

FRACIONAMENTO DO FÓSFORO DA CAMADA ARÁVEL DE SEIS PERFIS
DAS UNIDADES DE SOLOS MAIS REPRESENTATIVAS DA REGIÃO
DA IBIAPABA, CEARÁ, BRASIL.

por

Raimunda Inácia da Costa

Dissertação apresentada ao Departamento de Engenharia Agrícola e Edafologia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para a obtenção do Grau de "Mestre em Ciência do Solo".

Fortaleza-Ceará-BRASIL

1979

DECLARAÇÃO DE APROVAÇÃO

A presente dissertação, elaborada pelo Engenheiro Agrônomo RAIMUNDA INÁCIA DA COSTA, sob o título "Fracionamento do Fósforo da Camada Arável de Seis Perfis das Unidades de Solos mais Representativas da Região da Ibiapaba Estado do Ceará" foi aprovada na forma dos artigos 98 e 99 das Normas para os Cursos de Pós-Graduação, Especialização e Aperfeiçoamento da Universidade Federal do Ceará.

Fortaleza, 14 de Dezembro de 1979.

Prof. Lindbergue Araújo Crisóstomo
- ORIENTADOR -

Prof. Mardônio Aguiar Coêlho

Prof. José Ferreira Alves

Prof. Luiz Gonzaga Rebouças Ferreira

À memória de meu pai
DEDICÓ

À minha mãe Joana
Aos meus irmãos
OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

À SUPERINTENDÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO DO ESTADO DO CEARÁ (SUDEC) pela oportunidade concedida para a realização de nosso Mestrado na pessoa do ex-superintendente, EDUARDO BEZERRA NETO e do atual, MOACIR BEZERRA FREIRE.

Ao Banco do Nordeste do Brasil, pela ajuda financeira.

Ao Prof. LINDBERGUE ARAÚJO CRISÓSTOMO, pela assistência e amizade durante o desenvolvimento do presente trabalho.

À coordenação do Curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal do Ceará (UFC), na pessoa do Prof. MARDÔNIO AGUIAR COELHO, pelas facilidades oferecidas à execução desta pesquisa e atenção.

Aos professores JOSÉ HIGINO RIBEIRO DOS SANTOS, JOSÉ FERREIRA ALVES e LUIZ GONZAGA REBOUÇAS FERREIRA, pelos esclarecimentos e sugestões apresentadas.

À colega e amiga MARCELINA pela amizade e colaboração.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

CONTEÚDO

| | <u>Página</u> |
|---|---------------|
| 1. - RESUMO | 1 |
| 2. - INTRODUÇÃO | 3 |
| 3. - REVISÃO DA LITERATURA | 5 |
| Formas de fósforo no solo | 5 |
| Fósforo inorgânico | 7 |
| Fósforo fracamente adsorvido | 8 |
| Fósforo ligado ao alumínio | 9 |
| Fósforo ligado ao ferro | 10 |
| Fósforo ligado ao cálcio | 10 |
| Fósforo solúvel em redutor | 11 |
| Fósforo ocluso ao alumínio e ferro | 11 |
| Distinção entre fosfato de alumínio e fosfa to de ferro | 16 |
| Importância dos fosfatos de ferro, de alumí nio e de cálcio | 18 |
| Fósforo Orgânico | 18 |
| 4. - MATERIAL E MÉTODO | 21 |
| Solo | 21 |
| Análises das formas de fosfatos | 21 |
| Procedimento usado para extração e determinação das frações de fósforo no solo | 23 |
| Estudo de correlação | 24 |

| | |
|---|----|
| 5. - RESULTADOS E DISCUSSÃO | 27 |
| Características gerais dos solos | 27 |
| Formas de distribuição do fósforo | 29 |
| Fósforo total | 29 |
| Fósforo orgânico | 31 |
| Formas de fósforo inorgânico | 34 |
| Fósforo fracamente adsorvido | 34 |
| Fósforo ligado ao alumínio | 34 |
| Fósforo ligado ao ferro | 38 |
| Fósforo solúvel em redutor | 39 |
| Fósforo ligado ao cálcio | 39 |
| Fracionamento de fósforo adicionado | 40 |
| 6. - CONCLUSÕES | 44 |
| 7. - SUMMARY | 46 |
| 8. - LITERATURA CITADA | 47 |

LISTA DE QUADROS

| <u>Quadro</u> | | <u>Página</u> |
|---------------|---|---------------|
| 1 | Classificação, formação geológica e material originário de seis perfis das unidades de solos mais representativas da Região da Ibiapaba, Ceará, Brasil | 22 |
| 2 | Seqüência das extrações, frações inorgânicas de fósforo, símbolo usado e reagentes utilizados para obtenção de cada fração | 25 |
| 3 | Características físicas e químicas da camada arável (0 - 25cm) de seis perfis das unidades de solos mais representativas da Região da Ibiapaba, Ceará, Brasil | 28 |
| 4 | Teores de fósforo total, fósforo inorgânico, fósforo orgânico em relação ao fósforo total da camada arável (0 - 25cm) de seis perfis das unidades de solos mais representativas da Região da Ibiapaba, Ceará, Brasil | 32 |
| 5 | Distribuição das frações de fósforo inorgânico, fósforo orgânico, fósforo residual e fósforo total da camada arável (0 - 25cm) de seis perfis das unidades de solos mais representativas da Região da Ibiapaba, Ceará, Brasil | 35 |
| 6 | Fósforo inorgânico e distribuição percentual de suas frações na camada arável (0 - 25cm) de seis perfis das unidades de solos mais representativas da Região da Ibiapaba, Ceará, Brasil | 36 |

QuadroPágina

- 7 Teores das diversas frações de fósforo inorgânico, fósforo inorgânico, fósforo residual e fósforo total da camada arável (0 - 25cm) após incubação por 30 dias com 100ppm de fósforo de seis perfis das unidades de solos mais representativas da Região da Ibiapaba, Ceará, Brasil

41

LISTA DE FIGURAS

Figura

Página

- 1 Localização de seis perfis das unidades de solos mais representativas da Região da Ibiapaba, Ceará, Brasil

1. - RESUMO

O fracionamento do fósforo foi conduzido em amostras da camada arável de seis perfis das unidades de solos mais representativas da Região da Ibiapaba, Ceará, Brasil, objetivando o conhecimento das frações de fósforo nos solos virgens e fertilizados com fosfato.

O fósforo total foi analisado utilizando-se o método de JACKSON (1958) e os fosfatos inorgânicos foram fracionados seguindo-se a metodologia de CHANG & JACKSON (1957) com as modificações de PETERSEN & COREY (1966). Todos os solos apresentaram baixo conteúdo de fósforo total, devido ao seu material originário ser pobre em fosfato e seus valores variaram entre 58 e 123ppm. Por diferença entre o teor de fósforo total e o fósforo inorgânico foi obtido o valor de fósforo orgânico de cada solo o qual contribuiu em média com 42,88% do fósforo total.

Os fosfatos de alumínio, constituíram a fração inorgânica mais importante das formas ativas de fósforo dos solos estudados, alcançando, em média, 18% dos fosfatos inorgânicos apresentando valores extremos de 4 e 13ppm. A distribuição de cada uma das frações no conteúdo do fósforo inorgânico apresentou em média as seguintes percentagens em ordem crescente: P-Saloide (3,65%), P-Ca (8,84%), P-Fe (15,86%),

P-Al (18,32%), P-Solúvel em redutor (54,75%). Também a aplicação de 100ppm de fósforo na forma de KH_2PO_4 seguida de incubação por um período de trinta dias, proporcionou acréscimo nas diversas frações do fósforo inorgânico, mostrando a predominância do fósforo ligado ao alumínio sobre as outras frações.

2. - INTRODUÇÃO

Ultimamente, um aspecto que tem despertado o interesse de muitos pesquisadores é o que se refere à análise química para avaliação dos nutrientes do solo.

O fósforo é um dos elementos sobre o qual tem recaído com insistência a atenção dos estudiosos, pela complexidade do seu estado, dinâmica nos solos e pela importância de sua presença em forma assimilável. Contudo, pouca atenção tem sido dada à distribuição das várias formas químicas do fósforo inorgânico no solo. Uma explicação para o fato, é que devido a sua complexidade, acrescida pela existência de parte importante do elemento combinado à matéria orgânica, tem dificultado o desenvolvimento de métodos analíticos de aceitação geral. Assim, um método que extraísse fósforo combinado com o cálcio, ferro ou alumínio em proporções similares ao absorvido pelas plantas, proporcionaria o melhor índice da disponibilidade de fósforo para as plantas (CHANG & JACKSON 1957). A técnica de fracionamento do fósforo no solo, desenvolvido por esses pesquisadores tem sido largamente empregada com a finalidade de relacionar formas de fósforo no solo com métodos de extração e absorção pelas plantas.

No que diz respeito, especificamente, aos fosfatos orgânicos, estes se acumulam nos solos em forma de resíduos vegetais e de animais superiores e inferiores e consistem principalmente em fitina, ácidos nucleicos e fosfolípidios. Sua importância reside na alta proporção que ocorrem em certos solos e que através de sua mineralização passam a ser utilizáveis pelas plantas. Os trabalhos relativos a caracterização analítica desta fração do fósforo são bastante limitados; em decorrência da metodologia existente, pois nenhum dos métodos disponíveis é considerado satisfatório.

A presença de uma ou outra forma e sua predominância no solo, depende dos fatores físicos, químicos e biológicos reinantes no sistema em que se desenvolve um determinado solo.

O conhecimento das formas químicas específicas dos fosfatos inorgânicos é, contudo, importante para compreensão da química do fósforo do solo, bem como nos estudos da gênese e fertilidade do solo (CHANG & JACKSON 1958).

O objetivo do presente estudo é analisar o conteúdo total do fósforo destes solos, suas diferentes formas químicas e verificar quais as frações de fósforo mais influenciadas em função da aplicação deste elemento na forma de fosfato. O conhecimento das formas químicas de fósforo dos solos da Ibiapaba representa ademais, uma contribuição aos programas de desenvolvimento agrícola do Estado do Ceará.

3. - REVISÃO DA LITERATURA

Formas de fósforo no solo

Os fosfatos nos solos são derivados do ácido ortofosfórico (H_3PO_4), e podem ser divididos em duas grandes categorias: fosfatos inorgânicos e orgânicos BLACK (1968). Já RUSSEL & RUSSEL (1968), admitiram além das categorias antes citadas, o fósforo na solução do solo.

De acordo com HEMWALL (1957), os fosfatos inorgânicos quase que exclusivamente, são formados por sais do ácido ortofosfórico. Esses sais, geralmente podem ser classificados como fluor, oxi e hidroxifosfatos de ferro, alumínio, cálcio, titânio, magnésio. Segundo CHANG & JACKSON (1957), estes fosfatos compreendem quatro grupos principais: fosfatos de cálcio, de alumínio, de ferro e fosfatos solúveis em redutores, após remoção das três formas anteriores. Por outro lado, RUSSEL & RUSSEL (1968), classificaram-os apenas em dois grupos: os que tem cálcio e os que tem ferro e alumínio em sua composição. No grupo calcítico são considerados os fosfatos mono, di, tri e octacálcico, hidroxí, cloro e fluorapatita. Já no grupo fosfatos de ferro e alumínio destacaram-se: variscita, estrengita, vivianita e esturenita.

A proporção de fósforo nas duas categorias orgânica e inorgânica varia bastante. O fósforo orgânico tende a aumentar ou diminuir com o teor de matéria orgânica do solo. Geralmente valores mais baixos são encontrados no sub-solo e os altos na superfície (BLACK 1968). Para HEMWALL (1957) e FASSBENDER et alii (1968), os fosfatos orgânicos consistem principalmente de fosfolipídios, ácidos nucleicos, fosfatos de inositol, fosfatos metabólicos e fosfoproteínas. Em geral esses compostos são provenientes de resíduos de animais e vegetais superiores ou inferiores e são mineralizados lentamente a ortofosfato. BLACK (1968) e TISDALE & NELSON (1970) concordaram com os dois autores acima citados apenas quanto às três primeiras formas. Trabalho realizado por LARSEN (1967), reporta que os fosfatos orgânicos são inertes e constituem 20% a 80% de fósforo total do solo.

A disponibilidade de um íon no solo, pode ser definida como a quantidade deste íon que é liberada por unidade de tempo da fase sólida à solução e posta à disposição das plantas, WIKLANDER (1950) citado por CABALA & FASSBENDER (1970), propôs o seguinte esquema para o fósforo do solo: fósforo da solução, fósforo lábil e fósforo não lábil. A partir deste esquema, é possível derivar os fatores intensidade, velocidade e capacidade. O autor em questão, considera que o fator intensidade corresponderia ao fósforo solúvel da solução do solo e também ao fósforo lábil; ou seja ao fósforo disponível num determinado momento, uma vez que o fósforo lábil passaria rapidamente à solução. O fator velocidade indicaria a maior ou menor facilidade com que a fração menos solúvel faria seu aporte à solução do solo, a fim de compensar a absorção deste elemento pelas raízes. O fator capacidade seria representado pelo fósforo lentamente solúvel e que constitui a reserva deste elemento no solo. Insere-se também nesta linha, trabalho de LARSEN (1967), que discorda da conceituação dos fatores antes

citados, restringindo a intensidade ao fósforo presente na solução, enquanto que o fator capacidade seria constituído pelo fósforo lábil e sem inclusão do fósforo lentamente solúvel. Além dos fatores acima descritos WILLIAMS (1967), acrescentou o fator mobilidade, o qual inclui os fenômenos envolvidos na dissolução do fósforo associado com a fase sólida. Nos estudos de SALMON (1966), a relação intensidade/quantidade teve grande efeito sobre a disponibilidade de fósforo.

A concentração de fósforo na solução do solo varia segundo RUSSEL & RUSSEL (1968) de 0,1 a 1µg/ml e constitui a fonte de suprimento para as plantas, apresentando-se este elemento nas formas iônicas do ácido ortofosfórico $H_2PO_4^-$, HPO_4^{2-} e PO_4^{3-} , de conformidade com a reação do meio. Quando o pH é superior a 7 a concentração do ion divalente é superior à concentração do ion monovalente. TISDALE & NELSON (1970), afirmam por sua vez, que a absorção de $H_2PO_4^-$ pelas raízes é dez vezes mais rápida do que a do HPO_4^{2-} .

Fósforo Inorgânico

A natureza dos compostos inorgânicos de fósforo no solo, não pode ser determinada por métodos diretos, tais como, análises de raios X, métodos óticos e análise termodiferencial, sem haver conhecimento prévio da concentração.

Vários métodos têm sido idealizados para a determinação dos fosfatos inorgânicos presentes no solo. Contudo, a base química dos diferentes métodos de fracionamento destes fosfatos é tida como discutível. Merece ser ressaltado que estas técnicas se fundamentam nos seguintes pressupostos: os ácidos diluídos dissolveriam todos os fosfatos existentes, com exceção das apatitas; as soluções concentradas de ácidos dissolveriam as apatitas; os fluoretos deslocariam o fósforo dos óxidos hidratados de alumínio e, com um subsequente trata

mento com solução alcalina, se retirariam os óxidos hidrata dos de ferro; as soluções redutoras, contendo um agente com plexante de ferro, dissolveriam a camada de óxido de ferro, de modo a liberar o fósforo que se encontra em forma oclusa, que é extraído subsequentemente com solução alcalina. O hidro gênio nascente é usado como redutor, os tartaratos, citratos ou oxalatos, como agentes complexantes (RUSSEL & RUSSEL, 1968).

A metodologia de CHANG & JACKSON (1957), de uso mais frequente, enquadra-se plenamente dentro dos pressupos tos citados. Ela foi elaborada para avaliar as diferentes fra ções inorgânicas, para verificar o grau de desenvolvimento do solo, para predizer a disponibilidade e conhecer as reservas de fósforo do solo. Os autores acima citados englobaram diver sos métodos de extrações consecutivas de fósforo, estudando várias formas como: fósforo fracamente adsorvido, fósforo li gado ao alumínio, fósforo ligado ao ferro, fósforo ligado ao cálcio, fósforo solúvel em redutor e formas oclusas de fósfo ro ligado ao alumínio e ferro.

No fracionamento é essencial além da obediência às concentrações dos reagentes, a observância na seqüência da determinação de uma forma em particular. Percebe-se que não é possível individualizar a terceira forma sem que as duas ante riores tenham sido determinadas. Entretanto, em virtude de vá rias fontes de erros, este método tem sofrido uma série de mo dificações e causado muitas polêmicas principalmente em torno da extração com fluoreto de amônio. O método original de CHANG & JACKSON (1957) com as modificações sugeridas descreve as se guintes formas de fósforo.

Fósforo fracamente adsorvido

A primeira fração envolve o fósforo solúvel em água e aquele que está frouxamente ligado ao solo, cujo extra

tor é uma solução normal de cloreto de amônio. Os teores de fósforo nesta fração são muito baixos mas, seu conhecimento se faz necessário.

Fósforo ligado ao alumínio

A obtenção desta fração tem sido feita com o uso do fluoreto de amônio 0,5N a pH 7. Uma das explicações da seletividade do fluoreto se deve à reação com alumínio, formando um complexo fluor aluminato de amônio conforme a reação proposta por CHANG & JACKSON (1965), $(Al(OH)_3 + 6MF \rightarrow AlF_6 + 3MOH)$, onde M é cátion complementar do fluor. Verifica-se que o fósforo adsorvido ao alumínio, por exemplo $Al(OH)_2H_2PO_4$ (variscita), se liberado, poderá formar o fosfato de alumínio. A reação anterior é válida também para o fósforo ligado ao ferro. Isto significa que a adição da solução de fluoreto de amônio também extrai aquela fração do fósforo, não podendo, desta maneira, caracterizar somente a fração fósforo ligado ao alumínio, a menos que se use uma correção. Os autores do método propõem dois modos de correção: (a) fazer uma segunda extração e a quantidade de ferro nela existente seria subtraído do P-Al da primeira e somado à terceira extração; (b) tomar 10% do teor de P-Al na primeira extração, subtrair do teor de P-Al e somar ao teor da terceira fração. Esta fase tem sido muito criticada por outros pesquisadores. Assim, FIFE (1959), propôs o uso do fluoreto de amônio pH 8,5 com 24 horas de agitação e uma alteração para 1:200 na relação solo: solução. SMITH (1965) e depois SYERS & WALKER (1969), advogaram que há necessidade de modificar o pH para 8,5 a fim de se ter uma delimitação mais clara entre as formas de fósforo ligadas ao ferro e ao alumínio. PETERSEN & COREY (1966), também alteraram o método apenas no que concerne ao pH que foi de 8,2 mas o tempo de agitação continuou de uma hora como no método original. WILLIAMS et alii (1967), fizeram correção do fósfo

ro ligado ao alumínio, adicionando à solução extratora, uma quantidade de fósforo conhecida. Comparando-se a quantidade de fósforo obtida sem e com adição de fósforo, torna-se possível determinar a quantidade deste elemento que foi adsorvida usando um fator de correção (S). Nos casos de linearidade, a correção será:

$$P-Al = P \text{ determinado na solução} \times \frac{1}{1 - S}, \text{ onde}$$

$$S = 1 - \frac{\text{diferença no nível de P}}{100}$$

SMITH (1965), usou o método da regressão linear para determinar a relação entre quantidades crescentes de fósforo na solução e o fósforo remanescente. A quantidade de fósforo real é obtida por extrapolação.

Fósforo ligado ao ferro

Esta fração é obtida com hidróxido de sódio 0,1N após terem sido obtidas as frações anteriores. A razão desta preferência de deslocamento, baseia-se principalmente no comportamento idêntico do fósforo e hidroxilas, havendo deslocamento daquela, através de substituição por hidroxilas. Este reagente não diferencia o fósforo adsorvido ao alumínio ou ferro sendo, pois, necessária a separação da fração anterior.

Fósforo ligado ao cálcio

Esta fração é determinada usando-se o ácido sulfúrico 0,5N como extrator. Alguns pesquisadores têm usado o ácido clorídrico ao invés do ácido sulfúrico na obtenção desta fração, mas esta modificação tem tido poucos adeptos. No método original de CHANG & JACKSON (1957), a fração P-Ca vem como a quarta fração. Entretanto trabalhos de GLENN et alii

(1959), mostraram que o ácido sulfúrico 0,5N extrai também fósforo solúvel em redutor (fração seguinte), todavia, os extratores desta fração não têm ação sobre o fósforo ligado ao cálcio. Daí usar-se a inversão na ordem de extração das frações.

Fósforo solúvel em redutor

Com a extração das formas de fósforo fracamente adsorvida, solúvel em fluoreto de amônio, solúvel em hidróxi do de sódio, solúvel em ácido sulfúrico - esquema original de CHANG & JACKSON (1957) - o fósforo do solo ainda se encontra como fosfato de ferro III revestindo as partículas do solo. Desta maneira, a eliminação desta película liberta o fósforo sendo este denominado fósforo solúvel em redutor. O tratamen to é específico para o fosfato de ferro II, sendo mínima a quantidade de fósforo como fosfato de alumínio. Esta fração é obtida usando um redutor (ditionito de sódio), em tampão (bi carbonato de sódio) para manter o meio básico e oferecer con dições para que a ação do ditionito seja efetiva e um agente complexante (citrato de sódio) que irá formar complexos com Fe^{+2} e Fe^{+3} , liberados no processo. Desta maneira, o fósforo ficará em solução, podendo ser determinado.

Fósforo ocluso ao alumínio e ferro

Estas formas de fósforo são determinadas com fluo reto de amônio e hidróxido de sódio, os mesmos reagentes para formas de P-Al e P-Fe. São portanto, denominadas formas oclu sas para expressar a teoria de que as duas últimas frações es tão no interior das partículas dos óxidos de ferro e de que as primeiras extrações não dissolveram.

Baseado no critério de solubilidade, BLACK (1968), cita três métodos para obter informações a respeito das formas inorgânicas do solo. O primeiro consiste em equilibrar, por exemplo, vários solos e minerais fosfatados conhecidos com soluções de diferente pH. Compara-se a curva da concentração de fósforo na solução com o pH depois de estabelecido o equilíbrio e logo confronta-se as formas das curvas dos solos com as correspondentes aos padrões minerais. Sabe-se que fosfatos de cálcio são mais solúveis em ácido clorídrico diluído do que em hidróxido de sódio, ao contrário dos fosfatos de ferro e alumínio. A solubilidade dos fosfatos está relacionada com o pH do solo original. Os solos alcalinos geralmente apresentam curva similar à da apatita e os solos ácidos assemelham-se aos fosfatos de ferro e alumínio. O segundo método consiste em extrações consecutivas do fósforo no solo, com diferentes soluções. O método mais usado é o proposto por CHANG & JACKSON (1957), descrito anteriormente. Segundo este autor, uma solução ácida diluída extrai principalmente fosfato de cálcio, uma solução básica diluída extrai fosfato de ferro e alumínio e uma solução neutra de fluoreto extrai fosfato de alumínio e em menor quantidade fosfato de ferro. Finalmente, um terceiro método para extrair as formas de fósforo inorgânico e através da comparação dos produtos das atividades iônicas, calculadas para soluções em equilíbrio com o solo, com as constantes do produto de solubilidade para minerais fosfatados conhecidos. Se os dados obtidos coincidem, infere-se a presença desse fosfato no solo.

Estudos de determinações de fosfatos inorgânicos, usando a metodologia de CHANG & JACKSON (1957), foram conduzidos por vários pesquisadores. Por exemplo, CHANG & JACKSON (1958) e HAWKING & KUNZE (1965), verificaram que em solos jovens predominam os fosfatos cálcicos, nos mediamente desenvolvidos, predominam proporções balanceadas das diferentes formas e nos solos maduros predominam os fosfatos de ferro e solú

veis em redutor e oclusos. Também CHANG & JACKSON (1957 e 1958), DAHNKE et alii (1964), FASSBENDER (1966) RYAN & STROEHLEIN (1973), constataram que em solos neutros ou alcalinos há pre dominância de fosfatos cálcicos e nos solos ácidos a predomi nância é de fosfatos de ferro e alumínio. WILLIAMS & WALKER (1969), observaram que com o aumento do grau de intemperismo, a fração P-Ca diminuiu rapidamente até valores extremamente baixos, enquanto a fração P-Al aumentou, decrescendo logo em seguida. Por sua vez aumentaram também as frações fósforo so lúvel em redutor, fósforo ligado ao ferro e o fósforo residual. Já HSU & JACKSON (1960) estudaram a influência das condições hídricas do solo, na distribuição dos fosfatos inorgânicos. Ve rificaram que no caso de hidromorfismo predominam os fosfatos de ferro. SENGUPTA & CORNFIELD (1962) investigaram o efeito do conteúdo de carbonato de cálcio dos solos sobre as formas de fosfatos. Suas investigações não detectaram nenhum efeito significativo sobre a quantidade de fosfato de cálcio e fosfa to de ferro, porém a fração fosfato de alumínio apresentou uma correlação negativa altamente significativa. LAGOS (1963) de terminou as diferentes frações de fosfatos em solos utiliza dos para o cultivo da cana-de-açúcar, correlacionando-as com o grau de meteorização dos mesmos. DAHNKE et alii, (1964) utiliza ram este método (CHANG & JACKSON - 1957), na determinação de fos fatos em 17 perfis de El Salvador e encontraram uma grande de pendência entre formas e o grau de desenvolvimento do solo. CARVAJAL et alii (1965), utilizaram entre outros critérios, a determinação de fosfato de cálcio, alumínio e ferro para ava liar a fertilidade dos solos da Costa Rica utilizado para o cultivo da cana-de-açúcar. MANNING & SALOMON (1965), usaram também esta técnica em solos tratados com rochas fosfatada e superfosfato. Verificaram que as frações fosfatadas ligadas ao alumínio e ao ferro foram aumentadas com a aplicação de super fosfato, enquanto as rochas fosfatadas aumentaram a fração fos fato de cálcio. Já as frações oclusas e orgânicas não foram

grandemente beneficiadas com estas fontes de fosfato aplicadas. Também em (1965), HAWKINS & KUNZE pesquisaram nove solos do Texas e chegaram à conclusão de que os sais livres, particularmente sais solúveis, afetam as percentagens de distribuição do P-Ca e P-Al. FASSBENDER et alii (1968) realizaram, na América Central, cerca de 110 fracionamentos para estabelecer as relações entre as formas de fósforo no solo e o absorvido pelas plantas. Já CABALA & FASSBENDER (1970) estudaram estas formas de fósforo, em 8 solos da região cacauzeira da Bahia, usando a metodologia acima descrita, com as modificações sugeridas por CHANG, CHU & ERH (1966) que facilitam consideravelmente a determinação da fração solúvel em redutor e fosfato ocluso. Foram encontrados nestes solos correlações quadráticas entre o conteúdo total de fósforo e as frações orgânicas e inorgânicas. Esses pesquisadores analisaram também, nesta região, em 1970, as formas de fósforo em 54 amostras, a fim de explicar a deficiência e a resposta do cacauzeiro à aplicação de fósforo. Verificaram que a presença de fosfatos solúveis em redutores oclusos e de fosfatos de ferro originou deficiências nas plantas da área.

FASSBENDER & DIAZ (1970) conduziram estudos sobre o conteúdo total de fósforo e suas diferentes formas químicas em oito séries de solos do Estado do Maranhão, utilizando na determinação do fósforo total o método de MEHT et alii e para o fósforo inorgânico o método de CHANG & JACKSON, (1957). Observaram que nestes solos predominam os fosfatos inertes ou oclusos e os solúveis em redutor. A contribuição dos fosfatos de alumínio, ferro e cálcio foi muito baixa, enquanto a dos fosfatos solúveis em cloreto de amônio foi relativamente alta. Na Costa Rica, FASSBENDER (1972) determinou as diferentes categorias de fosfatos em solos classificados como aluviais, andosolos e latossolos. Para a fração inorgânica, verificaram predominância dos fosfatos de alumínio nos andosolos,

fosfatos de ferro nos aluviais e latossolos, enquanto os fosfatos cálcicos apresentaram baixo teor em todos os solos estudados.

Alguns autores têm encontrado uma influência da textura do solo sobre os fosfatos inorgânicos. Assim SCHEFFER e colaboradores (1960) citados por FASSBENDER (1972), verificaram que com o aumento do tamanho das partículas do solo (fração areia), a proporção dos fosfatos cálcicos se eleva. DUTRA & BRAGA (1976), estudaram solos de uma toposequência e constatarem que a posição do perfil na toposequência altera a quantidade das frações de fósforo inorgânico.

HALSTEAD (1967), afirma que o fósforo nativo e residual na forma de fosfato de alumínio é geralmente mais disponível às plantas em solos levemente ácidos e próximo a neutralidade do que o fósforo na forma de fosfato de ferro e de cálcio. Segundo AL-ABBAS & BARBER (1964) e SING et alii (1966), o fósforo residual nas formas de fosfato de ferro e de cálcio é geralmente disponível às plantas, dependendo de vários fatores como: modo de extração, pH do solo, drenagem e teor da matéria orgânica. Assim, solos ricos em fosfatos de ferro de pH próximo à neutralidade são capazes de fornecer suprimentos adequados de fósforo às plantas. De acordo com CHU et alii (1962), os solos que melhor respondem à aplicação de rochas fosfatadas são aqueles com baixo teor de ferro livre. Neste caso, o fósforo ligado ao cálcio tem alto poder supridor do elemento em questão. SHELTON & COLEMAN (1968) afirmam que a capacidade de fixação de fósforo resulta, em muitos solos, numa menor disponibilidade e maior valor residual. A fim de obterem dados sobre crescimento vegetal, fósforo absorvido e crescimento relativo, BRAGA & DEFELIPO (1972) estudaram as relações entre formas de fósforo inorgânico, disponível e o vegetal. Verificaram que a fração P-Al foi a que melhor apresentou relação com o peso do material, percentagem de fósforo no

material vegetal e fósforo absorvido. UDO & OGUNWALE (1977), estudaram a distribuição do fósforo total, fósforo orgânico e várias formas de fósforo inorgânico de seis perfis de solos da Nigéria, de diferentes zonas ecológicas e geológicas. Para o fósforo inorgânico utilizaram o procedimento de CHANG & JACKSON (1957), usando as modificações de CHANG (1962) e de PETERSEN & COREY (1966). Dos resultados obtidos verificaram que o fósforo total foi geralmente baixo, o fósforo orgânico apresentou-se baixo nos solos da zona de Savana e alto nos solos da região de floresta. Para a fração inorgânica, a contribuição maior foi dos fosfatos de ferro, exceto em dois solos onde predominou o fosfato de alumínio e um outro onde o fosfato de cálcio foi mais importante do que o P-Al. Verificaram que a alta percentagem de fósforo ocluso e residual e o baixo nível de fósforo ativo indicou um alto grau de intemperismo. Nos estudos foram feitos por MCKENZIE *et alii* (1977) a fim de investigarem a distribuição do fósforo nativo em alguns solos tropicais do Oeste da África. Os resultados analíticos indicaram que o fósforo total variou de 70 a 420ppm, a forma solúvel em redutor atingiu 15% do fósforo total e as frações extraídas com fluoreto de amônio compreenderam 6 e 12% do fósforo total.

Distinção entre fosfato de alumínio e fosfato de ferro

A base para a distinção entre estas frações é de que os fosfatos de alumínio são completamente dissolvidos em solução de fluoreto a pH 7,0, pela formação de complexos de AlF^3 , enquanto os fosfatos de ferro são fracamente afetados pelo fluoreto neste valor de pH.

A relativa insolubilidade do fosfato de ferro ao fluoreto de alumínio, pode ser atribuída à atividade da carga triplíce do anion PO_4^{3-} que fica dez vezes maior com o aumento

de cada unidade de pH (KHIN & LEEPER 1960). CHANG & JACKSON (1957) acreditam que aproximadamente 10% de fosfato de ferro é dissolvido pelo fluoreto de amônio e, propõe então, que 10% da concentração de fósforo obtida com o hidróxido de sódio se ja subtraída daquela obtida com o fluoreto e adicionada ao hi dróxido de sódio. É óbvio, entretanto, que essa proporção de 10% não deve ser aplicada a todos os solos SMITH (1965). FIFE (1959a / 1959b) em estudo com sistema artificial e posterior mente com vários solos, concluiu que o fluoreto de amônio 0,5N a pH 7,0 não é aconselhável para se estudar as formas de fósforo ligadas ao alumínio, sugerindo então, o uso de fluoreto de amônio suficientemente alcalino (pH 8,5 e 24 horas de agi tação) para inibir a resorção de fosfato pelos óxidos livres de ferro e alumínio. CHANG & CHU (1961), examinando solos de Taiwan, demonstraram que o pH do fluoreto de amônio variando de 7,0 a 8,5 não afetou significativamente a quantidade de fósforo extraído. Todavia os óxidos de ferro adsorvem fósforo com menos intensidade quando o pH é aumentado de 7,0 para 8,5 (KHIN & LEEPER 1960). Desta maneira, algumas formas de fósfo ro ligadas ao alumínio podem ser estimadas como fósforo liga do ao ferro. Em consequência, diversos pesquisadores têm devo tado atenção à busca de um fator de correção para o fósforo extraído pelo fluoreto de amônio 0,5N. A correção usada por FIFE & WILLIAMS, SYERS & WALKER (1967) e BROMFIELD 1970, com prova que a resorção é proporcional à adsorção de uma pequena quantidade de fósforo adicionada, quando nas mesmas condições de extração. Com base no acima exposto, FIFE (1955), verifi cou que o fósforo extraído de três solos foi subestimado em 22 a 27%. SMITH (1965), verificou que aumentando a concentra ção de fósforo, a percentagem de recuperação de fósforo adi cionado também aumenta. Dessa forma, a correção sugerida ante riormente não é válida. BROMFIELD (1970) contesta as correções anteriores em virtude da possibilidade de não se obter respos tas lineares. Posteriormente SMITH (1972), contesta observa ções de BROMFIELD (1970), reafirmando seu método.

Importância dos fosfatos de ferro, de alumínio e de cálcio

A predominância de cada uma destas formas de fosfato fica na dependência do pH, do produto de solubilidade dos diversos fosfatos, dos cations presentes no solo e do grau de intemperização do mesmo (CHANG & JACKSON 1958).

Sendo a fração solúvel em água muito pequena, as demais formas de fósforo devem contribuir para a nutrição das plantas. Nesta linha de pesquisa, FASSBENDER et alii (1968), evidenciaram a participação dos fosfatos solúveis em cloreto de amônio 1N, em solos onde havia predominância de ferro e alumínio. Já para solos com predominância de cálcio, obtiveram participação significativa ao nível de 1% para fósforo solúvel em cloreto de amônio 1N e de 5% para as frações de fosfato de alumínio e cálcio.

Fósforo orgânico

Conforme vimos anteriormente, as principais formas na qual o fósforo orgânico existe no solo são fosfolípidos ácidos nucleicos e inositol. Sua quantidade e distribuição, depende principalmente da velocidade de acumulação e da velocidade de mineralização da matéria orgânica do solo. A participação desta fração no fósforo total varia dentro de amplos limites; segundo BLACK & GORING (1953), varia entre 2,6 a 75%, já AWAN (1964); BORNEMISZA & IGUE (1967); FRIEND & BIRCH, (1960), verificaram que em solos tropicais excede as vezes esse valor. FULLER & McGEORGE (1951), estudando solos do Arizona, verificaram que dos dezoito solos testados, o fósforo orgânico compreendeu de 20 a 50% do fosfato total. Já BARROW (1961), mostrou que os solos alcalinos contêm menos fósforo na matéria orgânica que os solos ácidos testados. Também FASSBENDER et alii (1968), estudando solos ácidos encontraram uma correlação significativa entre pH em cloreto de cálcio e

a participação da fração orgânica no fósforo total. Por sua vez UDO & OGUNWALE (1977) observaram grande variação do fósforo entre os solos estudados. Na zona de Savana estes teores foram geralmente baixos compreendendo 7 a 25% do fósforo total, enquanto na de floresta foram altos, situando-se entre 16 e 73% de fósforo total.

Com relação à metodologia, têm sido feitas tentativas para desenvolver métodos analíticos menos empíricos para quantificarem os fosfatos orgânicos do solo. Entre os métodos empregados, WILLIAMS et alii (1960) utilizaram o de ignição e o de extração alcalina desenvolvidos por SAUNDERS & WILLIAMS (1955), e constataram que ambos foram satisfatórios. Contudo, o método de extração alcalina tendeu a dar valores mais baixos. Também WILLIAMS et alii (1967) empregaram uma outra técnica removendo primeiramente o fósforo com ácido clorídrico 0,1N e fluoreto de amônio 0,06N durante 5 minutos. Posteriormente, usaram a ignição a 500°C por uma hora e removeram o fósforo como no caso anterior. O fósforo do segundo extrato foi medido pelo método do vanadofosforomolibdato, que toma a cor amarelada, conforme a concentração do elemento na solução. BORNEMISZA (1966) indicou que esta fração se determina geralmente como a diferença entre os fosfatos totais e os inorgânicos, empregando-se ignição, extrações específicas ou digestões com H₂O₂ ou, diretamente, separado com carvão ativado, segundo o método recentemente proposto por ANDERSON (1965). Já TANDOM et alii (1968), usaram o método do vanadofosforomolibdato modificado (VM) e o método do azul de molibdênio BRAY & KURTZ (MB), na determinação do fósforo total, tendo observado pequenas diferenças entre os resultados porém, não estatisticamente significantes. Segundo RAUSCHKOLB (1963), o método mais adequado para a determinação do fósforo total e do fósforo orgânico é o proposto por MEHTA et alii (1954), os quais testaram a eficiência desse método contra outros e concluíram ser o mesmo mais adequado na determinação do fósforo orgânico.

WILLIAMS & SAUNDERS (1956) estudaram o comportamento do fósforo relacionando-o com o tamanho das partículas do solo empregando o método descrito por MUIR (1952) e SAUNDERS & WILLIAMS (1955) tendo observado que nas argilas o conteúdo de fósforo total era mais elevado do que nas areias. Também SYERS & WALKER (1969) empregaram o método de MUIR (1952) e o de SAUNDERS & WILLIAMS (1955), modificado por WALKER & ADAMS (1958), para quantificar o fósforo orgânico de uma cronosequência e constaram alto conteúdo deste elemento nos horizontes superficiais.

4. - MATERIAL E MÉTODO

Solo

Os solos estudados correspondem a seis perfis das unidades de solos mais representativas da região da Ibiapaba, Estado do Ceará, cujas características gerais (INCLAN et alii, 1979) constam do Quadro 1. A localização dos perfis amostrados é indicada na Figura 1. Amostras compostas foram coletadas na camada arável (0 - 25cm) e nas proximidades do perfil representativo. As amostras foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira de 2mm de malha. As características físicas e químicas dos solos estudados constam do Quadro 3. Subamostras de cada solo foram incubadas com uma solução de 100ppm de fósforo durante trinta dias.

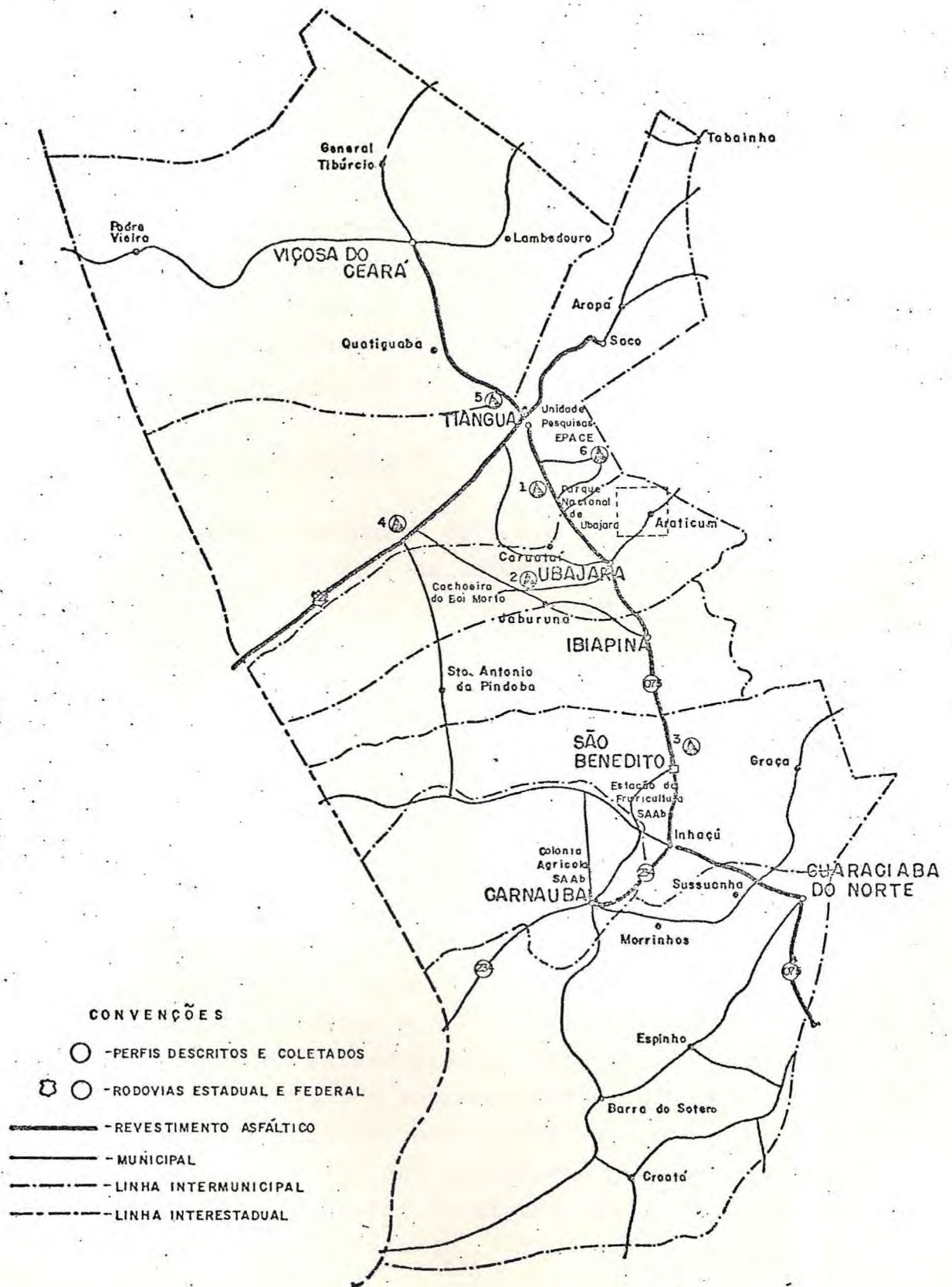
Análises das formas de fosfatos

O fósforo total do solo ao natural e incubado foi determinado em duplicata, seguindo o método de JACKSON (1958). Já no fracionamento empregou-se a metodologia preconizada por CHANG & JACKSON (1957), com as modificações sugeridas por PETERSEN & COREY (1966), usando-se sucessivamente as soluções de cloreto de amônio 1N, fluoreto de amônio 0,5N, hidróxido de sódio 0,1N, ditionito-citrato bicarbonato e ácido sulfúrico 0,5N.

QUADRO 1 - Classificação, formação geológica e material originário de seis perfis das unidades de solos mais representativas da Região da Ibiapaba, Ceará, Brasil.

| Solo | Classificação | Formação Geológica | Material Originário |
|------|---|--|----------------------------------|
| 1 | LATOSOL VERMELHO AMARELO DISTRÓFICO A moderado textura média floresta subperenifólia relevo suave ondulado | Devoniano inferior formação Serra Grande | Arenito |
| 2 | LATOSOL VERMELHO AMARELO DISTRÓFICO A moderado textura argilosa fase floresta subperenifólia relevo ondulado | Devoniano inferior formação Serra Grande | Arenito |
| 3 | LATOSOL VERMELHO AMARELO DISTRÓFICO A proeminente textura argilosa fase floresta subperenifólia relevo suave ondulado | Devoniano inferior formação Serra Grande | Arenito |
| 4 | LATOSOL ACINZENTADO DISTRÓFICO A fraco textura média fase floresta subcaducifólia relevo plano | Devoniano inferior formação Serra Grande | Arenito |
| 5 | AREIAS QUARTZOSAS DISTRÓFICAS A fraco fase floresta subperenifólia relevo suave ondulado | Devoniano inferior formação Serra Grande | Arenito |
| 6 | PODZÓLICO VERMELHO AMARELO EQUIVALENTE EUTRÓFICO LATOSSÓLICO textura franco arenoso floresta subperenifólia relevo suave ondulado | Devoniano inferior formação Serra Grande | Decomposição da rocha subjacente |

FIG.1 - LOCALIZAÇÃO DE SEIS PERFIS DAS UNIDADES DE SOLO
 MAIS REPRESENTATIVAS DA REGIÃO DA IBIAPABA
 CEARÁ - BRASIL
 ESC: 1:500.000



Procedimento usado para extração e determinação das frações de fósforo no solo

Fósforo fracamente adsorvido (P - Saloide)

Agitou-se 1g de solo com 25ml de solução de cloreto de amônio 1N, em tubos de centrífuga, durante 30 minutos. Findo o período de agitação, as suspensões foram clarificadas por centrifugação, durante 15 minutos a 2.000rpm. Tomou-se do sobrenadante, um volume de 3ml que foi colocado num tubo de espectrofotômetro e determinou-se o teor de fósforo na solução pelo método do azul de molibdênio, a 660mm.

Fósforo ligado ao alumínio (P - Al)

Após o descarte do sobrenadante, na etapa anterior, uma alíquota de 25ml da solução de fluoreto de amônio 0,5N pH 8,2 foi adicionada ao tubo de centrífuga e a suspensão agitada uma hora para posterior centrifugação. Em seguida, determinou-se o teor de fósforo como na etapa anterior.

Fósforo ligado ao ferro (P - Fe)

O solo residual no tubo de centrífuga foi lavado duas vezes com 25ml da solução de cloreto de sódio 1N, descartando o líquido sobrenadante após cada centrifugação. Adicionou-se 25ml da solução de hidróxido de sódio 0,1N e agitou-se por 17 horas. Findo o prazo, procedeu-se a centrifugação a 2.400rpm, por 15 minutos, e o líquido sobrenadante foi transferido para frascos *erlenmeyer* de 50ml. Esta transferência é necessária pois o líquido sobrenadante é turvo e há necessidade de flocular os colóides que vêm na extração com hidróxido de sódio, isto foi feito adicionando-se gotas de ácido sulfúrico concentrado. Alíquotas do líquido límpido foram utilizadas para a dosagem de fósforo.

Fosfato solúvel em redutor (P - Red)

O solo residual no tupo de centrífuga foi lavado como na etapa anterior. Suspendeu-se o resíduo com 25ml da solução de citrato de sódio 0,3M e acrescentou-se 1g de ditionito de sódio, seguindo-se de agitação por 5 minutos. Colocou-se os tubos em banho-maria à temperatura de 75/80°C por 15 minutos, depois de frio, adicionou-se 15 ml de água e novamente agitado por 5 minutos e centrifugado. Determinou-se o fósforo após eliminar as interferências com 1,5ml da solução permanganato de potássio 0,25M. Adicionou-se o molibdato de amônio e o complexo fosfomolibdico é retirado com dez ml de álcool isobutílico, fazendo uma alíquota (5 ml) para redução do composto fosfo-molibdico com cloreto estanoso, que depois é dissolvido com álcool etílico.

Fósforo ligado ao cálcio (P - Ca)

O solo residual resultante das determinações anteriores e que permaneceu no tubo de centrífuga, depois de lavado com duas porções da solução cloreto de sódio 1N, é usado para determinação do fósforo ligado ao cálcio. Para tal, adicionou-se 25ml da solução ácido sulfúrico 0,5N e agitou-se por uma hora. Centrifugou-se e a seguir o fósforo foi dosado da mesma maneira que nas etapas acima descritas.

O Quadro 2 mostra a seqüência das extrações destas formas de fósforo.

Estudo de Correlação

Constou da determinação dos coeficientes de correlação entre os seguintes parâmetros: P - orgânico x P - total, % - C x P - total, P - Al x P - inorgânico, P - Fe x P - inorgânico, P - Ca x P - inorgânico, P - red x P - inorgânico,

QUADRO 2 - Seqüência das extrações, frações inorgânicas de fósforo, símbolo usado e reagentes utilizados para obtenção de cada fração

| Seqüência | Frações | Símbolo Usado | Reagente |
|-----------|------------------------------|---------------|-----------------------------------|
| 1 | fósforo fracamente adsorvido | P-Sol | Cloreto de amônio 1N |
| 2 | fósforo ligado ao alumínio | P-Al | Fluoreto de amônio 0,5N pH 8,2 |
| 3 | fósforo ligado ao ferro | | Hidróxido de sódio 0,1N |
| 4 | fósforo solúvel em redutor | P-Red | Ditionito-Citratobicarbonato |
| 5 | fósforo ligado ao cálcio | P-Ca | Ácido sulfúrico 0,5N |

P - Al x P - Fe, C% x P - orgânico, % M.O x P - orgânico e P - orgânico natural x P - orgânico incubado.

O teste t expresso por $t = r \sqrt{n - 2} / \sqrt{1 - r^2}$ com $(n - 2)$ graus de liberdade foi usado para testar a significância dos coeficientes de correlação ao nível de 5% de probabilidade.

5. - RESULTADOS E DISCUSSÃO

Características gerais dos solos

Pelos resultados apresentados no Quadro 3, observa-se que os valores de pH variaram na faixa de 4,20 a 5,00. Com relação ao carbono encontrou-se um teor máximo de 1,12% de crescendo para o mínimo de 0,44%, constituindo uma média de 0,75%. O teor médio de nitrogênio é da ordem de 0,067%, apresentando variações de 0,039 a 0,098%, sendo considerado como extremamente baixo, verificando-se por conseguinte, uma diminuição concordante com a da matéria orgânica. Considerando-se a soma de bases (S), como um índice de disponibilidade em macronutrientes destes solos, verifica-se que o valor médio encontrado foi de 2,24 mE/100g e variou de 1,54 a 3,59 mE/100g. Este fato traduz a pobreza destes solos em cations trocáveis e consequentemente, em nutrientes para as plantas. O valor médio da capacidade de troca de cations (CTC), está em torno de 5,54 mE/100g e variou de 3,52 a 7,77 mE/100g. Quanto à distribuição granulométrica, verificou-se que a fração areia ocorreu em maior percentagem, variando de 66,6% a 82,8%. De um modo geral, são solos de baixa fertilidade natural, formados a partir de materiais provenientes dos arenitos da formação Serra Grande que são pobres em minerais primários, INCLAN et alii (1979).

QUADRO 3 - Características físicas e químicas da camada arável (0 - 25cm) de seis perfis das unidades de solos mais representativas da Região da Ibiapaba, Ceará, Brasil.

| | Solo Nº | | | | | |
|--------------------------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Ca ⁺⁺ mE/100g | 2,40 | 0,80 | 0,90 | 0,70 | 0,90 | 1,40 |
| Mg ⁺⁺ " | 1,10 | 1,00 | 1,00 | 0,70 | 0,90 | 1,00 |
| K ⁺ " | 0,07 | 0,06 | 0,08 | 0,12 | 0,09 | 0,06 |
| Na ⁺ " | 0,02 | 0,02 | 0,04 | 0,02 | 0,03 | 0,03 |
| H ⁺ " | 2,02 | 1,84 | 3,84 | 1,35 | 2,76 | 4,52 |
| Al ⁺⁺⁺ " | 0,12 | 0,63 | 0,81 | 0,63 | 0,87 | 0,76 |
| T | 5,73 | 4,35 | 6,31 | 3,52 | 5,55 | 7,77 |
| V% | 62 | 43 | 32 | 43 | 34 | 32 |
| N% | 0,084 | 0,042 | 0,073 | 0,039 | 0,070 | 0,098 |
| C% | 0,810 | 0,570 | 0,798 | 0,438 | 0,774 | 1,122 |
| pH(H ₂ O) | 5,00 | 4,30 | 4,20 | 4,30 | 4,20 | 4,30 |
| Areia (2-0, 05mm)% | 76,7 | 66,6 | 78,8 | 79,4 | 82,8 | 71,8 |
| Silte% | 7,0 | 5,9 | 7,3 | 4,8 | 8,1 | 18,9 |
| Argila total % | 16,3 | 27,5 | 13,9 | 15,8 | 9,1 | 9,3 |
| Argila natural % | 4,3 | 14,4 | 3,2 | 6,5 | 1,7 | 2,9 |

Segundo a classificação de Koppen o tipo climático predominante é o Amw' - clima tropical de monção. INCLAN et alii (1979). Com relação à precipitação os estudos realizados tiveram como base as observações feitas no período 1921/1978 e os dados foram computados pelo Departamento de Recursos Naturais da SUDENE. Os municípios de S. Benedito, Tianguá e Ubajara acusam os totais médios anuais de 2.121,1mm, 1.242,6mm e 1.481,9mm respectivamente.

Formas de distribuição do fósforo

Fósforo Total

Observando-se os dados do Quadro 4, verifica-se que o fósforo total apresentou pequena variação de um para outro solo. Este resultado, contudo, era esperado por se tratar de solo proveniente do mesmo material de origem, variando apenas o relevo.

O fósforo total extraído, apresentou um valor médio de 87,36ppm com valores de 58,00 no solo 7, 58,70 no solo 5 e 123,42 no solo 1. Os três solos restantes 2, 3 e 6, apresentaram valor em torno de 95ppm. Os coeficientes de correlação, de 0,87 e 0,89, significativos ao nível de 0,05 de probabilidade, definem as relações encontradas entre fósforo total e percentagem de carbono e fósforo total x fósforo orgânico, respectivamente.

Os dados mostram que as quantidades de fósforo total encontradas nos solos estudados, foram inferiores às indicadas na literatura por outros pesquisadores. Assim, KENWAR & GRENWAL (1959) verificaram nos latosolos da Índia, valores compreendidos entre 279 e 1048ppm P. Por outro lado, DAHNKE et alii (1964) encontraram para esta mesma classe de solos de El Salvador resultados variando de 90 a 1134ppm de P. Para ou

tros solos, como por exemplo calcários no Arizona, ROY & RAUSCHKOLB (1963) registraram valores compreendidos entre 155 e 1125ppm. Também FASSBENDER et alii (1968) constataram que os solos, com predominância de fosfato de alumínio apresentaram um conteúdo total de fosfatos que variou de 293 a 2540ppm P. Este conteúdo foi bem mais alto que os solos com predominância em fosfato de cálcio, que variaram de 401 a 2490ppm P. Os fosfatos totais desses solos tenderam a aumentar com a acidez e foi encontrada uma correlação significativa entre ambas as características. Já CABALA & FASSBENDER (1970) encontraram em vertisolos valores extremos entre 198 e 307ppm P e UDO & OGUNWALE (1977) verificaram nessa mesma classe de solos valores de 203ppm.

O baixo teor de fósforo encontrado nestes solos provavelmente decorre dos mesmos serem provenientes de um material originário pobre em fosfatos. A pequena diferença evidenciada pelos dados acima mencionados, pode ser atribuída, por exemplo, no solo 5 (AQD), a excessiva lixiviação a que está sujeito, ao baixo teor de matéria orgânica decorrente da vegetação natural ter sido bastante alterada, como também, por apresentar todas estas classes de solos, uma baixa fertilidade natural. Também o solo 4 comportou-se de forma semelhante ao solo acima descrito. Isso pode ser devido ao fato de o referido solo possuir, provavelmente, um horizonte A fraco com baixos teores de matéria orgânica, e por apresentar a maior parte deste uma cobertura vegetal secundária. Por outro lado, o teor mais elevado de fósforo encontrado nos solos 3 e 2, poderia ser explicado, pela presença de um horizonte A proeminente no solo 3 onde a quantidade de matéria orgânica é bem mais acentuada, enquanto, no solo 2, deve-se à presença abundante da atividade biológica caracterizada pelas formigas e termitas que atingem muitas vezes o horizonte B₂ (INCLAN et alii, 1979). De todos os solos estudados, o 1 foi que mais se

destacou, provavelmente, por se encontrar coberto em maior proporção com vegetação natural conservada. Portanto, a quantidade de chuva recebida em cada ano, a cobertura vegetal, posição do relevo ou quaisquer outros fatores determinam as diferenças entre os solos.

Fósforo Orgânico

Esta fonte de fosfato é naturalmente tanto mais importante quanto menor o nível de fosfato inorgânico utilizável. Sem dúvida, existem solos tropicais em que a maior parte do fosfato potencialmente utilizável pelas plantas está na matéria orgânica do solo superficial. Por esta razão, se o solo superficial é erodido ou arrastado mecanicamente, o solo subsuperficial que aflora à superfície é muito pobre em fosfato e ordinariamente também em outros elementos.

Pela observação dos dados obtidos no Quadro 4, verifica-se que o teor desta fração determinado pela diferença entre o fósforo total e o fósforo inorgânico, variou entre 20,90 a 75,51ppm P, com valor médio de 42,88ppm P. Nota-se portanto, que os resultados obtidos são em geral, mais baixos que os encontrados na literatura. FULLER & McGEORGE (1951) verificaram que em dezenove solos do Arizona, 20 a 50% do fósforo total estava na forma orgânica. FASSBENDER et alii (1968) verificaram que os solos mais ácidos com a predominância de fosfatos de alumínio e ferro, apresentaram um conteúdo de fósforo orgânico variando entre 34 e 2316ppm e naqueles onde ocorreu a predominância de fosfato de cálcio, o conteúdo de fósforo orgânico variou, entre 10 e 999ppm. Os fosfatos de alumínio e ferro contribuíram em média com 52% do fósforo total, enquanto, os fosfatos de cálcio alcançaram somente 41%. Também FASSBENDER & DIAZ (1970) analisaram a distribuição dos grupos dos fosfatos orgânicos e inorgânicos em solos derivados dos sedimentos do cretáceo e terciário da região Amazônica e

QUADRO 4 - Teores de fósforo total, fósforo inorgânico, fósforo orgânico (ppm) e % do fósforo orgânico em relação ao fósforo total da camada arável (0-25cm) de seis perfis das unidades de solo mais representativas da Região da Ibiapaba, Ceará, Brasil.

| Solo Nº | P-total | P-inorgânico | P-orgânico | % P-orgânico |
|------------|---------|--------------|------------|--------------|
| | ppm | | | |
| 01 | 123,42 | 47,91 | 75,51 | 61 |
| 02 | 94,38 | 48,00 | 46,38 | 49 |
| 03 | 95,00 | 48,11 | 46,89 | 49 |
| 04 | 58,00 | 37,02 | 21,00 | 36 |
| 05 | 58,70 | 37,80 | 20,90 | 36 |
| 06 | 94,70 | 48,00 | 46,70 | 49 |
| Média | 87,36 | 44,47 | 42,88 | 46,66 |

constatarem que 70% de fósforo total constituía-se de formas orgânicas. VIEIRA & BORNEMISZA (1968) observaram a predominância do fósforo inorgânico nos solos por eles estudados, corroborando com os resultados encontrados neste estudo. Por isso, a não significância estatística entre fósforo orgânico e carbono orgânico e fósforo orgânico x nitrogênio encontra sua explicação na predominância dos fosfatos inorgânicos nos solos estudados. Já UDO & OGUNWALE (1977) encontraram nos vertisolos correlação positiva entre P-orgânico e carbono orgânico porém, quando todo o perfil do solo foi considerado. Ainda com relação aos dados em discussão, foram encontradas correlações significativas entre o conteúdo total de fósforo e a fração orgânica, verificando-se por conseguinte, uma interdependência entre as duas frações.

Segundo BARROW (1961) e AWAN (1964), condições de baixa temperatura, alta umidade, alto conteúdo de argila, forte acidez e escassa atividade microbiana produzem acumulações de matéria orgânica nos solos, com um bloqueio da mineralização da mesma. Entretanto, o conteúdo de matéria orgânica dos solos estudados não evidenciou efeitos significativos com o pH, nem com o fósforo orgânico. Tal fato pode ser explicado, de acordo com WILLIAMS et alii (1960) e BARROW (1961), que a metodologia analítica de separação ou diferenciação dos fosfatos pode também influir sobre os resultados obtidos. Por outro lado, sabe-se que a evidência da mineralização do fosfato orgânico se baseia na diminuição do nível deste em solos intensamente cultivados. Ultimamente tem sido observado que quando os solos virgens são cultivados, o conteúdo de matéria orgânica diminui. Com a diminuição da matéria orgânica, há um aumento do nível de fosfato inorgânico que no entanto, decresce muito rapidamente com o tempo.

Formas de fósforo inorgânico

Fósforo fracamente adsorvido

Uma caracterização adequada dos fosfatos do solo, exige o conhecimento e a determinação de suas diferentes formas. No grupo dos fosfatos inorgânicos se diferenciam formas quimicamente bem definidas como fosfatos cálcicos, fosfatos aluminicos e fosfatos fêrricos e ferrosos. Muitos investigadores têm tentado separar quimicamente as diferentes frações do fósforo inorgânico nos solos. Na primeira etapa do fracionamento, onde o solo é tratado com um sal neutro (cloreto de amônio), determina-se o fósforo facilmente solúvel. A exata natureza desse fósforo não é conhecida, mas sua retenção no solo pode envolver um mecanismo de troca aniônica. Normalmente, esta fração é rejeitada, porque o fósforo não pode ser identificado com alguma fase sólida específica do solo, e para muitos esta fração é praticamente desprezível.

Esta forma de fosfato representou uma fração bastante pequena dos fosfatos totais nos solos estudados, pois somente alcançou em média 1,65ppm P, variando de 0,80 a 2,20 ppm P (Quadro 5). Isto, de um modo geral, indica que as quantidades de fósforo diretamente disponíveis para as plantas não são adequadas nestes solos.

Fósforo ligado ao alumínio

Os fosfatos de alumínio, constituem a fração inorgânica mais importante das formas ativas dos solos estudados, contribuindo em média com cerca de 18,23% (Quadro 6) dos fosfatos inorgânicos apresentando valores extremos entre 4,22 e 12,87ppm P (Quadro 5). Esta predominância se explicaria de acordo com PRATT (1961), pelo processo de acidificação, uma consequência da meteorização, favorecendo por conseguinte, a

QUADRO 5 - Distribuição das frações de fósforo inorgânico, fósforo inorgânico, fósforo residual e fósforo total da camada arável (0-25cm) de seis perfis das unidades de solo mais representativas da Região da Ibiapaba, Ceará, Brasil.

| Solo Nº | NH ₄ Cl | P-Al | P-Fe | P-Red | P-Ca | P-inor | P-Res | P-total |
|------------|--------------------|-------|-------|-------|------|--------|-------|---------|
| | ppm P | | | | | | | |
| 01 | 2,20 | 7,72 | 5,66 | 28,27 | 1,61 | 47,91 | 2,45 | 123,42 |
| 02 | 1,70 | 6,17 | 7,55 | 21,20 | 5,58 | 48,00 | 5,80 | 94,38 |
| 03 | 1,70 | 12,87 | 7,55 | 14,60 | 5,58 | 48,11 | 5,80 | 95,00 |
| 04 | 1,30 | 7,72 | 7,55 | 16,96 | 3,22 | 37,02 | 0,27 | 58,0 |
| 05 | 0,80 | 8,85 | 3,40 | 16,96 | 4,46 | 37,80 | 3,33 | 58,70 |
| 06 | 2,20 | 4,22 | 10,67 | 23,56 | 2,72 | 48,00 | 4,63 | 94,70 |
| Média | 1,65 | 7,92 | 7,06 | 20,25 | 3,86 | 44,47 | 3,71 | 87,36 |

QUADRO 6 - Fósforo inorgânico e distribuição percentual de suas frações na camada arável (0-25cm) de seis perfis das unidades de solo mais representativas da Região da Ibiapaba, Ceará, Brasil.

| Solo Nº | P-inorg | NH ₄ Cl | P-Al | P-Fe | P-Red | P-Ca | P-Res |
|------------|---------|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | ppm % | | | | | | |
| 01 | 47,91 | 4,60 | 16,12 | 11,81 | 59,00 | 3,36 | 5,11 |
| 02 | 48,00 | 3,54 | 12,88 | 15,76 | 44,76 | 11,64 | 11,92 |
| 03 | 48,11 | 3,54 | 26,86 | 15,76 | 30,47 | 11,64 | 11,71 |
| 04 | 37,02 | 3,51 | 20,85 | 20,39 | 45,81 | 8,69 | 0,73 |
| 05 | 37,80 | 2,16 | 23,90 | 8,18 | 45,81 | 12,05 | 6,90 |
| 06 | 48,00 | 4,60 | 8,81 | 22,27 | 49,17 | 5,68 | 9,47 |
| Média | 44,47 | 3,65 | 18,23 | 15,86 | 45,75 | 8,84 | 7,64 |

transformação dos fosfatos cálcicos nos de alumínio de ferro. Por outro lado, é conhecido que pH baixo aumenta a solubilidade e velocidade de dissolução dos fosfatos cálcicos, a lixiviação do cálcio e a atividade dos cátions ferro e alumínio, os quais favorecem a formação dos fosfatos de ferro e alumínio. CHANG & JACKSON (1958), AWAN *et alii* (1964) e CHANG (1965), comprovaram também, que a distribuição dos fosfatos de alumínio, ferro e cálcio e sua predominância nos solos dependem do pH, dos produtos de solubilidade dos distintos fosfatos e do grau de meteorização dos solos. Tal fato pode ser atribuído também, à tendência que têm os hidróxidos de ferro e alumínio de reagirem com o fosfato, para formarem fosfatos de ferro e alumínio; isto acontece, quando a atividade do ion hidroxila diminui ou quando a do ion fosfato aumenta.

A variação dos teores desta forma de um solo para outro pode ser explicada, segundo alguns pesquisadores por três circunstâncias. Assim, HAWKINS & KUNZE (1965), acreditam que variações no potencial de oxiredução do solo modificam os teores de P-Al em cada solo. Já RESENDE (1971), afirma que devido a lixiviação, ocorre um acréscimo nos teores das várias formas inorgânicas dentre elas o P-Al e, finalmente, o grau de drenagem do solo, embora com menor intensidade, altera os teores de P-Al.

Nos estudos de fracionamento realizados por CHANG & JACKSON (1957 e 1958), ALBAN *et alii* (1964) e FASSBENDER (1966) foram encontradas tendências similares aos resultados obtidos no presente trabalho. No que se refere ao fósforo disponível, PAYNE & HANNA (1965) e FASSBENDER *et alii* (1968) mostraram que a forma P-Al é absorvida preferencialmente às demais, enquanto AL-ABBAS & BARBER (1964) e SING *et alii* (1966) mostraram que é a forma P-Fe a mais intensamente absorvida. BRAGA & DEFELIPO (1972) encontraram que a forma disponível, obtida com o extrator Bray-1 e com Bray-2, correlacionou-se

com a forma P-Fe, enquanto o do extrator de Mehlich se correlacionou com a forma P-Al. Silva (1978) concluiu que nos solos estudados, o extrator de Olsen extraiu mais fósforo que os demais, muito embora não sirva como índice para avaliação do fósforo disponível. Entretanto, recomendou o procedimento de Mehlich para avaliar o fósforo dos solos ácidos da Serra da Ibiapaba, devido a maior capacidade de extração em solos com alta capacidade fixadora e maior eficiência na extração do fósforo ligado ao ferro.

Fósforo ligado ao ferro

A quantidade de fosfato de ferro existente no solo está relacionada com a mobilidade do ferro o qual é altamente influenciada pelo potencial de oxidação do meio (BRAGA & DEFELIPO, 1974). Outros processos pedogenéticos como a resistência do ferro à lixiviação, à cristalização e elevação no teor de hidróxido, a partir de suas formas, determinam o grau mais avançado de meteorização e aumenta a predominância dos fosfatos de ferro e as formas solúveis em redutor. Nos solos utilizados no presente estudo, esta fração em ordem de importância, segue os fosfatos de alumínio, pois constituem 15,86% dos fosfatos inorgânicos e variaram de 3,40 a 10,67ppm, o que pode ser explicado, pelo diferente grau de desenvolvimento destes solos (Quadros 5 e 6). O coeficiente de correlação entre fosfato de ferro e fosfato de alumínio foi de 0,95, significativo ao nível de 0,05 de probabilidade, quando se considerou todos os solos independentes da sua classe. Resultados semelhantes aos desta pesquisa, foram obtidos por FASBENDER (1966) e RYAN & STROEHLEIN (1973) em solos ácidos. Já em outros solos, como os podzólicos ácidos CHANG & JACKSON (1958) verificaram que os fosfatos inorgânicos existem, geralmente como fosfato de ferro, enquanto o fosfato de alumínio é a fração menos abundante.

O baixo teor de fosfato de ferro encontrado no solo AQD pode ser explicado, pela alta lixiviação e que está sujeito, implicando, por conseguinte, num menor teor desta fração.

Fósforo solúvel em redutor

Os fosfatos inorgânicos que não dissolvidos em soluções alcalinas ou ácidas são conhecidos como solúvel em redutor. Constata-se, que esta fração quantitativamente foi mais expressiva do que as demais formas inorgânicas tais como: P-Al; P-Fe e P-Ca (Quadro 5), embora seus valores sejam considerados baixos. Este comportamento é, em parte, explicado pela metodologia utilizada em sua determinação.

Fósforo ligado ao cálcio

Esta fração foi removida da amostra de solo pela ação do ácido sulfúrico 0,5N. A percentagem de participação desta fração nos fosfatos inorgânicos foi em média 8,84 e a máxima variação ocorreu entre 1,61 e 5,85ppm, sendo portanto, os mais baixos valores detectáveis das formas ativas dos solos testados, como se pode observar nos Quadros 5 e 6. Tal resultado, mostra por conseguinte, uma contribuição pobre desta forma de fosfato, como seria esperado em solos ácidos. Em estudos de fracionamento realizados por FASSBENDER (1966) em solos aluvial e latosol foram constatados valores médios de 60,3 e 15ppm, respectivamente. Este mesmo autor, em 1972, determinou as diferentes categorias de fosfato em solos classificados como aluvial, andosol e latosol e verificou que esta fração contribuiu pobremente em todos os solos por ele estudados. Resultados obtidos por WILLIAMS & WALKER (1967), demonstraram que com o aumento do grau de intemperismo, a fração P-Ca decresceu rapidamente até valores extremamente baixos.

Também, WESTIN & BRITO (1969), encontraram em alguns dos solos por eles estudados, que esta fração decresce nos solos fortemente intemperizados.

A contribuição de cada uma das frações nos fosfatos inorgânicos está expressa nas seguintes percentagens, em ordem crescente: P-Sáloide (3,65%) < P-Ca (8,84%) < P-Fe (15,86%) < P-Al (18,23%) < P-Red (54,75%). Já nas investigações de UDO & OGUNWALE (1977) estas frações acham-se assim distribuídas, nos seguintes solos: vertisol P-Ca < P-Al < P-Fe < P-Sol-Red; Alfisol P-Ca < P-Al < P-Sol-Red < P-Fe; Oxisol P-Ca < P-Sol-Red < P-Fe < P-Al. Outras formas em ordem decrescente foram encontradas por MCKENZIE *et alii* (1977) como solúvel em redutor P-Fe < P-Al. A fração P-Ca não foi detectada nesses solos.

Fracionamento do fósforo adicionado

Nos solos em estudo, a aplicação de 100ppm de fósforo na forma de KH_2PO_4 seguida de incubação por um período de trinta dias, proporcionou acréscimo nas diversas frações do fósforo inorgânico, exceto na fração fósforo ligado ao cálcio nos solos 4 e 5, onde ocorreu uma diminuição nos seus valores. Entretanto, outros investigadores afirmaram que essas frações de fósforo extraídas pelas soluções de cloreto de amônio, fluoreto de amônio, hidróxido de sódio e ácido sulfúrico de acordo com o procedimento de CHANG & JACKSON (1957), não significa que correspondam exatamente às formas de fósforo descritas pelos mesmos, visto que esses pesquisadores trabalharam com solos virgens, (PRATT & GARBER, 1964). Também PAYNE & HANNA (1965), afirmaram que o fósforo removido dos solos fertilizados pelo procedimento de CHANG & JACKSON (1957) não consiste de compostos químicos discretos mas sim, de vários fosfatos de alumínio, ferro e cálcio que diferem em sua disponibilidade ao fósforo extraído e absorvido pelas plantas.

QUADRO 7 - Teores das diversas frações de fósforo inorgânico, fósforo inorgânico, fósforo residual, fósforo orgânico e fósforo total da camada arável (0 - 25cm) após incubação por 30 dias com 100ppm de fósforo de seis perfis das unidades de solo mais representativas da Região da Ibiapaba, Ceará, Brasil.

| Solo Nº | Frações de Fósforo Inorgânico | | | | | P-inorg | P-Res | P-org | P-total |
|------------|-------------------------------|-------|-------|-------|------|---------|-------|-------|---------|
| | NH ₄ Cl | P-Al | P-Fe | P-Red | P-Ca | | | | |
| | ppm P | | | | | | | | |
| 1 | 9,59 | 56,93 | 32,77 | 45,23 | 7,43 | 152,46 | 0,51 | 73,05 | 225,51 |
| 2 | 11,89 | 48,28 | 30,97 | 61,25 | 7,43 | 161,20 | 1,38 | 28,94 | 190,14 |
| 3 | 4,98 | 55,29 | 48,06 | 66,90 | 7,43 | 188,74 | 4,64 | 1,46 | 190,20 |
| 4 | 19,29 | 48,30 | 14,63 | 66,90 | 2,72 | 152,46 | 0,62 | 7,26 | 159,72 |
| 5 | 13,00 | 42,11 | 13,97 | 56,07 | 2,10 | 130,68 | 3,43 | 29,04 | 159,72 |
| 6 | 6,99 | 53,74 | 35,60 | 66,99 | 4,46 | 170,22 | 6,58 | 20,98 | 191,20 |
| Média | 10,95 | 50,77 | 29,33 | 60,55 | 5,26 | 158,97 | 2,86 | 27,10 | 185,84 |

No caso específico desta pesquisa, o período de incubação deve ter sido insuficiente para o estabelecimento do equilíbrio do fósforo aplicado ao solo, daí as quantidades maiores do elemento supostamente ligadas ao alumínio e também ao ferro em relação ao cálcio. A provável razão deste fato, segundo YUAN et alii (1960) é atribuída à maior reatividade do alumínio do que o do ferro. Entretanto, a atividade do íon cálcio nos solos ácidos, segundo CHANG & JACKSON (1958), pode ser de tal baixa magnitude que o fosfato de cálcio pode não existir. Isto foi também notado por SHELTON & COLEMAN (1968), quando incubaram os solos com fósforo por um período de seis meses e verificaram que o fósforo aplicado foi rapidamente convertido a P-Al e P-Fe, sendo o aumento inicial no P-Al maior do que o aumento no P-Fe. Com o decorrer do tempo, observaram um decréscimo na fração P-Al e um aumento no P-Fe, tal decréscimo no P-Al e correspondente aumento no P-Fe foi atribuído ao critério de solubilidade que indica maior grau de solubilidade no P-Al do que no P-Fe, resultando em solubilização do P-Al e refixação como P-Fe.

Resultados obtidos por CHANG & CHU (1961), indicaram que em seis solos que receberam adubação fosfatada durante 3 dias e 100 dias, entre as diversas formas de fósforo encontradas nos solos incubados durante 3 dias, verificou-se a predominância do fósforo ligado ao alumínio sobre as outras frações. Já nos solos com 100 dias de incubação verificaram que a quantidade de P-Fe aumentou e as frações P-Al e P-Ca decresceram. Já as investigações de MANNING & SALOMON (1965) em solo podzólico, ao qual foi adicionado fósforo na forma de rochas fosfatadas e superfosfato, mostraram que as frações fosfatadas ligadas ao alumínio e ao ferro foram aumentadas com a aplicação de superfosfato enquanto as rochas fosfatadas aumentaram a fração fosfato ligado ao cálcio. Também resultados de PEREIRA & FARIA (1978) indicaram que em um vertissolo não agricultado, que recebeu adubação fosfatada por seis meses,

com diferentes níveis de fósforo, as maiores quantidades deste elemento foram encontradas na solução de hidróxido de sódio (P-Ca) nos tratamentos correspondentes aos níveis de 25 e 50ppm, entretanto, com o tratamento correspondente a 100ppm, constataram que os teores de fósforo na solução de fluoreto de amônio (P-Al) passaram a predominar. Segundo HEMWALL (1957) 70 a 90% do fertilizante aplicado é utilizado pelos microorganismos, precipitados pelos cátions solúveis na solução do solo ou sorvido pelo complexo do solo. Então verificou que a fixação de fósforo nos solos ácidos é devido à formação de compostos insolúveis de alumínio e ferro de natureza $M(H_2O)_3 H_2PO_4$.

A técnica de fracionamento do fósforo, tem sido aplicada para estudar a natureza deste elemento no solo. Tal estudo pode dirigir a disponibilidade do fósforo nativo e do aplicado às culturas. Resultados do fracionamento do fósforo inorgânico dos solos estudados mostram que a fração P-Al constituiu a maior proporção do fósforo inorgânico. Embora não se tenha procedido estudos relacionados com a disponibilidade desta fração nos solos em questão, resultados obtidos por PAYNE & HANNA (1965) e FASSBENDER *et alii*, (1968) indicam que em solos ácidos a fração P-Al é a forma de fosfato mais disponível às plantas.

6. - CONCLUSÕES

Os resultados alcançados permitiram concluir o que se segue:

- Os solos estudados apresentaram conteúdo de fósforo total baixo, o que pode ser atribuído ao material originário-arenito.

- O solo 1 continha mais fósforo total e fósforo orgânico do que os demais solos, possivelmente, por encontrar-se sob proteção de floresta, pois o teor de matéria orgânica está diretamente ligado ao uso.

- O fósforo orgânico acha-se estreitamente relacionado com o fósforo total, mostrando, por conseguinte, uma interdependência entre as duas formas. As variações encontradas no fósforo orgânico possivelmente são devidas a atividade dos microorganismos nos solos, os tipos de plantas que neles crescem, à lixiviação e à erosão hídrica a que estão sujeitos.

- Em ordem de importância, a fração P-Al foi que apresentou teores mais elevados dentre as formas ativas, seguida pela P-Fe e P-Ca. No entanto, no solo podzólico-latossólico predominou a forma P-Fe.

- As frações P-Al e P-Fe, relacionaram-se positiva e significativamente ao nível de 0,05 de probabilidade, o que não foi observado para as outras formas.

- O fósforo solúvel em redutor, quantitativamente foi a mais expressiva de todas as formas inorgânicas.

- A adubação fosfatada seguida de incubação por trinta dias, resultou numa elevação de todas as frações do fósforo, mostrando, no entanto, a predominância do fósforo ligado ao alumínio sobre as outras. Por outro lado, os teores de P-Ca e P-Fe não seguiram a mesma tendência.

- Como o fósforo disponível de um solo, é geralmente associado com a relativa abundância das diferentes frações do fósforo inorgânico e que nos solos estudados a fração P-Al foi superior a P-Fe, conclui-se que aquela seja a forma de fósforo disponível dos solos ácidos da região da Ibiapaba.

7. - SUMMARY

Six soils from Ibiapaba area, Ceará, Brasil, were selected and its total phosphorus content analyzed by the JACKSON (1958) method. The phosphorus fractionation was conducted by the CHANG and JACKSON (1957) procedure as described by PETERSEN and COREY (1966). The organic P-fraction was calculated as a difference between total and inorganic phosphorus.

The P-Al fraction was the most abundant in all soils except in the podzol-latosol soil. The relative abundance of the extractable inorganic fractions follows generally the order P-Soluble (3,65%) < P-Ca (8,84%) < P-Fe (15,86%) < P-Al (18,32%) < P-occluded. All soils were incubated with 100ppm of inorganic phosphorus as KH_2PO_4 , for a 30 day period. The incubated soils were again fractionated by the above procedure. As expected, an increase in all extractable inorganic P-fraction was observed, however, the P-Al fraction was the most affected.

8. - 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 fractions with plant-available phosphorus. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 28 (2) : 218-21, 1964a.

ALBAN, L.A. & VACHAROTAYAN, S. & JACKSON, T.L. Phosphorus availability in reddish brown lateritic soil. I. Laboratory studies. Agron. J., 56 (6) : 555-8, 1964.

AWAN, H.B. Effect of lime on availability of phosphorus in Zamorono soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 28 (5) : 672-3, 1964.

BARROW, N.J. Phosphorus in soil organic matter. Soil Fert., 24 (3) : 169-73, 1961.

BATES, J.A.R., & BEAKER, N.C. Studies on a Nigerian forest soil. II Distribution of phosphorus in the profile and in various soil fractions. J. Soil Sci. 11 (2) : 257 - 65, 1960.

BLACK, C.A. Soil-plant relationships, John Wiley & Sons, New York, 792p, 1968.

- BLACK, C.A., & GORING, C.A.L. Organic phosphorus in soils. Soil and Fertilizers Phosphorus. Pierre, W.H.Y. Norman, A. G., editors. Academic Press Inc. N.Y., pp 123-52, 1953.
- BRAGA, J.M. & DEFELIPO, B.V. Relação entre formas de fósforo inorgânico, fósforo disponível e material em solos sob a vegetação cerrado: II. Trabalho em estufa. Rev. Ceres, Universidade Federal de Viçosa 19 (104) : 248-60, 1972.
- _____. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extratos de solo e material vegetal. Rev. Ceres, Universidade Federal de Viçosa 21 (113) : 73-85, 1974.
- BROMFIELD, S.M. The inadequacy of corrections for resorption of phosphate during the extraction of aluminum-bound soil phosphate. Soil Sci. 109 (6) : 388 - 90, 1970.
- BORNEMISZA, E. El fósforo orgánico en suelos tropicales. Turrialba, 16 (1) : 33 - 38, 1966.
- BORNEMISZA, E., & IGUE, K. Comparison of three methods for determining organic phosphorus in Costa Rica soils. Soil Sci. 103 (5) : 347 - 53, 1967.
- CABALA, P.R., & FASSBENDER, H.W. Formas del fósforo en suelos de la region cacaotera de Bahia. Turrialba, 20 (4):439-44, 1970.
- CHANG, S.C., & JACKSON, M.L. Fractionation of soil phosphorus. Soil Sci, 84 (2) : 133 - 44, 1957.
- _____. Soil phosphorus fractions in some representative soils. J. Soil Sci, 9 (1) : 109-19, 1958.
- CHANG, S.C., & CHU, W.K. The fate of soluble phosphate applied to soils. J. Soil Sci, 12 : (2) : 286 - 93, 1961.
- CHANG, S.C. Application of phosphorus fractionation to the study of the chemistry of available soil phosphorus. Soil Fert. Taiwan, 1 - 15, 1965.

- CHANG, S.C. & CHU, W.K., & ERH, K.T. Determination of Reductant - Soluble phosphate in Soils. Soil Sci., 102 (1): 44-45, 1966.
- CHU, C.R. & MOSCHLER, W., & THOMAS, G. W. Rock phosphate transformation in acid soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 26 (5) : 476-8, 1962.
- CARVAJAL, J.F., & RAMIREZ, C.A., & LOPEZ, C.A. Caracterización química de la series de suelos dedicadas al cultivo de la cana de azúcar en Costa Rica. Informe Anual del Laboratório de Investigaciones Agronomicas Facultad de Agronomia, Universidad de Costa Rica, 87-91, 1965.
- DAHNIKE, W.C., & MALCOLM, J.L., & MENENDEZ, M.E. Phosphorus fractions in selected soil profiles of El Salvador as Related to their development. Soil Sci., 98 (1): 33-8, 1964.
- DUTRA, L.G. & BRAGA, J.M. Formas de fósforo em solos de uma toposequência de Viçosa Zona da Mata, Minas Gerais, Rev. Ceres, Universidade Federal de Viçosa, 23 (126): 99 - 108, 1976.
- FASSBENDER, H.W. Descripción físico-química del sistema fertilizante fosfatado suelo-plant. Turrialba, 16 (3): 237 - 46, 1966.
- FASSBENDER, H.W., & MULLER, L., & BALERDI, F. Estudio del fósforo en suelos de América Central. II. Formas y su relación con las plantas. Turrialba, Costa Rica, 18 (4) : 337-47, 1968.
- FASSBENDER, H.W., & DIAZ, N. Contenido y formas de fósforo en algunos suelos de la region Amazonica del Estado de Maranhão. Turrialba, 20 (3) : 372-4, 1970.
- FASSBENDER, H.W. Formas de los fosfatos en algunos suelos de la zona Oriental de la México Centro y de las llanuras Atlánticas de Costa Rica. Turrialba, 21 (3) 188-202, 1972.

- FIFE, C.V. An evaluation of ammonium fluoride as a selective extractant for aluminum-bound soil phosphate. I. preliminary studies on non-soil systems. Soil Sci., 87 (1): 13 - 21, 1959.
- _____. An evaluation of ammonium fluoride as a selective extractant for aluminum-bound soil phosphate. II. preliminary studies on soils. Soil Sci., 87 (2): 83-8, 1959.
- FOX, R.L. & KAMPRATH, E.J. Phosphate sorption isotherms for evaluating the phosphate requirements of soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 34 (6) : 902-7, 1970.
- FRIEND, M.T., & BIRCH, H.F. Phosphate response in relation to soil test and organic phosphorus. J. Agric. Sci. 54 341-7, 1960.
- FULLER, W.H., & McGEORGE, W.T. Phosphate in calcareous Arizona soils. Soil. Sci. 71 (1) : 45-50, 1951.
- GARDNER, B.R. An explanation of the theory of soil phosphate isotherm and their application. Agric. Chem., University of Arizona Experiment Station, Yuma, 1974.
- GLENN, R.C. & HSU, P.H., & JACKSON, M.L. Flow sheet for soil phosphate fractionation. Agron. Abst. Amer. Soc. of Agronomy (Madison, Wis.) p. 9, 1959.
- HALSTEAD, R.L. Chemical availability of native and applied phosphorus in soils and their textural fraction. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 31 (3): 414-8, 1967.
- HAWKINS, R.H., & KUNZE, G.W. Phosphate fractions in some Texas Grumosolos and their relation to soil weathering and available phosphorus. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 29 (6) : 650-6, 1965.
- HEMWALL, J.B. The fixation of phosphorus by soil. Advance in Agron. New York. 9 : 95-112, 1957.

- HSU, P.H., & JACKSON, M.L. Inorganic phosphate transformations by chemical weathering of soils as influenced by pH. Soil Sci., 90 (1) : 16-24, 1960.
- INCLAN, R.S. & BENEVIDES, E.C., & LEITE, F.R.B. Levantamento de reconhecimento semi-detalhado dos solos na região da Ibiapaba, Convênio SUDENE/SUDEC. p. 350, 1979.
- JACKSON, M.L. "Soil chemical analysis". Prentice-hall, Inc, Englewood, New Jersey, 1958.
- KENWAR, J.S., & GRENWAL, J.S. Forms of phosphorus in Punjab soil. J. of The Indian Soc. of Soil Sci., 7 (5) : 135-42 , 1959.
- KHIN, A., & LEEPER, G.W. Modification in Chang and Jackson's procedure for fractionating soil phosphorus. Agrochimica, 4 (3) : 246-54, 1960.
- LAGOS, R.G. Phosphorus fractionation and phosphorus fixation capacity in calcareous sugar cane soils in Mexico. II. Congress of International Society of sugar Cane Technology, Proc. 111-5, 1963.
- LARSEN, S. Soil phosphorus. Advance Agron. New York., 19 : 151 - 211, 1967.
- MANNING, P.B., & SALOMON, M. Forms of phosphorus in Soil After long-continued of fertilization. Soil. Sci. Soc. Amer. Proc. 29 (4) : 421 - 3, 1965.
- McKENZIE, J. R., & KURTZ, L.T., & MELSTED, S. W. Phosphorus fertility of some tropical soils in Sierra Leone. Soil Sci. Soc. Amer. J., 41 (2) : 378-81, 1977.
- PAYNE, H., & HANNA, W.J. Correlations, among soil phosphorus fractions, extractable phosphorus, and plant content of phosphorus. J. Agri. Food. Chem, Washington, 13 (4) : 322-6, 1965.

- PEREIRA, J.R., & FARIA, C.M.B. Disponibilidade de fósforo aplicado em um vertissolo do médio São Francisco, avaliada por métodos químicos. R. Bras. Ci. Solo. 2 (2) : 123 - 8, 1978.
- PETERSEN, G.W., & COREY, R.B. A modified Chang and Jackson procedure for routine fractionation of inorganic soil phosphates. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 30 (5) : 563 - 5, 1966.
- PRATT, P.F. Phosphorus and aluminum interactions on in the acidification of soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 25 (6): 467-9, 1961.
- PRATT, P.F., & GARBER, M. J. Correlations of phosphorus availability by Chemical tests with inorganic phosphorus fractions. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 28 (1):23-6 1964.
- RAUSCHKOLB, R.S. Phosphorus fractions in some Arizona soils. M.S. Thesis. University of Arizona. 66p. 1963.
- RESENDE, S.B. Estudos de crono-toposequência, em Viçosa, Minas Gerais, Tese (M.S.) Universidade Federal de Viçosa. 71p., 1971.
- RUSSEL, J.E., & RUSSEL, W.E. Las condiciones del suelos Y el crecimiento de las plantas. Madrid, Aguilar, Trad de l a 9ª ed, Ingles, p. 801, 1968.
- RYAN, J., & STROEHLEIN, J.L. Use of sulfuric acid on phosphorus deficient Arizona soils. Prog. Agric. in Arizona 25 (6) : 11-3, 1973.
- SALMON, R.C. Relations between intensity leved and quantity of soil phosphates and its availability. Soil Sci., 101 (6): 450-3, 1966.
- SAUNDERS, W.M.H., & WILLIAMS, E.G. Observations on the determination of total organic phosphorus in soils. J. Soil Sci. 6 (4): 254-67, 1955.

- SENGUPTA, M.B., & CORNFIELD, A.H. Phosphorus in calcareous soils. I. The inorganic phosphate fractions and their relation to the amount of calcium carbonate present: J. Sci. Food Agric., 13 (12): 651-5, 1962.
- SHELTON, J.E., & COLEMAN, N.T. Inorganic phosphorus fractions and their relationship to residual of large. Applications of phosphorus on high phosphorus fixing soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 32 (1) : 91 - 4, 1968.
- SILVA, G.R. Métodos de laboratório na avaliação do fósforo disponível em solos do Estado do Ceará, tese (M.S.) Universidade Federal do Ceará. 41p, 1978.
- SINGH, R.N., & MARTINS, D.C. & OBENSHAIN, S.S. Plant availability and form of residual phosphorus in Davidson clay loam. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 30 (5): 617-20, 1966.
- SMITH, A.N. Distinction between iron and aluminum phosphate in Chang and Jackson's procedure for fractionation inorganic soil phosphorus. Agrochimica, 9 (2): 162-8, 1965.
- _____. Corrections for resorption of phosphate during extraction of aluminum - bound soil phosphate. Soil Sci. 113 (1): 55-6, 1972.
- SUDENE, Departamento de Recursos Naturais, Recife, Cadastro mensal de pluviometria. Recife, 1979.
- SYERS, J.K., & WALKER, T.W. Phosphorus transformations in a chronosequence of soils developed on windblown sand in Zealand. I. Total and organic phosphorus. J. Soil Sci., 20 (1): 57-64, 1969.
- TANDON, H.L.S., & CESCAS, M.P., & TYNER, E.H. An acid - free vanadate-molybdate reagent for the determination of total phosphorus in soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 32 (1): 48-51, 1968.

- TISDALE, S.L., & NELSON, W.L. Fertilidad de los Suelos y Fertilizantes. Barcelona Montaner y Simon S.A., 790p., 1970.
- UDO, E.J., & OGUNWALE, J.A. Phosphorus fractions in selected Nigérian soils. Soil Sci. Soc. Amer. J., 41 (6): 1141 - 6, 1977.
- VIEIRA, L.S., & BORNEMISZA, E. Categorías de fósforo en los principales grandes grupos de Suelos en la Amazonica Bra sil. Turrialba, 18 (3): 242-8, 1968.
- WESTIN, F.C., & BRITO, J.C. Phosphorus fractions of some Venezuelan soils as related to their stage of weathering. Soil Sci., 107 (3): 194-202, 1969.
- WILLIAMS, E.G. & SAUNDERS, W.M.H. Distribution of phosphorus in profiles and particle-size fractions of some Scottish soils. J. Soil Sci. 7 (1): 90-108, 1956.
- WILLIAMS, C.H. & WILLIAMS, E.G., & SCOTT, N.M. Carbon, nitrogen, sulphur and phosphorus in some Scottish soils. J. Soil Sci., 11 (2): 334-46, 1960.
- WILLIAMS, J.D.H., & SYERS, J.K., & WALKER, T.W. Fractionation of soil inorganic phosphate by modification of Chang and Jackson's procedure. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 331 (6) : 736-9, 1967.
- WILLIAMS, J.D.H., & WALKER, T.W. Comparison of ignition and extraction methods for the determination of organic phosphate in rocks and soils. Plant Soil., 27 457-9, 1967.
- _____. Fractionation of phosphate in a naturity sequence of new Zealand basaltic soil profiles: I. Soil Sci. 107 (1): 22-30, 1969.
- WILLIAMS, J.D.H., & SYERS, J.K., & WALKER, T.W., REX, R.W. A comparison of the methods for the determination of soil organic phosphorus. Soil Sci. 110 (1): 113-8, 1970.