

## FORMAS DE FÓSFORO EM SOLOS DE UMA TOPOSEQÜÊNCIA DE VIÇOSA, ZONA DA MATA, MINAS GERAIS\*

Leônio G. Dutra  
José Mário Braga\*\*

### 1. INTRODUÇÃO

Os estudos básicos de fósforo já realizados com amostras de solos da Zona da Mata, em Minas Gerais, são relativamente muito poucos. Um aspecto muito enfatizado nestes estudos, é o que se refere aos aumentos de produção das culturas, após a aplicação de fontes de fósforo. Outros aspectos, como estudo das formas do elemento nos solos desta região, têm sido pouco estudados.

Embora seja relativamente fácil a separação da forma orgânica das formas inorgânicas de fósforo, é difícil separar as formas inorgânicas desse elemento.

Tentativas no sentido de separar e quantificar as diferentes formas inorgânicas de fósforo no solo têm sido feitas por diversos pesquisadores, desde 1850, com bases em diferentes critérios. Um deles foi o de relacionar a solubilidade específica de uma forma de fósforo com um reagente químico. Apesar de várias tentativas nesse sentido, somente em 1957, com o trabalho de CHANG e JACKSON (5), foi possível separar as diferentes formas desse nutriente, seguindo-se trabalho racional, segundo o qual se usou a solubilidade diferencial das formas de fósforo. A metodologia usada por esses autores é conhecida como método de fracionamento de fósforo no solo, que pode ser largamente utilizado nas diferentes áreas da Pedologia.

O fracionamento da forma inorgânica de fósforo, por exemplo, tem sido usado em trabalhos de pesquisas na área de gênese, química e fertilidade dos solos. No caso dos estudos de gênese dos solos, tem-se procurado, principalmente, relacionar os dados com a distribuição de fósforo em perfis dos solos localizados em toposequência (8, 13, 16, 17, 18, 24, 26).

Apesar da sua grande utilidade, o método de fracionamento de fósforo, segundo CHANG e JACKSON (5), não é suficientemente sensível para separar e distinguir as formas de fósforo ligadas a alumínio e a ferro (9, 10, 11, 12, 22, 23), o que constitui uma falha do método. Na tentativa de corrigi-la, surgiram algumas variações do método original, dentre elas a de WILLIAMS *et alii* (27).

O presente trabalho tem a finalidade de determinar e relacionar os teores das formas de fósforo em perfis de solos localizados numa toposequência, no Município de Viçosa (MG).

\* Parte da tese do primeiro autor, apresentada à UFV, como uma das exigências do curso de Mestrado em Fitotecnia, para obtenção do grau de MS.

Recebido para publicação em 28-11-1974.

\*\* Respectivamente, pesquisador da EMBRAPA, Estação Experimental de Anápolis, Goiás, e Professor Adjunto da Universidade Federal de Viçosa.

## 2. MATERIAL E MÉTODO

A caracterização da área escolhida foi feita por REZENDE (21), o qual se baseou em dados obtidos de perfis localizados numa toposequência. Destes perfis, foram retiradas amostras de cada horizonte e feito o fracionamento, bem como outras análises químicas complementares.

### 2.1. Análises Químicas das Formas de Fósforo.

Para estas análises, utilizaram-se amostras retiradas de cada perfil (2000 g por horizonte), as quais foram secadas ao ar e passadas em peneira de 0,210 mm, tendo-se usado a metodologia de CHANG e JACKSON (5) com modificações de GLENN *et alii* (14) e WILLIAMS *et alii* (27). Foram determinadas, em seqüência, as seguintes formas de fósforo inorgânico: fósforo solúvel em cloreto de amônio 1N (P-solúvel, P-Sol), fósforo solúvel em fluoreto de amônio 0,5N, pH 8,2 (fósforo ligado a alumínio, P-Al), fósforo solúvel em hidróxido de sódio 0,1N (fósforo ligado a ferro, P-Fe), fósforo solúvel em ditionito-citrato-bicarbonato (fósforo solúvel em redutor P-Red), fósforo solúvel em fluoreto de amônio 0,5N pH 8,2 (fósforo ocluso em alumínio, P-O-Al), fósforo solúvel em hidróxido de sódio 0,1N (fósforo ocluso em ferro, P-O-Fe), fósforo solúvel em  $H_2SO_4$  0,5N (fósforo ligado a cálcio, P-Ca) e fósforo obtido por digestão com ácido perclórico a 70% (fósforo inorgânico residual P-Res).

A seqüência das extrações, em como as formas extraídas e o reagente usado, foi resumida no Quadro 1.

QUADRO 1 - Seqüência das extrações de formas inorgânicas de fósforo, forma extraída, símbolo usado e reagente utilizado para obtenção de cada forma

Seqüência	Forma extraída	Símbolo usado	Reagente
1	fósforo solúvel	P-Sol	Cloreto de amônio 1 N
2	fósforo ligado a alumínio	P-Al	Fluoreto de amônio 0,5 N pH 8,2
3	fósforo ligado a ferro	P-Fe	Hidróxido de sódio 0,1N
4	fósforo solúvel em redutor	P-Red	Ditionito-Citrato-bicarbonato
5	fósforo ocluso em alumínio	P-O-Al	Fluoreto de amônio 0,5 N pH 8,2
6	fósforo ocluso em ferro	P-O-Fe	Hidróxido de sódio 0,1N
7	fósforo ligado a cálcio	P-Ca	Ácido sulfúrico 0,5N
8	fósforo residual	P-Res	Ácido flúridrico a 70%

A soma dos teores de fósforo na forma solúvel em  $NH_2Cl$ ,  $NH_4F$ , em  $NaOH$  e em  $H_2SO_4$  foi denominada de forma ativa desse elemento e a soma dos teores de fósforo solúvel em redutor, fósforo ocluso em ferro, fósforo ocluso em alumínio e o fósforo residual foi denominada de forma inativa de fósforo.

Determinou-se o fósforo total numa amostra à parte, por meio de digestão com

ácido perclórico a 70%, segundo CHAPMAN e PRATT (6).

Após a obtenção dos extratos dos solos, para todas as formas, o fósforo em solução foi determinado segundo a técnica desenvolvida por BRAGA e DEFELIPO (2).

O fósforo orgânico calculado por diferença entre o conteúdo de fósforo total e a soma das frações inorgânicas (4).

Os resultados obtidos de P-Al e P-Fe, extraídos com  $\text{NH}_4\text{F}$  e  $\text{NaOH}$ , respectivamente, foram corrigidos usando-se a metodologia de WILLIAMS *et alii* (27). Com esta metodologia, é possível distingir melhor as duas formas desse elemento. Neste trabalho, a metodologia de WILLIAMS *et alii* (27) é citada como «recuperação de fósforo adicionado».

## 2.2. Análises Químicas e Físicas Complementares.

As análises químicas complementares realizadas foram relativas à matéria orgânica, ao pH em água (1:1) e em HCl (1:2,5), por métodos usados pelo Laboratório de Análises de Solos da Universidade Federal de Viçosa.

Os resultados relativos à percentagem de argila, óxido de alumínio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), óxido de ferro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ),  $\text{Ki}$  ( $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ ), soma de bases (S), alumínio trocável ( $\text{Al}^{+++}$ ) e Capacidade de Troca de Cátions (T) foram extraídos do trabalho de REZENDE (21).

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1. Formas de Fósforo.

Não se obtiveram teores detectáveis para a primeira das formas de fósforo inorgânico, com a metodologia usada, conforme indicam os Quadros 2 e 3. Aliás, o mesmo ocorreu com outros pesquisadores (1, 4, 8, 15, 25).

#### 3.1.2. Fósforo Ligado a Alumínio (P-Al).

A presença de P-Al é importante sob diversos aspectos, principalmente aqueles relacionados com o intemperismo. Observa-se, nos Quadros 2 e 3, que os teores de P-Al mantiveram-se praticamente constantes em cada perfil, mas variam entre os perfis da toposequência, isto é, os teores diminuíram a partir do perfil do local côncavo para o local íngreme.

A variação dos teores desta forma de um perfil para outro pode ser explicada por três circunstâncias: (a) atuação do fenômeno «lixiviação lateral interna», implicando acréscimo nos teores das várias formas inorgânicas de fósforo nos locais mais baixos da toposequência, dentre elas o P-Al (21); (b) variações no potencial de oxirredução do solo que modificam os teores de P-Al em cada perfil (16); (c) grau de drenagem dos solos que, embora com menor intensidade, altera os teores de P-Al nos perfis (21).

O comportamento da forma P-Al nos solos estudados assemelha-se ao observado por diversos pesquisadores com solos de outras regiões (4, 8, 25, 26).

#### 3.1.3. Fósforo Ligado a Ferro (P-Fe).

A quantidade de P-Fe existente no solo está relacionada com a mobilidade de Fe nesse Solo, mobilidade essa altamente influenciada pelo potencial de oxidação do meio (3).

Nos solos usados para o presente trabalho, os teores de P-Fe variaram entre os perfis amostrados (Quadro 2), assim como dentro de cada um dos perfis dos locais convexos e de topo, o que pode ser explicado, pelo diferente grau de desenvolvimento destes solos. Os menores teores de P-Fe foram determinados em amostras do perfil do local íngreme, o que se justifica pelo fato de haver ali erosão mais acentuada e consequente rejuvenescimento do solo (21). O teor de P-Fe, particularmente elevado no solo da posição côncava, possivelmente é explicado pela lixiviação lateral interna.

Quando se observa cada perfil separadamente, pode-se constatar a atuação da reciclagem vegetal na redistribuição de P-Fe ao longo dos perfis, com exceção do segmento côncavo, onde este fenômeno foi superado pela lixiviação lateral interna, em razão da sua posição particular na toposequência.

QUADRO 2 - Teores das formas de fósforo por horizonte nos perfis situados em toposegunda

Locais

Horizontes	Locais												Ingrerme													
	Côncavo						Convexo						Topo						Borda							
	Al	AB	B21	B22	B23	B24	Al	A13	B21	B22	B3	Al	AB	B21	B22	B3	Al	AB	B2	B3-C	C	C-D				
P-Al	29	40	35	47	50	33	39	22	18	18	20	20	20	14	14	12	14	6	6	10	4	4	4	5		
P-Fe	27	27	33	42	45	45	36	29	20	22	27	35	27	50	35	26	31	33	35	22	12	20	14	6		
P-Ca	31	18	24	16	12	12	19	20	10	4	8	4	9	16	14	12	14	13	12	12	14	10	4	11		
P-IA	84	85	93	106	106	90	94	71	48	44	54	61	56	86	63	52	54	59	63	40	29	44	27	15		
P-Red	106	135	142	115	124	160	150	80	106	124	124	115	110	89	89	72	80	80	82	170	160	142	199	179		
P-O-Al	22	18	22	22	22	21	18	16	18	18	20	18	10	12	14	10	10	11	72	10	12	12	10	12	11	
P-O-Fe	14	12	10	14	14	10	12	10	8	2	2	6	5	10	6	10	14	4	9	10	8	10	8	6	8	
P-Res	42	47	55	68	63	68	57	47	55	55	47	50	50	10	10	8	6	14	9	14	10	12	10	10	12	
P-II	184	210	299	219	222	260	221	155	177	198	198	188	183	118	116	103	110	108	111	205	188	194	171	226	213	
P-ORG	216	164	191	121	117	108	153	132	105	70	87	72	93	242	220	203	175	138	196	604	655	586	561	127	537	
P-total	485	458	513	446	476	458	468	358	330	313	339	321	332	445	400	358	339	304	369	849	872	803	760	367	803	682

IA = Somatório das formas inorgânicas ativas de fósforo.

II = Somatório das formas inorgânicas inativas de fósforo.

QUADRO 3 - Percentuais das formas de fósforo por horizontes nos perfis situados em toposeqüência

Horizontes	Côncavo						Convexo						Topo						Ingrene																										
	A1			B21			B22			B23			A1			B21			B22			B3			A1			AB			B2			B3-C			C			C-D			W-dias		
	Fornas	A1	AB	B21	B22	B23	B24	A1	AB13	B21	B22	B3	A1	AB	B21	B22	B3	A1	AB	B21	B22	B3	A1	AB	B2	B3-C	C	C-D	W-dias																
P-Al	5,9	8,7	6,9	10,6	11,2	7,2	8,4	6,2	5,4	5,7	5,9	6,9	6,0	4,5	3,5	3,8	3,5	3,9	3,8	0,7	1,7	1,2	0,5	1,0	0,5	1,0	0,2	0,7																	
P-Fe	5,0	5,8	6,5	9,5	10,1	9,8	7,8	8,0	6,1	7,1	7,8	11,0	8,0	11,2	8,9	7,4	9,1	10,9	9,5	2,6	1,3	2,5	1,8	1,8	4,1	4,1	2,3																		
P-Ca	6,4	3,9	4,7	3,6	2,6	2,7	4,0	5,6	3,0	1,2	2,3	1,2	2,6	3,6	3,5	3,5	3,5	4,5	3,7	1,4	1,3	1,7	1,3	1,0	2,2	1,5																			
E IA	17,3	18,4	18,1	23,7	23,9	19,6	20,2	19,8	14,5	14,1	16,0	19,1	16,7	19,2	15,8	14,5	16,1	19,3	17,0	4,7	3,4	5,4	3,6	3,7	6,6	4,6																			
P-Red	21,9	29,0	27,7	25,8	27,7	35,6	27,8	22,4	32,1	39,6	36,5	35,7	36,5	35,7	33,2	19,2	22,2	20,0	23,6	26,9	22,4	20,0	18,4	20,0	18,7	54,2	22,3	25,6																	
P-O-A1	4,6	3,9	4,3	5,0	5,0	4,8	4,6	55,0	4,8	5,7	5,3	6,2	5,4	2,2	2,2	2,9	3,9	2,9	3,2	3,0	1,4	1,1	1,5	1,5	2,7	1,5	1,6																		
P-O-Fe	2,8	2,6	1,9	3,1	3,1	2,1	2,6	2,7	2,3	0,6	0,6	16,1	1,6	2,2	1,4	2,7	4,1	1,3	2,6	1,1	0,9	1,2	1,0	2,1	0,7	1,2																			
P-Res	8,8	10,3	10,7	15,2	14,0	14,8	12,3	13,7	14,3	17,5	16,1	14,7	15,2	2,2	2,4	2,2	1,7	4,5	2,6	1,6	1,1	1,5	1,3	2,7	2,0	1,7																			
E II	38,1	45,8	44,6	49,1	49,8	56,8	47,5	43,3	53,6	63,5	58,4	58,5	55,5	26,5	29,0	28,8	32,3	35,4	30,4	24,2	21,5	24,1	22,5	61,7	26,5	30,1																			
P-Org	44,6	35,8	37,3	27,2	26,3	23,6	32,5	36,9	31,9	22,5	25,5	22,3	27,8	54,3	55,2	56,7	51,7	45,2	52,6	71,1	75,1	70,4	73,9	34,7	66,9	65,3																			
P-total	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0											

IA = Somatório das formas inorgânicas ativas de fósforo.

II = Somatório das formas inorgânicas inativas de fósforo.

### 3.1.4 Fósforo Ligado a Cálcio (P-Ca).

Estudos da forma P-Ca têm demonstrado que esta ocorre nos solos em menor quantidade do que as outras formas de fósforo inorgânico (4, 7, 13, 15, 25). Nos solos estudados, esta tendência não foi exceção, como se pode observar nos dados do Quadro 2.

Foram constatadas diferenças nas quantidades de P-Ca para cada perfil, embora as quantidades da forma P-Ca tenham sido, em geral, pequenas. Assim, verificou-se que P-Ca diminuiu no sentido do perfil do local côncavo para o convexo e do topo para o íngreme. A distribuição de médias percentuais (Quadro 3) de P-Ca em cada perfil apresentou tendência semelhante à observada com relação às médias quantitativas.

Os teores de P-Ca, relativamente maiores no perfil do local côncavo da toposequência, possivelmente podem ser explicados pelo fenômeno da lixiviação lateral interna. Por outro lado, o perfil do local convexo tem os menores teores de P-Ca. Isto pode ser atribuído à acumulação de material profundamente pedogenizado, vindo da parte superior do solo, a montante (21).

### 3.1.5 Formas Inorgânicas Ativas de Fósforo.

A forma inorgânica ativa de fósforo é o somatório dos teores de P-Sol, P-Ca, P-Al, P-Fe, não constituindo, pois, uma forma definida de fósforo no fracionamento.

Após a determinação de cada uma das formas mencionadas, observou-se que a maior quantidade das formas ativas é constituída por P-Fe, seguindo-se P-Al e P-Ca. O P-Al foi maior do que P-Ca nos três locais (côncava, convexo e topo). Entretanto, não houve uma inversão do segmento íngreme, que teve P-Ca maior do que P-Al.

### 3.1.6 Fósforo Solúvel em Redutor (P-Red).

Os valores de P-Red obtidos foram erráticos, tanto na toposequência quanto ao longo dos perfis (Quadro 2). Isto pode ser atribuído menos aos resultados obtidos do que ao grau de conhecimento a respeito da forma P-Red, conforme Lancaster, citado por WILLIAMS *et alii* (27). Como consequência disto, é pouco provável uma explicação sobre o comportamento de P-Red nos perfis da toposequência. Ao serem observados os dados dos Quadros 2 e 3, constata-se que a forma P-Res é a mais expressiva dentre todas as inorgânicas, tanto quantitativa quanto qualitativamente. Conclusões semelhantes foram obtidas por outros pesquisadores ao trabalharem em solos diferentes dos desta pesquisa (1, 4, 16, 18, 19).

### 3.1.7 Fósforo Ocluso em Alumínio (P-O-Al).

Os valores observados para P-O-Al foram praticamente constantes em cada um dos segmentos da toposequência; entretanto, observou-se uma variação entre perfis, quando seus valores médios foram considerados (Quadro 2 e 3). Esta variação permitiu constatar uma diminuição de teores médios na sequência do segmento convexo para qualquer dos sentidos da toposequência, sendo que o menor valor foi encontrado no perfil do segmento íngreme. Comportamento semelhante foi constatado em solos diferentes, por outros pesquisadores (16, 17, 24).

Este comportamento na distribuição de P-O-Al pode ser compreendido quando se considera a atuação do fenômeno lixiviação lateral interna na distribuição de seus valores.

### 3.1.8 Fósforo Ocluso em Ferro (P-Fe).

Os valores obtidos mantiveram-se praticamente constantes ao longo da toposequência, bem como nos perfis (Quadro 1).

### 3.1.9 Fósforo Residual (P-Res).

Os dados de fósforo residual são os mais altos entre as formas de fósforo no solo em todas as regiões e locais.

Os resultados obtidos nesta pesquisa (Quadro 2), assemelham-se aos obtidos por KHIM e LEEPER (20) com outros solos. Os resultados percentuais evidenciam diminuição da forma de fósforo residual a partir do segmento convexo, tanto em direção ao segmento íngreme quanto em direção ao convexo. Neste segmento, os teo-

res de P-Res aumentaram com a profundidade e nos demais mantiveram-se relativamente constantes.

As alterações crescentes de valores para a forma P-Res (Quadro 2 e 3), ao longo do perfil do segmento côncavo, são semelhantes às obtidas por SYERS e WALKER (24).

### 3.1.10. Forma Inorgânica Inativa de Fósforo.

A importância dessa forma, prende-se ao fato de que os valores determinados são comparativamente altos. Como se pode observar no Quadro 3, há locais em que o somatório das formas inorgânicas é superior a 50% do valor do fósforo total.

Nota-se, pelo Quadro 3, que o segmento da parte convexa apresentou, em média, mais de 50% do fósforo total como forma inativa, decrescendo esta percentagem em ambos os sentidos na toposequência. Este comportamento pode ser compreendido, em parte, pela atuação do fenômeno da lixiviação lateral interna, ou mesmo pelo maior grau de intemperização do segmento da parte convexa (21).

Os resultados e as variações observadas foram semelhantes aos obtidos por outros pesquisadores (16, 17, 24, 25) em solos de outros locais.

### 3.1.11. Fósforo Orgânico (P-Org.).

Calculado na base percentual o fósforo orgânico correspondente, em média, a 43% do fósforo total, o teor mais alto ocorrendo no solo do segmento íngreme e o mais baixo no do convexo. A distribuição de P-Org nos segmentos da toposequência pode ser função dos teores de P-Total existente em cada segmento.

O segmento íngreme apresentou certa constância nos teores de P-Org em seu perfil; nos demais segmentos, estes teores apresentam certa diminuição quando horizontes mais profundos foram considerados; este decréscimo nos teores de P-Org nos horizontes mais profundos de alguns perfis pode ser uma consequência direta no teor de oxigênio ali existente (3). A pequena alteração nos teores de P-Org nos horizontes do perfil do segmento íngreme é, em parte, explicada pela metodologia utilizada em sua determinação. Semelhantes resultados foram obtidos por GABALLA e FASSBENDER, (4).

### 3.1.12. Fósforo Total (P-Total).

No local côncavo, os teores de fósforo total foram relativamente constantes, diminuindo, entretanto, gradativamente, com a profundidade nos outros locais (Quadro 2). Pode-se, ainda, observar decréscimos nos valores da forma P-Total na seguinte ordem: íngreme, côncavo, topo e convexo.

Esta sequência é admissível e justificável em face de a erosão ter sido mais acentuada no perfil do segmento íngreme na toposequência, com decorrente rejuvenescimento; os resultados obtidos de P-Total para o segmento côncavo são justificados com base na atuação do fenômeno de lixiviação lateral interna, sendo o mesmo fenômeno e causa da diminuição nos teores dessa forma nos segmentos de topo e convexo.

## 3.2. Recuperação do Fósforo no Extrato de $\text{NH}_4\text{F}$ .

As recuperações do fósforo foram maiores nos horizontes superficiais de cada perfil, principalmente nos perfis mais intemperizados da toposequência; nos perfis dos segmentos convexo e do topo, as médias de recuperação do fósforo acrescentado foram maiores na forma de P-Fe (Quadro 4).

Esses resultados obtidos demonstram que a quase totalidade do fósforo acrescentado foi retida sob influência dos sesquióxidos de Fe e de Al.

Resultados semelhantes aos desta pesquisa foram obtidos por WILLIAMS *et alii* (27), em outros solos.

## 4. RESUMO E CONCLUSÕES

O presente trabalho foi realizado com a finalidade de obter dados sobre teores e formas de fósforo em uma toposequência de solos de Viçosa, MG.

Para tal, foram tomadas amostras de horizontes de perfis abertos, seguindo uma toposequência, e nestas amostras foram feitas determinações de frações de fós-

QUADRO 4 - Proporção de fosfato acrescentado e recuperado nos três estágios iniciais da metodologia de fracionamento para horizonte individual dos vários perfis da Zona da Mata, MG (%)

Perfil	Horizonte	NH <sub>4</sub> F	NaOH	NH <sub>4</sub> F+NaOH	Dit. Citr. Bic.	NH <sub>4</sub> F+NaOH +Dit. Citr. Bic.
Côncavo	1	36	14	50	34	84
	2	10	38	48	16	64
	3	34	18	52	16	68
	4	16	30	46	16	62
	5	20	30	50	-	-
	6	44	30	74	-	-
Convexo	1	46	46	96	-	-
	2	54	40	94	-	-
	3	54	32	86	-	-
	4	60	24	84	-	-
	5	52	20	72	-	-
Topo	1	44	52	96	-	-
	2	38	50	88	-	-
	3	42	32	74	-	-
	4	46	28	74	-	-
	5	70	44	114	-	-
	1	64	32	96	-	-
	2	50	34	84	-	-
	3	38	30	68	-	-
	4	50	20	70	-	-
	5	68	12	80	-	-
	6	24	54	78	-	-

foro inorgânico, separando-o em formas solúveis em água, adsorvidas a alumínio, adsorvidas a ferro, formas solúveis em redutor, além das formas oclusas em ferro e em alumínio. Os teores obtidos de cada fração mais o teor de fósforo total permitiram a caracterização de formas ativas e formas inativas de fósforo no solo. Por diferença entre o teor total de fósforo e a soma das formas inorgânicas, foi obtido o valor de fósforo orgânico de cada horizonte do perfil.

Os dados obtidos permitem as seguintes conclusões:

- 1 — A posição do perfil na toposequência altera a quantidade das frações de fósforo inorgânico.
- 2 — A tendência de diminuição do teor de fósforo orgânico é a mesma em todos os perfis, independentemente de sua posição na toposequência.
- 3 — Nos perfis mais desenvolvidos, situados nas posições mais elevadas, a fração de fósforo solúvel em redutor foi a de maior quantidade.
- 4 — A lixiviação lateral interna (lessivage oblique) teve papel importante na explicação do enriquecimento relativo do solo na posição côncava da toposequência.
- 5 — Os resultados obtidos demonstraram que a quase totalidade do fósforo acrescentado no extrato de NH<sub>4</sub>F foi retida sob influência de sesquióxido de Fe e Al, variando suas recuperações de perfil e mesmo dentro de cada perfil.

## 5. SUMMARY

This research was conducted in order to obtain data about phosphorus forms and contents in soil plotted in a topographic sequence at Viçosa, Minas Gerais. Samples of open profile horizons were taken following a topographic sequence, and determinations of inorganic phosphorus fractions were made for these samples. Fractions separated were as fractions: water soluble forms, forms adsorbed on aluminum, form adsorbed on iron, forms soluble in a reducing agent, and forms occluded in iron and aluminum. The phosphorus contents obtained from each fraction plus total phosphorus content permitted the characterization of active and inactive forms of in phosphorus soil. The organic phosphorus value of each profile horizon was obtained from the difference between total phosphorus content and the sum of inorganic forms.

The information acquired allows the following conclusions:

- 1 — The profile positions in the topographic sequence alter the amounts of inorganic phosphorus fractions.
- 2 — The organic phosphorus content tends to decrease in all the profiles, independently of their positions in the topographic sequence.
- 3 — In more developed profiles located in the highest positions, the fraction of phosphorus soluble in the reducing agent was the largest.
- 4 — The lateral internal lixiviation (lessivage oblique) has an important part in explaining relative enrichment of the soil in the concave position of the topographic sequence.
- 5 — The results obtained showed that almost all phosphorus added in the  $\text{NH}_4\text{F}$  extract retained under the influence of Fe and Al sesquioxides. Their effects varied from profile to profile and within each profile.

## 6. LITERATURA CITADA

1. BUOL, S. W., HOLF, F. D. & MCCRACKEN, R. J. *Soil genesis and classification*. Ames, Iowa State University Press, 1963. 360 p.
2. BRAGA, J. M. & DEFELIPO, B. V. Relações entre as formas de fósforo inorgânico, fósforo disponível e material vegetal em solos sob vegetação de cerrado. I. Trabalhos de laboratório. *Rev. Ceres*, 19(102):124-136. 1972.
3. BRAGA, J. M. & DEFELIPO, B. V. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extratos de solo e material vegetal. *Rev. Ceres*, 21(113):73-85. 1974.
4. CABALLA, P. R. & FASSBENDER, H. W. Formas del fósforo en suelos de la región cacaotera de Bahia, Brasil. *Turrialba* 20(4):439-444. 1970.
5. CHANG, S. C. & JACKSON, M. L. Fractionation of soil phosphorus. *Soil Science* 84(2):133-144. 1957.
6. CHAMPAN, H. D. & PRATT, P. F. *Methods of analysis for soils, plants and waters*. Davis, University of California, 1961. 309 p.
7. FASSBENDER, H. W. Formas de los fosfatos em algunos de la Zona Oriental de la Maseda Central y de las llanuras atlánticas de Costa Rica, *Fitotecnia Latinoamericana* 3(1-2):187-202. 1966.
8. FASSBENDER, H. W. & DIAZ, N. Contenido y formas de fósforo en algunos suelos de la región amazônica del Estado de Maranhão, Brasil. *Turrialba* 20(3):372-374. 1970.
9. FIFE, C. V. An evaluation of ammonium fluoride as a selective extractants for aluminum — bound soil phosphate. I. Preliminary studies on non-soil systems. *Soil Science* 87(1):13-21. 1959.
10. FIFE, C. V. An evaluation of ammonium fluoride as selective extractant for aluminum — bound soil phosphate. II. Preliminary studies on soils. *Soil Science* 87(2):83-88. 1959.

11. FIFE, C. V. An evaluation of ammonium fluoride as a selective extractant for aluminum — bound phosphate. III. Detailed studies on selected soils (1). *Soil Science* 93(2):113-123. 1962.
12. FIFE, C. V. An evaluation of ammonium fluoride as a selective extractant for aluminum — bound soil phosphate. IV. Detailed studies on soil. *Soil Science* 96(2):112-120. 1963.
13. FLOATE, M. J. S. Distribution of organic matter and phosphorus fractions in a topographic sequence of soils in Southern British Columbia. *Canadian Journal of Soil Science* 45(3):323-329. 1965.
14. GLENN, R. C., HSU, P. H. & JACKSON, M. L. Flow sheet for soil phosphate fractionation. *Agron. Abstr.*, Madison. 1959. p. 9.
15. GOEDERT, W. J., PATELLA, J. F. & MORAES, J. F. V. Formas de fósforo num planossolo do Rio Grande do Sul e sua disponibilidade para a cultura do arroz irrigado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 6:39-43. 1971.
16. HAWKINS, R. H. & KUNZE, G. W. Phosphate fractions in some Texas Grumosoos and their relation to soil weathering and available phosphorus. *Soil Science Society of America Proceeding* 29(6):650-656. 1965.
17. HSU, P. H. & JACKSON, M. L. Inorganic phosphate transformations by chemical weathering in soils as influenced by pH. *Soil Science* 90(1):16-24. 1960.
18. JOHN, M. K. The distribution of organic phosphorus in some soils of westerns Canada and its relationships to soil characteristics. *Soil Science and Plant Nutrition* 17(1):9-14. 1971.
19. JUO, A. S. R. & ELLIS, B. C. Particle size distribution of aluminum, iron and calcium phosphorus in soil profiles. *Soil Science* 106(5):180-374. 1968.
20. KHIN, A. & LEEPER, G. W. Modification in CHANG and JACKSON'S procedure for fractionating soil phosphorus. *Agrochimica* 4:246-254. 1960.
21. REZENDE, S. B. *Estudos de crono-toposequência em Viçosa, Minas Gerais*, Viçosa, U.F.V., Imprensa Universitária, 1971, 71 p. (Tese M.S.).
22. SMITH, A. N. Distinction between iron and aluminum phosphate in CHANG and JACKSON'S procedure for fractionation inorganic soil phosphorus. *Agrochimica* 9(2):162-168. 1965.
23. SMITH, A. N. Fractionation of inorganic phosphorus in soil the CHANG and JACKSON'S fractionation procedure its limitation and uses. *Agri Digest* 17: 10-19. 1970.
24. SYERS, J. K. & WALKER, T. W. Phosphorus transformations in a chrono-sequence of soils developed on windblown sand in New Zealand. I. Total and organic phosphorus, *Journal of Soil Science* 20(1):57-64. 1969.
25. VIEIRA, C. S. & BORNEMISZA, E. Categoría de fósforo en los principales grandes grupos de suelos en la Amazonia de Brasil. *Turrialba* 18(3):242-248. 1968.
26. WESTIN, F. C. & BRITO, J. C. Phosphorus fractions of some Venezuelan soil as related to their stage of weathering. *Soil Science* 107(3):194-202. 1969.
27. WILLIAMS, J. D. H., SYERS, J. K. & WALKER, T. W. Fractionation of soil inorganic phosphate by a modification of CHANG and JACKSON'S procedure. *Soil Science Society of American Proceedings* 31(6):736-739. 1967.