e P-red., participaram na formação do fósforo inorgânico com 4,98%, 36,78%, 2,73% e 38,85%, respectivamente, (TABELA 12).

O fósforo disponível diminuiu significativamente (TABELA 13), devido possivelmente a diminuição nos teores das formas que atua o extrator usado para fósforo disponível, principalmente sobre o fósforo ligado ao alumínio e de acordo com BAHIA FILHO (1975) essa forma tem maior atividade relativa em relação as demais. Outro fator a considerar também, é a absorção vegetal. O conteúdo de fósforo disponível variou de 34,8 ppm a 13,1 ppm, com valor médio de 22,7 ppm, (TABELA 11).

O fósforo inorgânico e total diminuíram significativamente (TABELA 13), provavelmente esta variação, na sua maioria, seja devido a remoção do fósforo pela cultura. Os teores de fósforo inorgânico variaram de 143,19 ppm e 195,76 ppm, com valor médio de 169,48 ppm; o fósforo total apresentou uma variação de 151,36 ppm a 204,43 ppm, com valor médio de 184,93 ppm (TABELA 11).

As formas de P-Fe, P-residual e P-org., não sofreram variações significativas (TABELA 13).

O P-Fe e o P-residual participaram na formação do fósforo inorgânico com percentuais médios de 15,05% e 1,59%, respectivamente, (TABELA 12). O fósforo total dos solos após a retirada das plantas apresentou um valor médio 184,93 ppm, sendo 50,30% desse valor o correspondente ao existente no solo natural. A participação do fósforo orgânico na formação do fósforo total no solo natural, incubado e após colheita do material vegetal foram, respectivamente, 39,02%, 11,30% e 8,35% (valores obtidos das TABELAS 5, 7 e 11). Provavelmente essa diminuição decrescente no teor de fósforo orgânico, seja devida a mineralização do P-org. por microorganismos do solo, uma vez que nos dois últimos estágios (solo incubado e após retirada do material vegetal, os solos apresentavam um conteúdo satisfatório de umidade, favorecendo a atividade dos microorganismos. CHO & CALDWELL (1959) verificaram que o fósforo orgânico está relacionado com o conteúdo de matéria orgânica do solo e VIEIRA (1966, em solos da Amazônia, observou que o fósforo orgânico não possui, em geral, relação com o conteúdo de matéria orgânica.

Provavelmente, a variação não significativa verificada na fração P-Fe seja devido ao baixo teor de óxido de ferro, (TABELA 3), - $\%Fe_2O_3$ - existentes nos solos e a sua menor reatividade na retenção de fosfato em relação aos óxidos de alumínio como observaram FRANKLIN & REISENAUER (1960).

TABELA 11 - Distribuição das formas de fósforo nos solos após colheita do material vegetal.
Fortaleza, Ceará, Brasil, 1980.

Solos	"P. salóide"	P-Al	P-Fe	P-Red.	P-Ca ppm	P-Resid.	P-Inorg.	P-Org.	P-Total	P-Disp.
1	8,98	56,62	26,82	70,66	5,44	1,31	169,83	16,94	186,77	20,4
2	5,98	59,70	32,66	65,96	4,20	5,45	173,95	34,48	208,43	20,4
3	7,98	61,98	33,98	75,38	5,44	1,52	186,28	10,97	197,25	13,1
4	8,98	67,94	41,74	69,38	4,44	3,28	195,76	9,60	205,36	18,7
5	9,98	61,76	13,22	56,54	4,68	1,71	147,89	12,56	160,45	34,8
6	7,98	61,98	10,38	56,54	3,44	2,87	143,19	8,17	151,36	29,0
Médias	8,31	61,66	26,46	65,74	4,60	2,69	169,48	15,45	184,93	22,73

TABELA 12 - Distribuição percentual das frações inorgânicas de fósforo após a colheita do material vegetal.

Solos	"P-salóide"	P-Al	P-Fe %	P-red.	P-Ca	P-resid.
1	5,28	33,35	15,79	41,58	3,20	0,77
2	3,43	34,33	18,77	37,92	2,42	3,13
3	4,28	33,27	18,24	40,46	2,93	0,82
4	4,58	34,70	21,33	35,44	2,27	1,68
5	6,75	41,77	8,94	38,23	3,16	1,15
6	5,58	43,28	7,25	39,48	2,41	2,00
Médias	4,98	36,78	15,05	38,85	2,73	1,59

TABELA 13. - Teste de médias para avaliar a variação das formas de fósforo após colheita do material vegetal.

Formas de fósforo	Teste de Médias (ppm)		
	\bar{X}_1 (1)	\bar{X}_2 (1)	\bar{D} (2)
Solúvel em NH_4Cl	11,48	8,31	3,17 *
Ligado ao alumínio	81,57	61,66	19,91 **
Ligado ao ferro	26,46	24,76	1,70 n.s.
Solúvel em redutor	65,74	45,69	20,05 **
Ligado ao cálcio	6,68	4,60	2,08 **
Residual	6,51	2,69	3,82 n.s.
Inorgânico	176,70	169,48	7,22 *
Orgânico	22,52	15,45	7,07 n.s.
Disponível	70,00	22,70	47,30 **
Total	199,22	184,93	14,29 *

\bar{X}_1 = média após o período de incubação;

\bar{X}_2 = média após a colheita do material vegetal;

\bar{D} = média maior menos média menor;

n.s. = não significativo;

* = significativo ao nível de 5%;

** = significativo ao nível de 1%.

Os gráficos de 1 a 10, apresentam a distribuição das diversas formas de fósforo no solo natural, após o período de incubação e depois da retirada da cultura.

4.5 - Relação entre fósforo absorvido, massa seca e formas de fósforo dos solos

Da análise da TABELA 14, verifica-se a participação estimada do fósforo adicionado ao solo no fósforo total absorvido pelas plantas, colaborando em média com 77,93%, correspondendo em termos médios quantitativos a 8,75mg de P/vaso. Esta tendência demonstra uma resposta altamente significativa das plantas ao uso de fertilizantes fosfatados, principalmente porque os solos não tiveram qualquer tratamento adicional em termos de fertilidade. Contrariamente DEDATTA (1966) verificou que a participação do fósforo aplicado ao solo em relação ao absorvido teve uma variação de 8 a 27%, demonstrando que a maior parte do fósforo absorvido era devido ao fósforo nativo.

Como foi conduzido o trabalho e como observa KHASAWNEH (1971), a absorção de fósforo pelo vegetal é função do parâmetro quantidade, uma vez que o volume de solo explorado é limitado. Deve-se resaltar, todavia, que as plantas exploraram todo volume do solo e conseqüentemente tiveram todo o fósforo em condições de ser absorvido. Devido a imobilidade do fósforo, em condições de campo, nem todo o fósforo aplicado necessariamente estará em contacto com as raízes para a absorção. Acompanhando a mesma tendência, MC LEAN & LOGAN (1970) verificaram que em solos de baixa capacidade de fixação, aumentando o fósforo solúvel em água, aumentava o conteúdo de fósforo em plantas jovens de milho.

Das formas existentes nos solos, o fósforo absorvido se correlacionou significativamente ($r = 0,78$) com o P-Al/P-Fe. Com as demais formas não apresentou relação significativa, combinadas ou isoladamente.

Concordando com os resultados obtidos vários trabalhos tem enfatizado a participação do P-Al e P-Fe, combinados ou isoladamente, como as frações que mais contribuíram na absorção de fósforo pelo vegetal, (AL-ABBAS & BARBER (1964), PAYNE & HANNA (1965), CHANG (1965), SING et alii (1966), FASSBENDER et alii (1968) e BAHIA & BRAGA (1975)).

Não se apresentou relação significativa entre a massa seca e as formas de fósforo ativas, sugerindo que o pouco crescimento relativo seja devido a outros fatores além do suprimento de fósforo e provavelmente ao curto período de crescimento, uma tendência já observada por GUNARY & SUTTON (1967), verificando que a correlação entre fósforo absorvido e produção de matéria seca foi mais baixa quando a dosagem de fósforo era maior. Embora BAHIA & BRAGA (1975), tenham verificado que a produção de matéria seca fora influenciada principalmente pelo P-Al e RAUSCHKOLB (1963) verificou que a matéria seca se correlacionou com o "P-salóide", não ocorrendo a mesma relação com as outras formas ativas de fósforo, combinadas ou isoladamente.

Observando-se a variação de fósforo total existente no solo na ocasião do plantio e após a colheita de material vegetal (TABELAS 6 e 11), verifica-se uma diferença significativa, a qual explica também a diferença significativa entre a quantidade de fósforo absorvido pelas plantas, do solo adubado e sem adubação (TABELA 14). De acordo com FOX et alii (1974), de um modo geral, a produção máxima de milho está

associada a uma concentração de fósforo de 0,6 ppm na solução do solo e BALDOVINO & THOMAS (1967) encontraram especificamente para latossolos argilosos uma concentração de 0,07 ppm.

TABELA 14 - Participação do fósforo do solo e do fertilizante na formação do fósforo total da planta. Fortaleza, Ceará, Brasil, 1980.

Solos	Produção (g/vaso)		Fósforo Total Absorvido (mg/vaso)		% de P-Absorvido		Fósforo Absorvido do KH_2PO_4 (mg/vaso)	Eficiência KH_2PO_4 (%)
	Solo Natural	Solo Incubado	Solo Natural	Solo Incubado	Fósforo Nativo	Fósforo do Fertilizante		
1	7,6	9,2	2,36	10,49	22,5	77,5	8,13	1,4
2	9,9	12,8	2,48	9,09	27,3	72,7	6,61	1,1
3	10,10	13,4	1,29	11,26	11,5	88,5	9,97	1,7
4	10,50	10,6	2,63	8,37	31,4	68,6	5,74	0,95
5	10,8	12,2	3,24	16,47	19,7	80,3	13,23	2,2
6	8,9	11,0	2,23	11,10	20,0	80,0	8,87	1,5

5 - CONCLUSÕES

Os resultados obtidos permitiram concluir o que se segue:

- (1) Não existiu diferença significativa na retenção de fósforo entre os diversos solos, mas houve diferença significativa no destino do fertilizante aplicado. A fração P-Al foi a principal responsável pela retenção de fósforo dos solos;
- (2) A adição de fertilizante provocou, na sua maioria, alterações significativas nas diversas formas de fósforo existente nos solos, sendo que as formas P-Al, P-Fe e P-red., foram responsáveis em mais de 80% pela formação do fósforo inorgânico dos solos. Com o tempo, o fósforo aplicado, tende a transformar-se em formas menos solúveis, o que deve ser levado em consideração para programas de fertilidade de solo;
- (3) O fósforo orgânico diminuiu significativamente após aplicação do fertilizante, ocorrendo, nesta situação, uma correlação negativa entre fósforo orgânico e fósforo total;
- (4) Após a aplicação do fertilizante o fósforo disponível aumentou significativamente, porém após a colheita das plantas, houve redução do elemento, ocasionado possivelmente pela diminuição das formas em que atua o extrator usado e devido a absorção pelo vegetal. Mesmo sendo significativa a absorção de fósforo pela planta, não houve um correspondente aumento de massa seca;

- (5) Houve uma diminuição significativa do fósforo total do solo após 30 dias de desenvolvimento da cultura causada pela absorção de fósforo pelas plantas;
- (6) Estimou-se a participação do fertilizante com 77,9% na formação do fósforo absorvido, demonstrando que os solos respondem significativamente ao uso de adubos fosfatados referente a disponibilidade de fósforo para as plantas;
- (7) O fósforo absorvido correlacionou-se significativamente com as frações P-Al/P-Fe, combinados e com as demais formas esta relação não se verificou.

6 - ABSTRACT

The purpose of this study was to gain additional knowledge regarding the different forms of phosphorus in six soils of Ibiapaba, Ceará, Brazil, and their behavior after fertilization and cropping. The total phosphorus, the several inorganic fractions, and the available form were determined by the methods described by JACKSON (1958), CHANG and JACKSON (1957) modified by PETERSEN and COREY (1966) and North Carolina respectively. The content of P in plants was determined using LOTT et al. (1956) method.

The average of P in soils was 93.14 ppm being 37.50 ppm in organic form (38.3%) and 56.64 ppm as inorganic P (61.7%). The content of P soluble in NH_4Cl , P-Al, P-Fe, P-occluded, and P-Ca were 1.95 ppm, 9.65 ppm, 10.84 ppm, 24.22 ppm and 6.88 ppm respectively.

All soils fixed similar amount of P of 60 days after applications of 100 ppm of $\text{P-KH}_2\text{PO}_4$, but in different forms, most (85.91%) linked to Al and Fe.

The phosphorus absorbed by corn plants was related principally to P-Al and P-Fe, combined.

7 - LITERATURA CITADA

- AL-ABBAS, A.H. & BARBER, S.A. A soil test for phosphorus based upon fractionation of soil phosphorus. I - Correlation of soil phosphorus fraction with plant-available phosphorus. SOIL SCIENCE SOC. AMER. PROC. 28(2):218-21, 1964.
- ANASTACIO, M.L.A. Fixação de fósforo nos solos brasileiros. Rio de Janeiro, EPE, 1968. 13p. (Bol. Tec., 4).
- ANDERSON, G. & MALCOLM, R.E. The nature of alkali-soluble soil organic phosphates. THE JOURNAL OF SOIL SCIENCE, 25(3):282-97, 1974.
- AWAN, A.B. & RICHER, H.C. Fractionation of soil phosphorus in four Jordan plot soils. SOIL SCIENCE, Baltimore, 98(3):204-5, 1964.
- BAHIA, A.F.C. & BRAGA, J.M. Fósforo em latossolo do Estado de Minas Gerais III - Índice de disponibilidade de fósforo e crescimento vegetal. EXPERIENTIAE, 20(8):218-34, 1975.
- BAHIA FILHO, A.F.C. Fósforo em latossolo do Estado de Minas Gerais: Intensidade, capacidade tampão e quantidade de fósforo, fósforo disponível e crescimento vegetal. Viçosa, Minas Gerais, 1975. 68p. Tese (M.S.), Universidade Federal de Viçosa.
- BALDOVINOS, S.F.Q. & THOMAS, S.G.W. The effect of soil clay and phosphorus up take. SOIL SCI. SOC. AMER. PROC., 31:680-82, 1967.

- BARROW, N.J. Phosphorus in soil organic matter. SOIL AND FERTILIZERS, 34:169-73, 1961.
- BLACK, C.A. Soil-plant relationship. New York, John Wiley & Sons, 1968, 792p.
- BRAGA, J.M. & DEFELIPO, B.V. Relação entre formas de fósforo inorgânico, disponível e material vegetal em solos sob vegetação de cerrado I - Trabalhos de Laboratório. REVISTA CERES, Viçosa, 19(102):124-36, 1972.
- BROMFIELD, S.M. Relative contribution of iron and aluminum in phosphate sorption by acid soil. NATURE, Lond., 201:321-2, 1964.
- BRAY, R.H. Requiriments for a sucessful soil test. SOIL SCIENCE, 66:83-9, 1948.
- CHANG, S.C. Aplication of phosphorus fractionation to the study of the chemistry of available phosphorus. SOIL FERTILITY, Taiwan, 1-15, 1965.
- CHANG, S.C. & CHU, W.K. The fate of soluble phosphate aplied to soils. JOURNAL SOIL SCIENCE, Oxford, 12(2):286-93, 1961.
- CHANG, S.C. & JACKSON, M.L. Fractionation of soil phosphorus. SOIL SCIENCE, 84(2):134-44, 1957.
- CHANG, S.C. & JACKSON, M.L. Soil phosphorus in some representative soils. THE JOURNAL OF SOIL SCIENCE, Oxford, 9(1):109-19, 1958.
- CHANG, S.C. & JUO, S.R. Available phosphorus in relation to forms of phosphate in soils. SOIL SCIENCE, Baltimore, 95(2):91-6, 1963.
- CHO, C.M. & CALDWELL, A.C. Form of phosphorus and fixation in soils. SOIL SCI. SOC. AMER. PROC., 23(6):458-60, 1959

- COLEMAN, N.T., THORUP, J.T. & JACKSON, A.W. Phosphate sorption reactions that involve exchangeable aluminum. SOIL SCIENCE, 90:1-7, 1960.
- DAHNIKE et alii. Phosphorus fractions in selected soil profiles of El Salvador as related to their development. SOIL SCIENCE, 37:343-55, 1964.
- DEAN, L.A. The fixation of soil phosphorus. Ad. Agronomy, 1:390-411, 1949.
- DEDATTA, S.K. et alii. Phosphorus supplying capacity of lowland rice soils. SOIL SCIENCE SOC. AMER. PROC., 30 (5):613-17, 1966.
- ENWEZOR, W.O. Significance of the C: organic phosphorus ratio in the mineralization of soil organic phosphorus. SOIL SCIENCE, 103(1):62-6, 1967.
- FASSBENDER et alii. Estudio des phosphorus em suelos de America Central. II Formas e su relación com las plantas. TURRIALBA, 18(4):333-47, 1968.
- FASSBENDER, H.W. Descripción fisico-química del sistema fertilizante fosfato-suelo planta. TURRIALBA, Costa Rica, 16(3):237-46, 1966.
- FOX, R.L. et alii. Comparative external phosphorus requirements of plants growing in tropical soil. TENTH INT. CONGR. SOIL SCI. (Moscow), 4:232-39, 1974.
- FRANKLIN, W.T. & REIS NAUER, H.M. Chemical characteristics of soil related to phosphorus fixation and availability. SOIL SCIENCE, Baltimore, 90:192-200, 1960.
- FRIEND, M.T. & BIRCH, N.F. Phosphate responses in relation to soil test and organic phosphorus. JOURNAL AGRICULTURE SCIENCE, 54:341-2, 1960.

- FROTA, J.N.E. Fixação de fósforo em solos aluviais. CIÊNCIA AGRONOMIA, 3(1/2):89-94, 1973.
- GHANI, M.O. & ISLAM, M.A. Phosphate fixation in acid soils and its mechanism. SOIL SCIENCE, 62:293-305, 1946.
- GUNARY, D. & SUTTON, C.D. Soils factors affecting plant uptake of phosphate. THE JOURNAL OF SOIL SCIENCE, 18(1):167-73, 1967.
- HECK, A.P. Phosphate fixation and penetration in soils. SOIL SCIENCE, 37:343-55, 1934.
- HSU, P.H. Adsorption of phosphate by aluminium and iron in soils. SOIL SCI. SOC. AMER. PROC., Madison, 28(4):474-8, 1964.
- HSU, P.H. Fixation of phosphate by aluminum and iron in acid soils. SOIL SCIENCE, 99(6):394-402, 1965.
- INCLAN, R.S. & BENEVIDES, E.C., & LEITE, F.R.B. Levantamento de reconhecimento semi-detalhado dos solos da Região da Ibiapaba. Convênio SUDENE/SUDEC. p. 350, 1979.
- JACKSON, M.L. "Soil chemical analysis". Englewood, New Jersey, Prentice-hall, Inc., 1958.
- KAILA, A. Organic phosphorus in Finish soils. SOIL SCIENCE, 95(I):38-44, 1963.
- KAMPRATH, E.J. Phosphorus 138-161pp. In. P.A. Sanchez(ed), "A Review of soils Research in Tropical Latin America". North Carolina Agr. Exp. Sta. Bull. 219, 1973a.
- KHASAWNEH, F.E. Solution ion activity and plant growth. SOIL SCI. SOC. AMER. PROC., 35(3):426-35, 1971.
- KITRICK, J.A. & JACKSON, M.L. Common ion effect on phosphate solubility. SOIL SCIENCE, 79 (6):415-21, 1955.

- LARSEN, S. Soil phosphorus. ADVANCE AGRON., New York, 19:151-212, 1967.
- LINDSAY et alii. Solubility criteria for the existence of varescite in soils. SOIL SCI. SOC. AMER. PROC., 23(3): 357-70, 1959.
- LOTT et alii. A Técnica da análise foliar aplicada ao café-eiro. São Paulo, IBEC Research Institute, 1956. 40p. (Bol. Tec., 9).
- MARTIN, J.K. & CARTWRIGHT, B., 1971 apud DALAL, R.C. Soil organic phosphorus (EN). Advance in Agronomy, 29:83-117, 1977.
- MC LEAN, E.O. & LOGAN, T.J. Sources of phosphorus for plants grown in soils with differing phosphorus fixation tendencies. SOIL SCIENCE SOC. AMER. PROC., 34(6):907-11, 1970.
- PAYNE, H. & HANNA, W.J. Correlation among soil phosphorus fractions, extractable phosphorus and plant content of phosphorus. J. AGRIC. ED. QHEM., Whashington, 13:322-6, 1965.
- PERKINS et alii. Phosphorus fixation by soil separates and factions. SOIL SCIENCE, 53(1):37-41, 1942.
- PETERSEN, G.W. & COREY, R.B. A modified Chang an Jackson procdure for routine fractionation of inorganic soil phosphates. SOIL SCI. SOC. AMER. PROC., 30(5) : 563-5, 1966.
- RAUSCHKOLB, R.S. Phosphorus fractions in some Arizona soils U.S.A., 1963. 66p. Tese (M.S.) University of Arizona.

- SHELTON, J.E. & COLEMAN, N.T. Inorganic phosphorus fractions on their relationship, to residual value of large applications of phosphorus on high phosphorus fixing soils. SOIL SCI. SOC. AMER. PROC., Madison, 32(1):91-4, 1968.
- SILVA, G.R. Métodos de laboratório na avaliação do fósforo disponível em solos do Estado do Ceará. Fortaleza, 1978. 41p. (Tese MS) Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará.
- SINGH, R.N. et alii. Plant availability and form of residual phosphorus in Davidson clay loam. SOIL SCI. SOC. AMER. PROC., 30(5):617-20, 1966.
- SYERS, J.K. et alii. Phosphate sorption parameters of representative soils from Rio Grande do Sul, Brazil. SOIL SCIENCE, 112:267-75, 1971.
- THOMPSON, L.M. et alii. Occurrence and mineralization of organic phosphorus in soils, with particular reference to associations with nitrogen, carbon and ph. SOIL SCIENCE, 77:185-96, 1954.
- TISDALE, S.L. & NELSON, W.L. "Soil fertility and fertilizers". New York, Macmillan, 1975. 195p.
- UDO, E.J. & OGUNWALE, J.A. Phosphorus fractions in selected nigerian soils. SOIL SCI. SOC. AMER. PROC., Madison, 41(6):1141-6, 1977.
- VELLOSO, A.C.X. Phosphate solubility in andosols and oxisols. Riverside, 1969. (Tese). Univ. California.
- VIEIRA, L.S. Ocorrência e forma de fósforo em solos da Amazônia, Brasil. Turrialba, 1966. 110p. Tese (M.S.) Instituto Interamericano da OEA.

- WESTIN, F.C. & BRITO, J.G. Phosphorus fractions of some Venezuelan soils as related to their stage of wheat ring. SOIL SCIENCE, 107(3):194-202, 1969.
- WIER, D.R. & BLACK, C.A. Soil organic phosphorus and plant growth III - Availability coefficient of mineralized organic phosphorus. SOIL SCIENCE, Baltimore, 106(4):265-9, 1968.
- WILLIAMS, C.H. et alii. Carbon, Nitrogen, Sulphur and phosphorus in some Scottish soils. JOURNAL SOIL SCIENCE, 11:334-46, 1960.
- WILLIAMS, C.H. & STEINBERGS, A. Sulphur and phosphorus in Eastern Australian soils. AUST. J. AGR. RES. 9:483-91, 1958.

A P Ê N D I C E

Figuras de 1 a 10

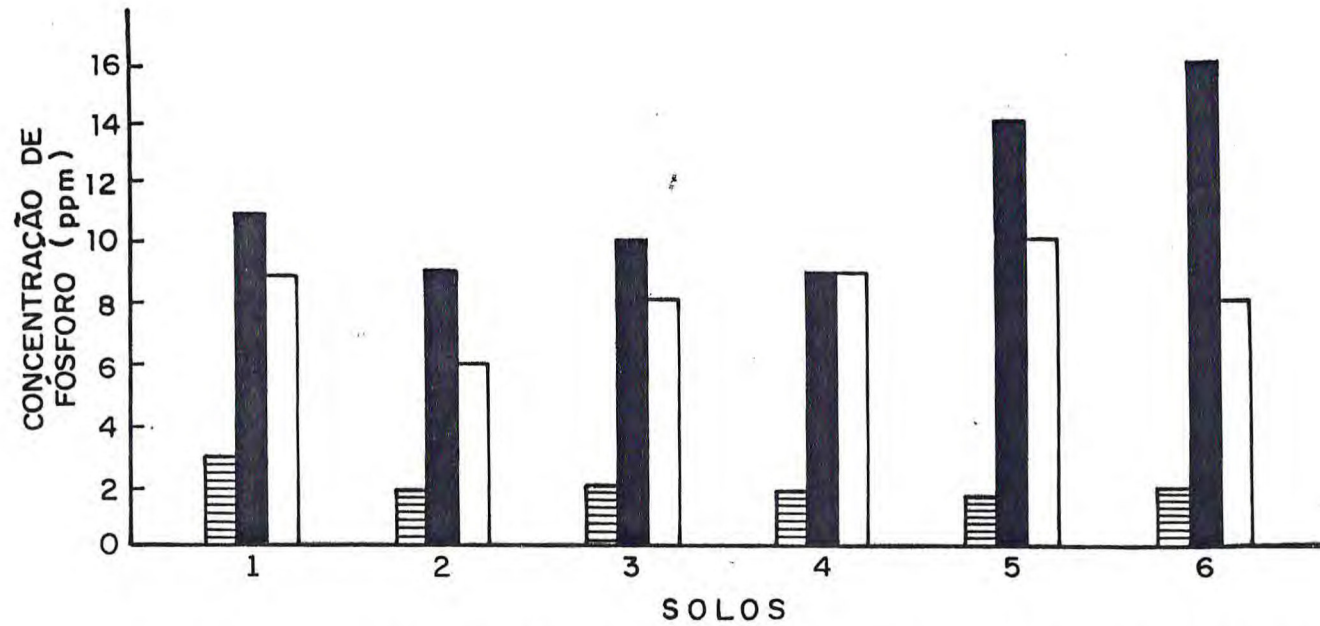





FIGURA 1 - Distribuição do fósforo solúvel em NH_4Cl no solo natural, incubado e após colheita do material vegetal.

-  SOLO NATURAL
-  SOLO INCUBADO
-  SOLO INCUBADO PÓS-PLANTÍO

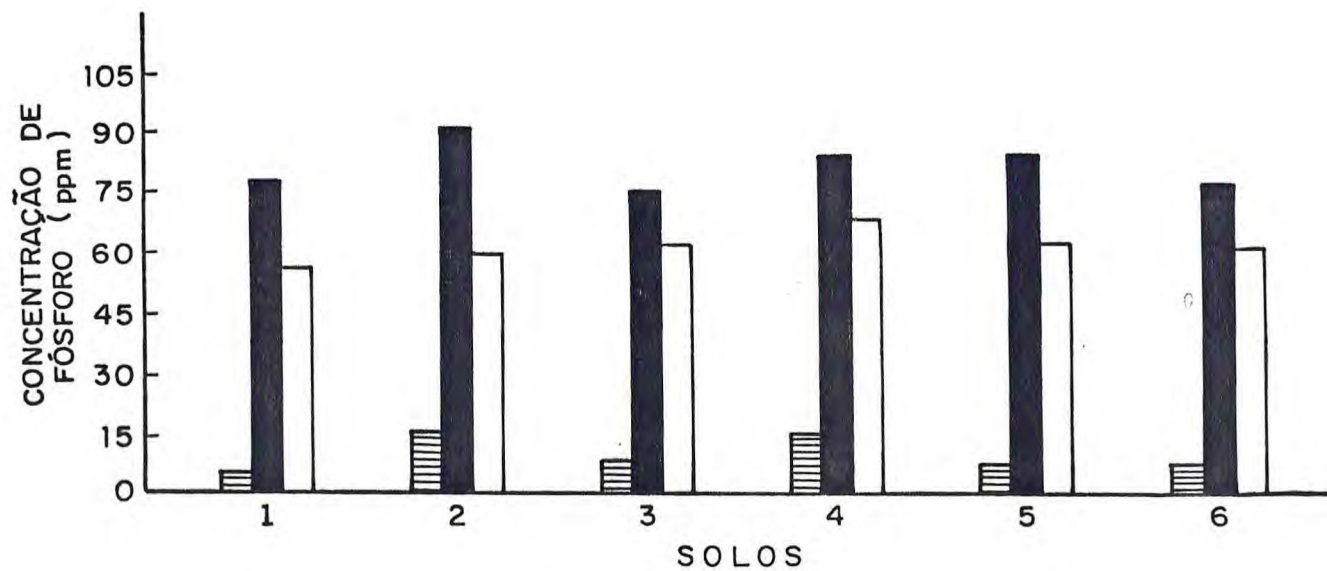





FIGURA 2 - Distribuição do fósforo ligado ao alumínio no solo natural, incubado e após a colheita do material vegetal.

-  *SOLO NATURAL*
-  *SOLO INCUBADO*
-  *SOLO INCUBADO PÓS-PLANTIO*

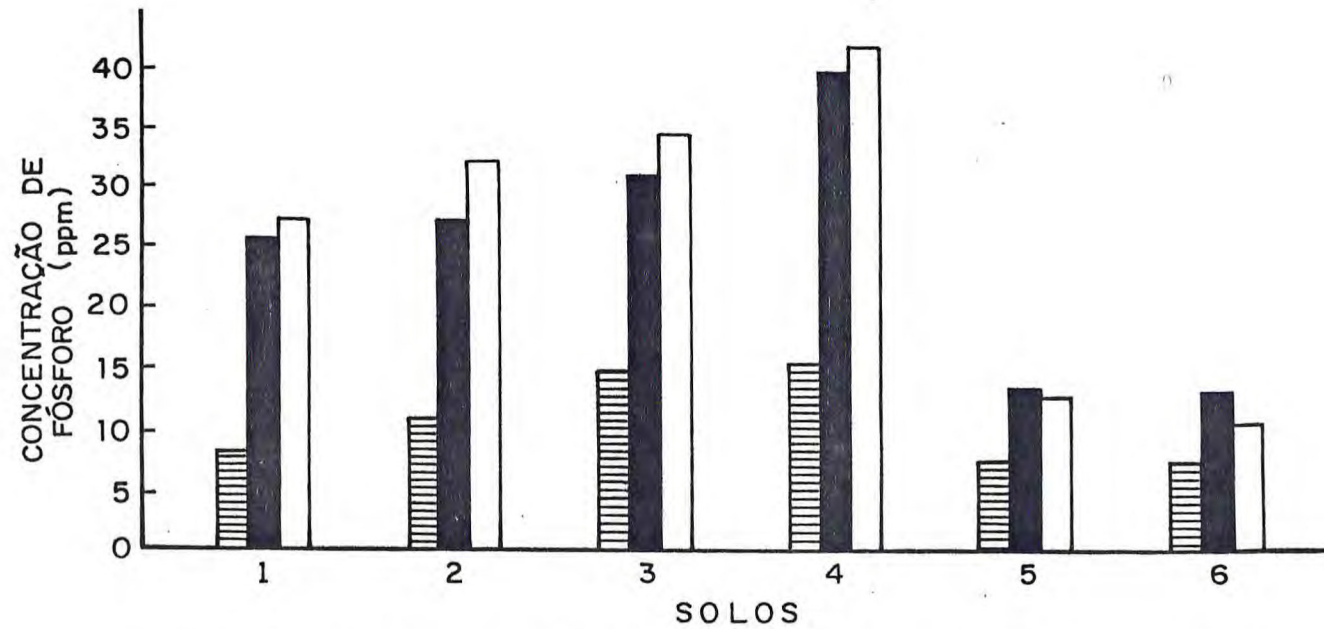





FIGURA 3 - Distribuição do fósforo ligado ao ferro no solo natural, incubado e após a colheita do material vegetal.

-  *SOLO NATURAL*
-  *SOLO INCUBADO*
-  *SOLO INCUBADO PÓS-PLANTÍO*

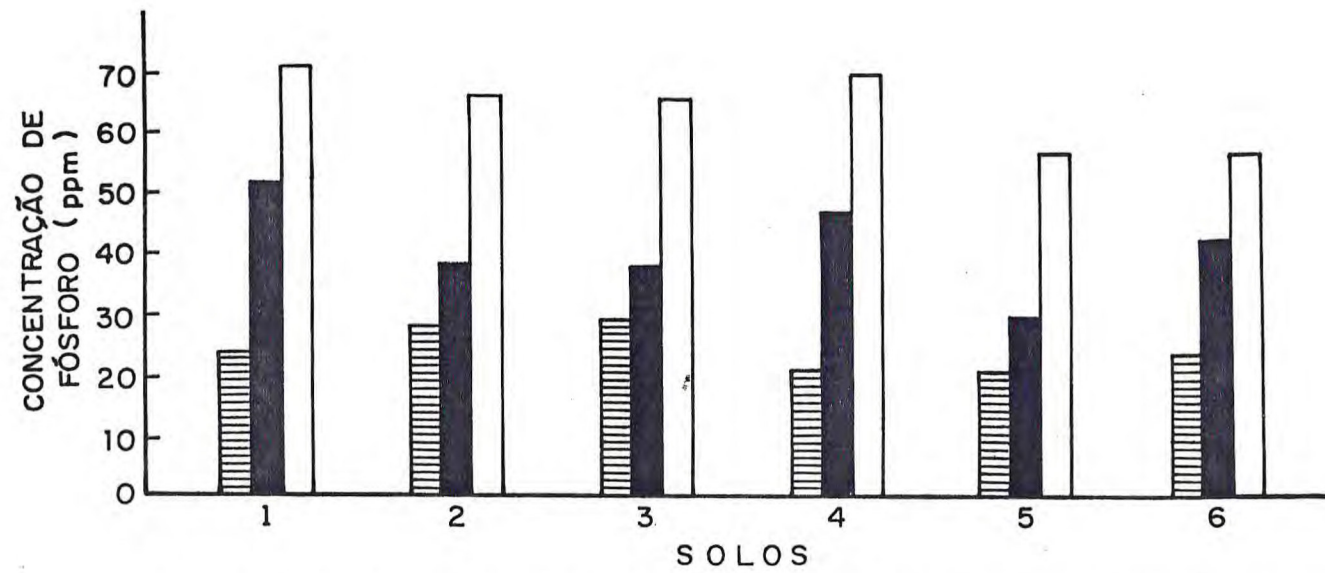





FIGURA 4 - Distribuição do fósforo solúvel em redutor no solo natural, incubado e após a colheita do material vegetal.

-  SOLO NATURAL
-  SOLO INCUBADO
-  SOLO INCUBADO PÓS-PLANTÍO

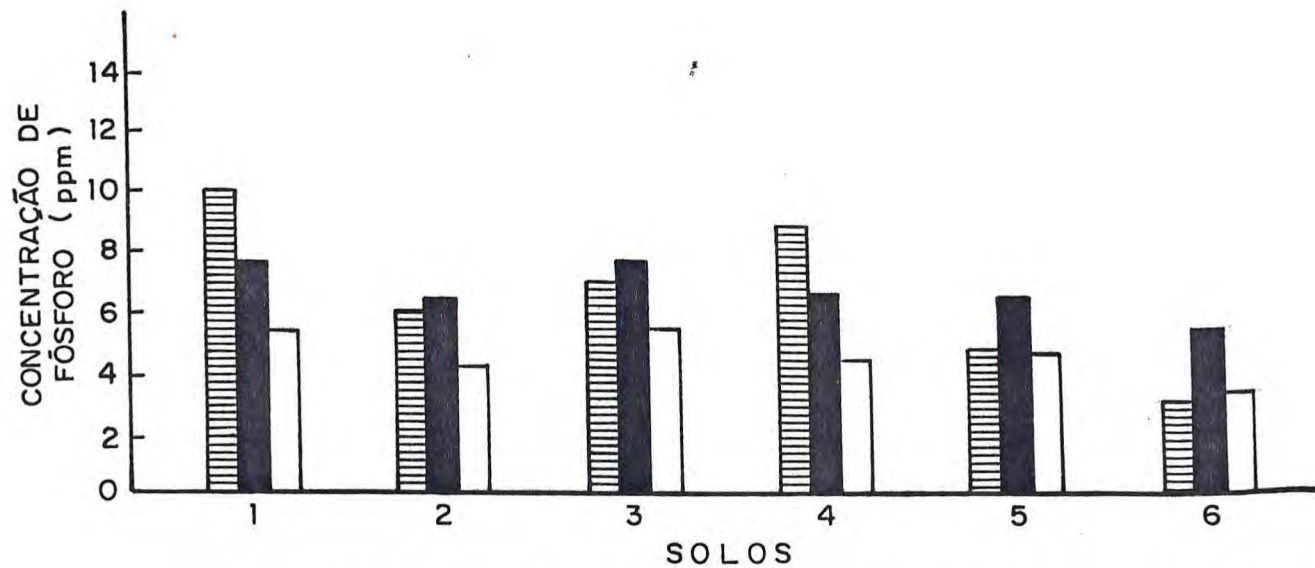





FIGURA 5 - Distribuição do fósforo ligado ao cálcio no solo natural, incubado e após a colheita do material vegetal.

-  SOLO NATURAL
-  SOLO INCUBADO
-  SOLO INCUBADO PÓS-PLANTIO

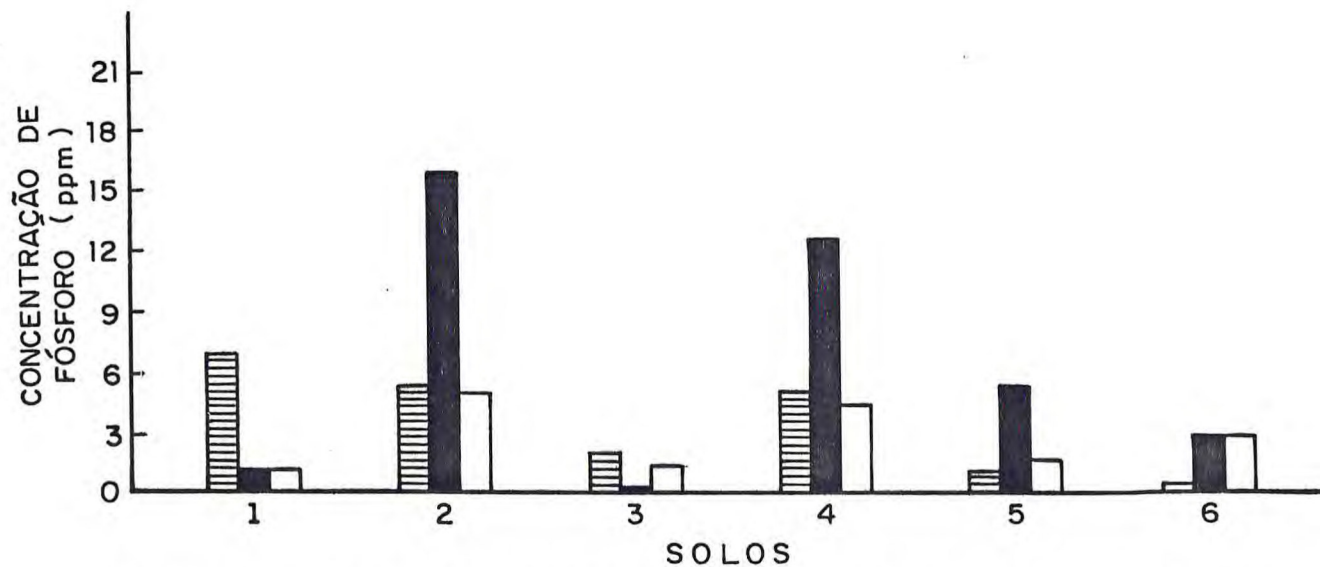


FIGURA 6 - Distribuição do fósforo residual no solo natural, incubado e após a colheita do material vegetal.

- ▨ *SOLO NATURAL*
- *SOLO INCUBADO*
- *SOLO INCUBADO PÓS-PLANTIO*

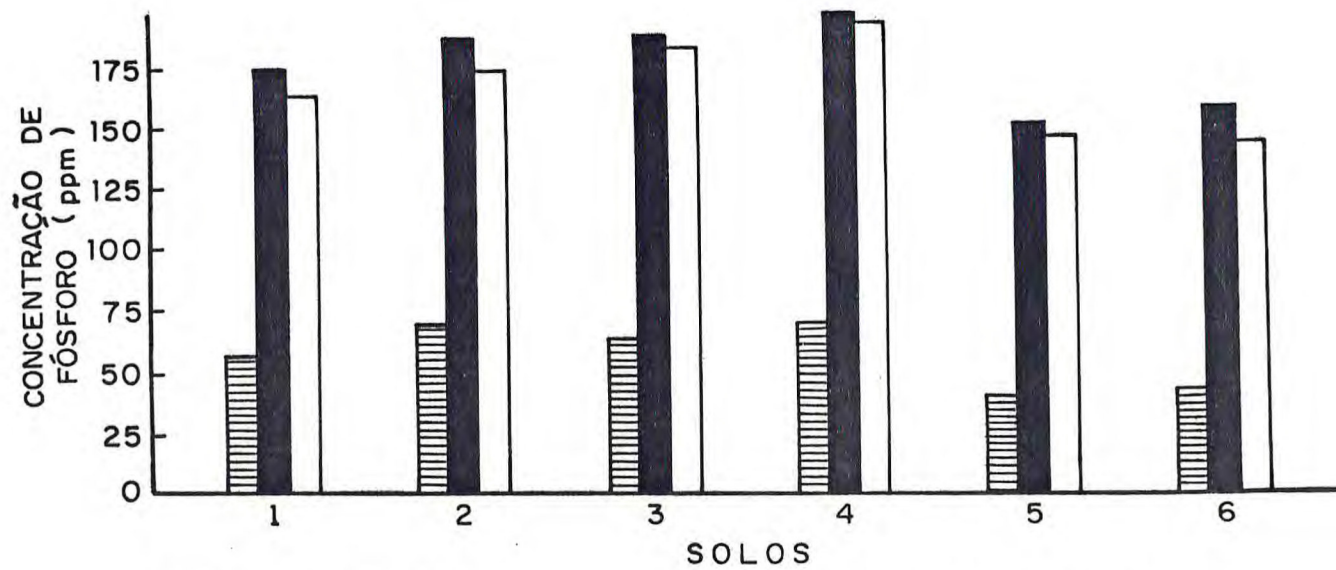





FIGURA 7 - Distribuição do fósforo inorgânico no solo natural, incubado e após a colheita do material vegetal.

-  *SOLO NATURAL*
-  *SOLO INCUBADO*
-  *SOLO INCUBADO PÓS-PLANTIO*

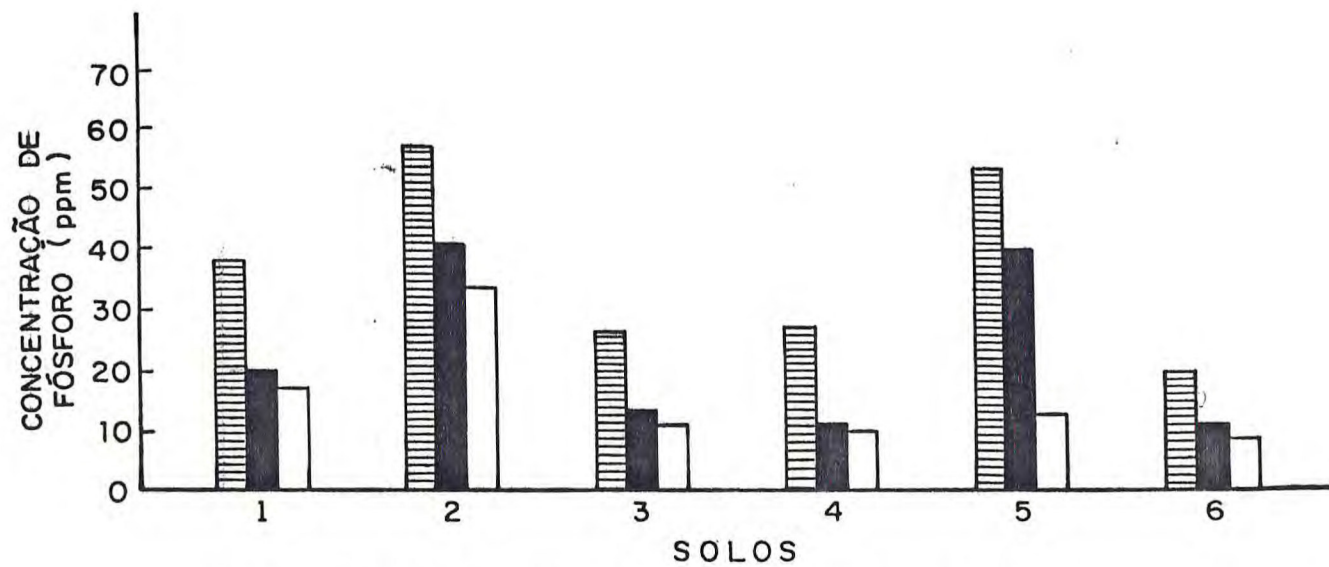





FIGURA 8 - Distribuição do fósforo orgânico no solo natural, incubado e após a colheita do material vegetal.

-  SOLO NATURAL
-  SOLO INCUBADO
-  SOLO INCUBADO PÓS-PLANTIO

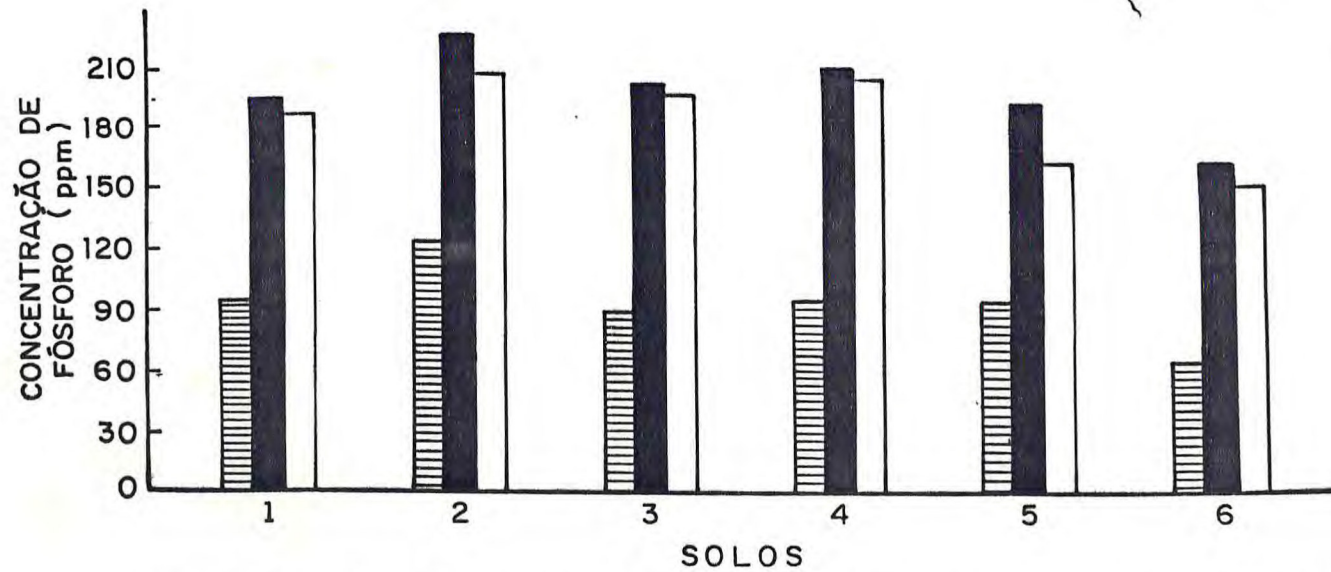





FIGURA 9 - Distribuição do fósforo total no solo natural, incubado e após a colheita do material vegetal.

-  SOLO NATURAL
-  SOLO INCUBADO
-  SOLO INCUBADO PÓS-PLANTIO

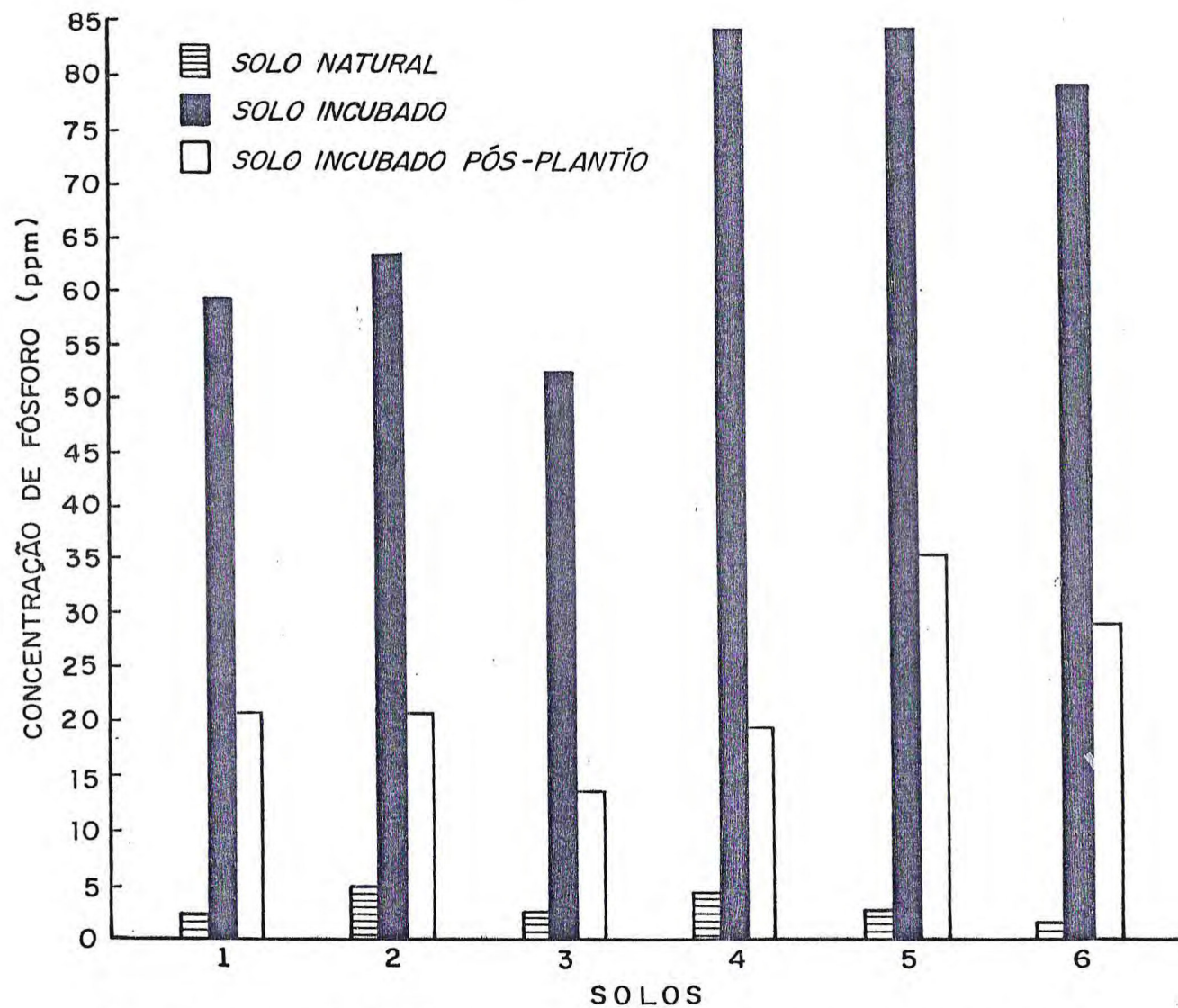


FIGURA 10 - Distribuição do fósforo disponível no solo natural, incubado e após a colheita do material vegetal.