

BRAGANTIA

Boletim Científico do Instituto Agrônomo do Estado de S. Paulo

Vol. 28

Campinas, março de 1969

N.º 8

A CAPACIDADE DE TROCA DE CÁTIONS DAS FRAÇÕES ORGÂNICA E MINERAL EM SOLOS (1)

BERNARDO VAN RAIJ, *engenheiro-agrônomo, Seção de Agrogeologia,
Instituto Agrônomo*

SINOPSE

Foi estudada a capacidade de troca de cátions (C.T.C.), da matéria orgânica e da fração mineral, em 103 amostras de 22 perfis de solos do Estado de São Paulo.

A C.T.C. da matéria orgânica variou de 190 a 400 e.mg por 100 g, em amostras superficiais, e de 160 a 490 em subsuperficiais. Verificou-se estreita correlação entre a C.T.C. da matéria orgânica e o pH dos solos.

A C.T.C. da fração mineral no horizonte B variou entre 2,7 e 20,0 e.mg.

Em média, a contribuição da matéria orgânica à C.T.C. foi de 74% para amostras superficiais. Atingiu a 58% para os horizontes A₂ e A₃, a 47% para o B₁ e a 35% para B₂ e B₂₂.

1 — INTRODUÇÃO

A capacidade de troca de cátions (C.T.C.) é uma característica físico-química fundamental dos solos. Indica a quantidade de íons positivos que um solo é capaz de reter em determinadas condições e permutar por quantidades estequiometricamente equivalentes de outros íons do mesmo sinal. Trata-se de um atributo de grande interesse prático, muito útil em estudos de fertilidade, além de ser indispensável para a caracterização de unidades de solos.

(1) Este trabalho constitui parte de tese de doutoramento apresentada à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", da Universidade de São Paulo, em agosto de 1967. Recebido para publicação em 1.º de julho de 1968.

A C.T.C. é um bom indicador da atividade coloidal, daí a sua importância para a caracterização de unidades de solos. Em certos casos é possível, pela C.T.C., ter idéia dos minerais que predominam na fração argila, sem recorrer a determinações diretas da mineralogia.

A troca de íons é tratada de forma ampla no livro de Helfferich (10). O autor define trocadores de íons como sendo materiais sólidos, insolúveis, portadores de íons trocáveis. A propriedade de troca de cátions seria devida a um excesso de cargas negativas existentes na estrutura dos trocadores, o que leva a uma compensação por íons trocáveis de carga contrária.

Os componentes dos solos que apresentam a propriedade de troca de cátions costumam ser separados, de acordo com a sua natureza, em orgânicos e inorgânicos e minerais.

A C.T.C. da matéria orgânica, bem como a da matéria inorgânica, em geral é calculada a partir dos dados obtidos para uma amostra de solo integral e para uma amostra do mesmo solo em que a matéria orgânica foi destruída. Métodos estatísticos também têm sido utilizados, para conjuntos de amostras de solos.

Dentre os limites de C.T.C. da matéria orgânica, expressos em e.mg por 100 gramas, obtidos por vários autores, podem ser mencionados os dados de Mitchell (18), que variam de 70 a 200; os de Olson e Bray (22), que variam de 34 a 283; os de Kamprat e Welch (14), que variam de 62 a 278; os de Endredy e Quagraine (6), que variam de 129 a 240, e os de Barshad e Rojas-Cruz (1), que variam de 240 a 390. Valores médios de 284 e 173 foram obtidos, respectivamente, por Pratt (24) e por Helling e outros (11).

No caso da C.T.C. de alguns dos minerais existentes comumente na fração coloidal inorgânica de solos, os valores apresentados variam um tanto de autor para autor. Assim, Pichler (23) apresenta os limites de 60 a 150 e.mg por 100 gramas para a montmorilonita; de 20 a 60 para a illita; de 1 a 20 para a caulinita. Buckman e Brady (4) indicam 100 para a montmorilonita, 30 para as micas hidratadas, 8 para a caulinita e 4 para os óxidos hidratados de ferro e alumínio. Grim (7) dá os limites de 100 a 150 para a vermiculita; de 80 a 150 para a montmorilonita; de 10 a 40 para a illita e a clorita; de 5 a 10 para a haloisita- $2\text{H}_2\text{O}$; de 40 a 50 para a haloisita- $4\text{H}_2\text{O}$; de 3 a 15 para a caulinita.

QUADRO 1. — Ferfis utilizados no estudo da capacidade de troca de cations

Número do perfil	Município	Classificação	Legenda
T2875-78 (2) ..	Rio Claro	Podzólico Vermelho Amarelo- -variação Piracicaba	PVp
T2838-42 (2) ..	Rio Claro	Podzólico Vermelho Amarelo- -variação Laras	PVls
948 a-g	Pindorama	Podzolizado de Lins e Mari- lia - variação Marília	Pml
902 a-e	Pindorama	Idem	Pml
949 a-d	Itapura	Podzolizado de Lins e Mari- lia-variação Lins	Pln
929 a-d	Itu	Podzolizado com cascalhos	Pc
944 a-e	Campinas	Idem	Pc
740 a-d	Pindamonhangaba	Podzólico Vermelho Amarelo- -Orto	PV
842 a-d	Taubaté	Idem	PV
843 a-e	Taubaté	Idem	PV
844 a-e	Taubaté	Idem	PV
845 a-e	Taubaté	Idem	PV
685 a-d	Igarassu	Terra Roxa Estruturada	TE
948 a-e	Itapura	Idem	TE
853 a-d	Orlândia	Latossolo Roxo	LR
864 a-d	Campinas	Idem	LR
927 a-d	Campinas	Idem	LR
928 a-e	Ribeirão Preto ..	Idem	LR
947 a-f	Pindorama	Latossolo Vermelho Escuro- -fase arenosa	LEa
953 a-e	Itapura	Idem	LEa
782 a-d	Jacareí	Latossolo Vermelho Amarelo- -fase terraço	Lvt
803 a-e	Cruzeiro	Latossolo Vermelho Amarelo- -fase rasa	Lvr

(2) Perfis de solos registrados como amostras T.

Estudos detalhados da C.T.C. da matéria orgânica e da fração mineral, realizados em perfis de solos completos, são praticamente inexistentes para as condições tropicais.

Tendo isso em vista, e também o interesse atual em utilizar dados de C.T.C. em classificação de solos, foi realizado este trabalho. Em 22 perfis de solos do Estado de São Paulo estudou-se a C.T.C. da matéria orgânica e da fração mineral. Foi determinada a C.T.C. total dos solos e das frações orgânica e mineral. Avaliou-se, também, a contribuição da matéria orgânica e da fração mineral à C.T.C. total dos solos estudados.

2 — MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizadas 103 amostras de solos, representativas dos horizontes A e B de 22 perfis, os quais foram classificados de acordo com a Comissão de Solos (28). A relação dos perfis, bem como a dos municípios em que eles foram coletados e das unidades de solos, é apresentada no quadro 1.

Os solos escolhidos apresentaram uma variação ampla de textura, teor de matéria orgânica, pH e composição mineralógica, dentro das condições existentes no Estado de São Paulo. Não foram utilizados solos mal drenados.

Para as considerações feitas neste trabalho foram efetuadas as determinações descritas a seguir.

Argila — Foi determinada pelo método da pipeta, empregando-se o hidróxido de sódio como dispersante químico e a agitação mecânica violenta para promover a dispersão mecânica (17). Nos casos de solos com elevados teores de bases trocáveis foi feita uma prévia dessaturação com ácido clorídrico 0,1 N, seguida de lavagem com água destilada.

pH — A determinação foi feita por leitura em potenciômetro, mergulhando-se os elétrodos em suspensão de 10 g de solo e 25 ml de água destilada (5).

Matéria orgânica — Utilizou-se, para a dosagem do carbono, o método de Tiurin, na forma em que é descrito por Vettori (30). Consistiu na oxidação da matéria orgânica do solo por solução 0,4 N de bicromato de potássio e 18 N em ácido sulfúrico, submetida a uma fervura de 5 minutos. O excesso de bicromato

foi titulado com solução 0,4 N de sulfato ferroso amoniacal, empregando-se a difenilamina como indicador. A porcentagem de matéria orgânica foi estimada multiplicando-se o teor de carbono por 1,724.

Capacidade de troca de cátions — O método de determinação da capacidade de troca de cátions utilizado foi baseado parcialmente nas descrições de Jackson (13) e nas considerações de Rich (27). Consiste no seguinte: Em tubo de percolação de 1,5 cm de diâmetro colocar 2 discos de papel de filtro, uma camada de areia fina inerte à troca de íons, um grama de terra passada em peneira de 1 mm, misturada com areia, mais uma camada de areia e 2 discos de papel de filtro. Percolar duas vezes 25 ml de solução 1 N, pH 7, de acetato de cálcio, permitindo tempo de pelo menos 4 horas entre o início da primeira e o término da segunda percolação. Passar, em seguida, duas vezes 5 ml de solução 1 N de cloreto de cálcio. Após a drenagem completa desta solução, lavar as paredes e o bico do tubo de percolação com água destilada. Eliminar o excesso de solução de cálcio da amostra de solo com duas lavagens de 5 ml de água destilada e quatro lavagens com 5 ml de álcool etílico a 80%. Feito isso, substituir o frasco de recepção dos percolados por outro limpo e extrair o cálcio do solo percolando duas vezes 25 ml de solução de acetato de sódio 1 N, pH 7. Titular o cálcio com solução 0,005 M de EDTA, a pH 10, utilizando o indicador preto de eriocromo T. O número de mililitros gastos, menos os consumidos na titulação de prova em branco completa, dará a capacidade de troca de cátions, em e.mg por 100 g de terra.

Nos casos de solos com pH acima de 6,7 foi feita, antes da determinação da C.T.C., uma lavagem da amostra de solo no tubo de percolação, com 10 ml de ácido nítrico 0,1 N e 10 ml de água destilada.

Destruição da matéria orgânica pelo peróxido de hidrogênio — O processo empregado para destruir a matéria orgânica, baseado no método descrito por Jackson (12), alterado em alguns detalhes em decorrência de observações feitas no laboratório, é o seguinte: Colocar uma grama de terra passada em peneira de 1 mm em copo de 100 ml. Adicionar 50 ml de solução de acetato de sódio 1 N, pH 5, e 1 gota de peróxido de hidrogênio a 30% (100 volumes), isento de fósforo. Aquecer, deixando ferver por um minuto, resfriar, agitar e deixar decantar, para então drenar o líquido sobrenadante com trompa d'água. Adicionar

1 ml da solução de peróxido de hidrogênio a 30%, cobrir o copo com vidro de relógio e deixar por algumas horas sem aquecer, agitando esporadicamente. Em seguida colocar em uma chapa aquecida a vapor, deixando digerir até que cesse a reação do oxidante com a matéria orgânica. Agitar várias vezes durante a digestão. Resfriar o copo e repetir o tratamento com 2 ml da solução de peróxido de hidrogênio. Lavar o copo e o vidro de relógio com água destilada e reaquecer o copo descoberto, deixando evaporar o líquido, não permitindo porém que seque completamente. Resfriar, reacidificar com algumas gotas de ácido acético glacial e fazer o último tratamento com mais 2 ml de peróxido de hidrogênio. Lavar a amostra três vezes com a solução de acetato de sódio 1 N, pH 5, uma vez com acetato de sódio 1 N, pH 7, e duas vezes com água destilada, adicionando algumas gotas da solução de acetato de cálcio na primeira lavagem, para evitar dispersão da argila. Secar o material em estufa com ventilação, regulada para um máximo de 40°C. Desfazer o material seco com espátula e misturá-lo com areia, passando tudo para tubo de percolação, para a determinação da C.T.C. Remover o material que fica aderido ao copo, com pincel e com ajuda de um pouco de areia, adicionando-o ao do tubo de percolação.

Após a determinação da C.T.C., percolar 10 ml de ácido nítrico 0,5 N e 10 ml de água destilada, para eliminar o excesso de acetato de sódio. Retirar o material do tubo, separando os papéis de filtro. Secar a 40°C e determinar o teor de matéria orgânica.

Mineralogia da fração argila — Foi feita uma análise qualitativa, por difração de raios-X, na fração argila separada dos solos após a remoção dos óxidos de ferro livre, seguindo método descrito por Jackson (12).

Cálculos e expressão dos resultados — Há diversas formas de exprimir a capacidade de troca de cations das frações orgânica e mineral em solos. Neste trabalho, os resultados apresentados foram obtidos utilizando-se as expressões descritas a seguir. Todos os resultados sofreram correção para umidade e foram expressos em terra fina seca na estufa (T.F.S.E.).

$$T_{M.O.} = \frac{100 (T_1 - T_2)}{M_1 - M_2} \quad (1)$$

$$T_m = T_2 - \frac{T_{M.O.} \times M_2}{100} \quad (2)$$

$$T_o = T_1 - T_m \quad (3)$$

$$T_A = \frac{100 T_m}{\% \text{ de argila}} \quad (4)$$

Nessas expressões, T_1 , T_2 , M_1 , M_2 e a porcentagem de argila representam dados obtidos no laboratório, sendo $T_{M.O.}$, T_m , T_o e T_A valores calculados a partir dos primeiros. O seu significado é o seguinte:

T_1 — C.T.C., expressa em e.mg por 100 g de T.F.S.E., determinada em amostra de solo inalterada.

T_2 — C.T.C., expressa em e.mg por 100 g de T.F.S.E., determinada em amostra, na qual a matéria orgânica foi destruída pelo peróxido de hidrogênio.

M_1 — Porcentagem de matéria orgânica da amostra de solo inalterada.

M_2 — Porcentagem de matéria orgânica da amostra de solo tratada com o peróxido de hidrogênio.

$T_{M.O.}$ — C.T.C. específica da matéria orgânica, expressa em e.mg por 100 g.

T_m — C.T.C. devida à fração mineral, expressa em e.mg por 100 g de T.F.S.E.

T_o — C.T.C. devida à matéria orgânica, expressa em e.mg por 100 g de T.F.S.E.

T_A — C.T.C. específica, expressa em e.mg por 100 g de argila.

Pode-se, ainda, escrever a expressão

$$T_1 = T_m + T_o \quad (5),$$

significando que a C.T.C. total do solo é igual a soma da C.T.C. da fração mineral com a da matéria orgânica. Neste trabalho são apresentadas as contribuições percentuais de T_m e T_o na capacidade de troca de cátions total (T_1).

3 — RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 — CONSIDERAÇÕES SÔBRE O CÁLCULO DA CAPACIDADE DE TROCA DE CATÍONS DA MATÉRIA ORGÂNICA E DA FRAÇÃO MINERAL

Na determinação da capacidade de troca de cátions, seguindo a metodologia descrita neste trabalho, há um detalhe que merece atenção especial. Trata-se da C.T.C. do resíduo da matéria orgânica que permanece no solo após o ataque pelo peróxido de hidrogênio.

Alguns autores não têm atribuído C.T.C. ao resíduo orgânico do tratamento de amostras de solos com o peróxido de hidrogênio.

Bartlett e outros (2) verificaram, em alguns solos com baixo teor de matéria orgânica, aumento da C.T.C. pelo tratamento com o peróxido de hidrogênio.

Segundo Bradfield, citado por Waksman (31), a oxidação da matéria orgânica, pelo peróxido de hidrogênio, nem sempre reduz a capacidade de troca dos solos.

Verdade (29), eliminando a matéria orgânica de amostras de solos do Estado de São Paulo com o peróxido de hidrogênio, considerou haver um teor crítico, abaixo do qual a fração orgânica inibe a C.T.C. da fração mineral.

Ao procurar explicar o possível aumento da C.T.C. pelo tratamento de amostras de solo com o peróxido de hidrogênio, verificou-se que o ácido fosfórico, existente em soluções comerciais do oxidante, pode ter influência na C.T.C., aumentando-a. É o que se pode depreender dos exemplos dados a seguir.

NÚMERO DAS AMOSTRAS	<i>C.T.C. após tratamento</i>	<i>C.T.C. após tratamento</i>
	<i>com H₂O₂ p.a. e. mg/100 g</i>	<i>com H₂O₂ que continha 6,3 e. mg/l de P₂O₅ e. mg/100 g</i>
803 a	3,2	4,5
849 a	2,0	2,3
927 a	5,9	7,6

A destruição da matéria orgânica foi equivalente, com as duas soluções de peróxido de hidrogênio.

Não é possível afirmar, contudo, se os autores mencionados acima utilizaram soluções de peróxido de hidrogênio que continham fósforo e se esta seria a causa do aumento da C.T.C. da matéria orgânica residual.

A fim de esclarecer melhor o assunto da C.T.C. da matéria orgânica residual da digestão de amostras de solo com peróxido de hidrogênio, realizou-se uma experiência, cujos resultados são apresentados gráficamente na figura 1.

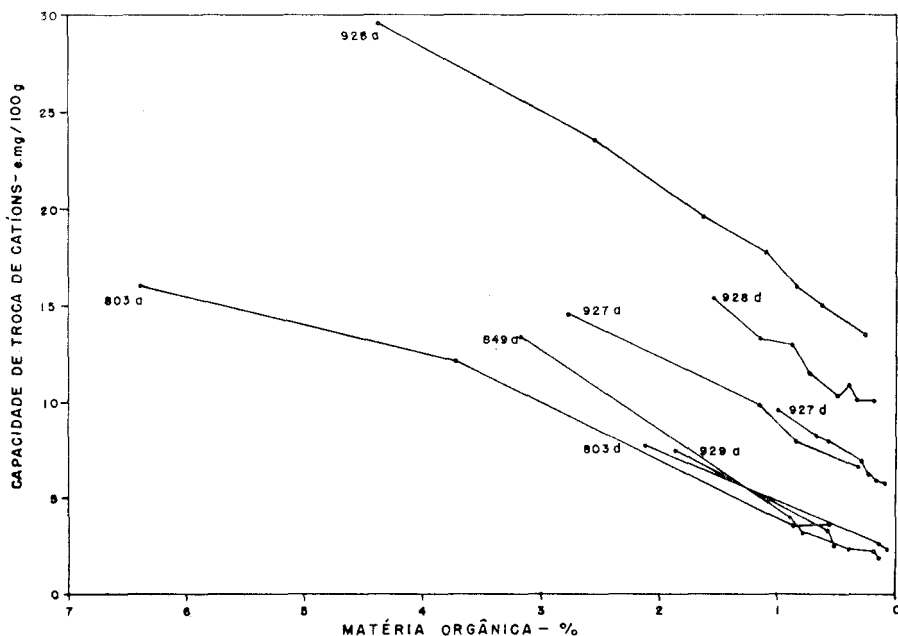


Figura 1. — Decréscimo da capacidade de troca de cátions do solo, em função da diminuição do teor de matéria orgânica, oxidada pelo peróxido de hidrogênio.

O critério de escolha das amostras levou em conta a obtenção de uma ampla variação nos teores de matéria orgânica e de argila, bem como nos resultados de C.T.C.

A experiência consistiu em tratar diversas amostras de cada solo com quantidades crescentes de peróxido de hidrogênio, determinando, em seguida, a C.T.C. e o teor de matéria orgânica. Representando os valores de matéria orgânica na abcissa e os de C.T.C. na ordenada, foram obtidos os gráficos da figura 1.

Verifica-se que há um decréscimo na C.T.C. como consequência da diminuição dos teores de matéria orgânica, as relações aproximando-se bastante de retas.

Isso parece confirmar os dados de McGeorge (16), que verificou a existência de uma relação linear entre a capacidade de troca de cátions e o teor de matéria orgânica, ao fazer a destruição progressiva desta última por digestão com o peróxido de hidrogênio.

Por outro lado, verificou-se que a destruição completa da matéria orgânica é difícil de ser conseguida com o peróxido de hidrogênio, havendo aparentemente uma relação assintótica entre a diminuição de matéria orgânica e a quantidade de oxidante empregada. Para as amostras da figura 1, utilizando solução de peróxido de hidrogênio a 30%, a destruição média da matéria orgânica foi a seguinte:

Ml de H ₂ O ₂	0,25	0,50	1,00	20,00
Matéria orgânica oxidada (% do total) —	49	59	74	93

Tendo em vista que a destruição completa da matéria orgânica pelo peróxido de hidrogênio é impraticável, passou-se a atribuir, à matéria orgânica residual, C.T.C. da mesma magnitude da da matéria orgânica oxidada, tendo em conta os resultados da figura 1. A expressão para o cálculo é a (2), do item 3.

Como foram utilizados apenas 5 ml da solução de peróxido de hidrogênio a 30% para oxidar a matéria orgânica de uma grama de terra, a medida corretiva revelou-se necessária, já que o resíduo orgânico em muitos casos foi apreciável. Em média, êle foi de 0,29% para as amostras superficiais e 0,14% para as amostras do horizonte B₂ (ou B₂₂), correspondendo respectivamente a 13% e 24% da matéria orgânica total.

3.2 — A CAPACIDADE DE TROCA DE CÁTIONS DOS SOLOS ESTUDADOS

No quadro 2 são apresentados os dados de C.T.C. obtidos para as amostras de solos estudadas. São apresentados, também, a nomenclatura dos horizontes, sua profundidade, os teores de argila e de matéria orgânica e o pH. Os perfis foram ordenados aproximadamente em ordem decrescente com relação à C.T.C. específica da fração argila, porém mantendo-se seguidos os perfis das mesmas unidades de solo.

As 5 primeiras colunas referentes à C.T.C. (quadro 2) correspondem, respectivamente, a T_1 , T_o , T_m , T_{MO} e T_A , cuja obtenção foi descrita no item 3. Nas duas últimas colunas está a contribuição porcentual da matéria orgânica e da fração mineral à C.T.C. total. A C.T.C. específica da matéria orgânica não foi apresentada quando o teor desta última era inferior a 0,50%, e a C.T.C. específica da argila não foi calculada para o horizonte A.

Nestes casos o erro analítico foi um tanto elevado, levando a resultados falsos.

Examinando os resultados de C.T.C. total, verifica-se que na maior parte dos casos ela é mais elevada na superfície, decrescendo em profundidade, acompanhando a diminuição dos teores de matéria orgânica. Nos podzólicos, contudo, em vários casos a C.T.C. é maior no horizonte B, devido aos teores mais elevados de argila desse horizonte.

3.2.1 — A C. T. C. DA MATÉRIA ORGÂNICA

A C.T.C. da matéria orgânica pode ser apreciada sob dois pontos de vista.

Pode-se considerá-la por seu valor absoluto, expresso em e.mg por 100 g de T.F.S.E. Os dados são os apresentados na oitava coluna do quadro 2. Os valores decrescem em profundidade, o que é facilmente explicado pela diminuição dos teores de matéria orgânica. São exceções apenas os perfis de podzólicos, de número 849, 902, 929, 740 e 844. Nestes casos há um pequeno aumento da C.T.C. no horizonte B, o que se explica pela elevação do teor de matéria orgânica na passagem para horizonte mais argiloso.

Pode-se, também, exprimir os dados de C.T.C. orgânica por 100 gramas de matéria orgânica, o que dá idéia da atividade dos colóides orgânicos do solo. Os dados assim expressos estão na décima coluna do quadro 2.

Verifica-se, pelo exame desses dados, que os resultados obtidos neste trabalho para a C.T.C. específica da matéria orgânica, variando de 190 a 400 e.mg por 100 g em amostras superficiais e de 160 a 490 em horizontes de amostras não superficiais, são bastante elevados, considerando os dados obtidos por outros auto-

QUADRO 2. — Horizontes, teores de argila e de matéria orgânica, pH e

Número da amostra	Horizonte	Profundidade em cm	Argila	M.O.	pH
			%	%	
PVp					
T 2875	A _p	0-3	30	4,20	5,8
2876	A _p	3-10	31	2,57	5,9
2877	B ₂₁	10-18	31	0,98	6,0
2878	B ₂₂	18-28	30	1,02	6,0
PVIs					
T 2838	A ₁	0-6	5	0,78	5,6
2839	A ₂	6-30	7	0,78	5,4
2840	B ₁	30-70	15	0,60	5,3
2841	B ₂₁	70-115	18	0,43	5,2
2842	B ₂₂	115-150	17	0,28	5,2
Pml					
849 a	A ₁₁	0-9	6	3,17	7,3
b	A ₁₂	9-24	4	0,97	7,2
c	A ₂	24-41	2	0,35	7,2
d	B ₁	41-58	7	0,31	7,2
e	B ₂₁	58-100	22	0,47	7,8
f	B ₂₂	100-148	28	0,33	8,1
g	B ₃	148-180	22	0,26	5,5
902					
a	A _p	0-15	6	0,60	5,8
b	A _p	15-28	6	0,43	6,0
c	A ₂₂	28-45	12	0,38	5,9
d	B ₂₁	45-75	29	0,53	5,8
e	B ₂₂	75-100	27	0,36	5,9
Pln					
949 a	A _{1p}	0-14	12	2,52	6,4
b	A ₂	14-30	17	0,69	6,3
c	B ₁	30-47	23	0,50	6,2
d	B ₂	47-100	24	0,33	6,4

características de capacidade de troca de cations dos perfis estudados

Capacidade de troca de cations						
Por 100 g de T.F.S.E.			Especificas, por 100 g		Contribuição relativa	
Total	M.O.	F.M.	M.O.	Argila	M.O.	F.M.
e.mg	e.mg	e.mg	e.mg	e.mg	%	%
29,8	8,2	21,6	200	---	28	72
27,3	4,9	22,4	190	---	18	82
33,4	2,4	31,0	250	---	7	93
36,8	2,7	34,1	260	---	7	93
3,2	2,2	1,0	280	---	69	31
3,2	1,9	1,3	240	---	59	41
4,2	1,2	3,0	200	20,0	29	71
4,4	0,9	3,5	---	19,4	20	80
3,5	0,2	3,3	---	19,4	6	94
12,5	11,0	1,5	350	---	88	12
4,4	3,4	1,0	350	---	77	23
2,1	1,5	0,6	---	---	71	29
2,6	1,0	1,6	---	---	48	52
5,6	1,3	4,3	---	19,6	23	77
5,1	0,6	4,5	---	16,1	12	88
3,7	0,2	3,5	---	15,9	5	95
3,3	2,1	1,2	350	---	64	36
3,0	1,8	1,2	---	---	60	40
3,4	1,4	2,0	---	---	41	59
5,8	1,5	4,3	---	14,8	26	74
5,0	0,9	4,1	---	15,2	18	82
10,0	8,2	1,8	330	---	82	18
4,7	2,5	2,2	360	---	53	47
4,1	1,7	2,4	340	10,4	41	59
3,6	1,2	2,4	---	10,0	33	67

(Continua)

(Continuação)

Número da amostra	Horizonte	Profundidade em cm	Argila	M.O.	pH
			%	%	
Pc					
929 a	A ₁	0-16	19	2,40	5,9
b	A ₂	16-36	27	0,83	5,7
c	B ₂₁	36-45	42	0,97	6,0
d	B ₂₂	45-74	53	0,85	5,8
PV					
943 a	A ₁	0-6	17	3,05	5,3
b	A ₂	6-31	19	1,76	5,0
c	B ₁	31-45	33	0,91	5,5
d	B ₂₁	45-90	33	0,86	5,5
e	B ₂₂	90-145	37	0,35	4,9
740 a	A _{1p}	0-20	19	1,15	5,3
b	A ₂	20-32	25	0,53	5,2
c	B ₁	32-46	39	0,62	5,1
d	B ₂	46-78	58	0,71	5,0
845 a	A _{1lp}	0-10	23	3,57	5,7
b	A ₁₂	10-18	23	1,64	5,8
c	A ₂	18-27	28	1,09	5,9
d	B ₁	27-51	42	0,89	6,1
e	B ₂	51-131	43	0,40	6,2
844 a	A _{1p}	0-12	13	1,40	5,5
b	A ₂	12-33	28	0,67	4,8
c	B ₁	33-45	57	0,85	4,6
d	B ₂₁	45-59	54	0,83	4,4
e	B ₂₂	59-110	56	0,52	4,3
842 a	A ₁ + A ₂	0-11	38	2,30	4,5
b	B ₁	11-47	53	0,98	4,3
c	B ₂	47-83	55	0,66	4,4
d	B ₃	83-110	48	0,31	4,5

Capacidade de troca de cátions

Por 100 g de T.F.S.E.			Específica, por 100 g		Contribuição relativa	
Total	M.O.	F.M.	M.O.	Argila	M.O.	F.M.
e.mg	e.mg	e.mg	e.mg	e.mg	%	%
7,4	6,0	1,4	250	---	81	19
4,2	2,3	1,9	280	---	55	45
5,7	2,5	3,2	260	6,7	44	56
5,5	2,0	3,5	240	6,6	36	64
8,4	6,4	2,0	210	---	76	24
5,5	3,6	1,9	190	---	65	35
4,5	2,3	2,2	250	6,7	51	49
4,7	2,0	2,7	240	8,2	43	57
3,5	0,6	2,9	---	7,8	17	83
4,7	2,9	1,8	250	---	62	38
3,1	1,4	1,7	260	---	45	55
4,3	1,7	2,6	270	6,7	39	51
5,5	1,9	3,6	270	6,2	40	60
11,0	8,7	2,3	240	---	78	22
6,8	4,5	2,3	270	---	66	34
5,4	3,0	2,4	280	---	56	44
4,8	2,1	2,7	240	6,4	44	56
3,6	1,2	2,4	---	5,6	33	67
3,7	2,7	1,0	190	---	73	27
3,2	1,8	1,4	270	---	56	44
4,6	2,2	2,4	260	4,2	48	52
5,4	2,4	3,0	290	5,6	44	56
4,6	1,5	3,1	290	5,5	33	67
6,3	4,3	2,0	190	---	68	32
4,5	1,9	2,6	190	4,9	42	48
3,7	1,0	2,7	160	4,9	27	73
2,8	0,6	2,2	---	4,0	21	79

(Continua)

(Continuação)

Número da amostra	Horizonte	Profundidade em cm	Argila	M.O.	pH
			%	%	
843 a	A _{1p}	0-14	18	3,17	6,1
b	A ₂	14-26	27	1,33	5,9
c	B ₁₁	26-42	38	1,02	5,5
d	B ₁₂	42-66	48	0,81	5,4
e	B ₂	66-112	47	0,43	5,7
TE					
948 a	A _{1p}	0-14	37	4,19	7,4
b	A ₃	14-31	58	1,26	6,9
c	B ₁	31-53	64	0,91	6,9
d	B ₂₁	53-70	71	0,55	6,6
e	B ₂₂	70-112	66	0,76	6,4
685 a	A _{1p}	0-15	64	4,51	6,8
b	A ₃	15-35	63	2,64	6,7
c	B ₂₁	35-55	71	0,76	5,5
d	B ₂₂	55-130	71	0,36	5,3
LR					
928 a	A ₁	0-18	59	4,51	6,8
b	A ₃	18-40	56	2,66	7,3
c	B ₁	40-58	59	2,09	6,7
d	B ₂₂	58-82	58	1,52	7,1
e	B ₂₃	82-110	57	1,17	6,9
927 a	A ₁₁	0-5	41	2,83	5,9
b	A ₁₂	5-12	42	2,87	5,7
c	B ₁	12-40	56	1,52	6,1
d	B ₂	40-75	61	1,02	6,3

Capacidade de troca de cations

Por 100 g de T.F.S.E.			Específica, por 100 g		Contribuição relativa	
Total	M.O.	F.M.	M.O.	Argila	M.O.	F.M.
e.mg	e.mg	e.mg	e.mg	e.mg	%	%
9,1	7,9	1,2	250	---	87	13
5,3	3,8	1,5	290	---	72	28
4,3	2,5	1,8	260	4,7	58	42
4,7	2,6	2,1	---	4,4	55	45
3,5	1,4	2,1	---	4,5	40	60
24,9	16,9	8,0	400	---	68	32
14,4	4,7	9,7	370	---	33	67
14,1	3,0	11,1	330	17,3	21	79
11,9	2,0	9,9	360	13,0	18	82
13,4	2,3	11,0	300	16,7	17	83
24,4	15,0	9,4	330	---	62	38
18,3	10,9	7,4	410	---	60	40
8,9	1,9	7,0	250	9,9	21	79
7,8	1,3	6,5	---	9,1	17	83
28,9	16,1	12,8	360	---	56	44
25,6	13,0	12,6	490	---	51	49
18,2	8,5	9,7	410	16,4	47	53
14,8	5,9	8,9	390	15,4	40	60
12,0	5,1	6,9	440	12,1	42	58
14,6	9,7	4,9	340	---	66	34
14,4	9,4	5,0	350	---	65	35
11,3	6,5	4,8	430	8,6	57	43
9,3	4,8	4,5	470	7,4	52	48

(Continua)

(Continuação)

Número da amostra	Horizonte	Profundidade em cm	Argila	M. O.	pH
			%	%	
853 a	A	0-14	52	2,66	5,2
	P				
b	A ₃	14-42	53	1,83	5,1
c	B ₂	42-79	56	1,22	5,3
d	B ₃	79-150	53	0,93	5,0
864 a	A	0-13	33	2,58	5,2
	1p				
b	A ₃	13-38	39	1,54	5,3
c	B ₂	38-73	45	1,04	5,3
d	B ₃	73-115	34	0,71	5,5
LEa					
947 a	A ₁₁	0-6	21	3,33	5,5
b	A ₁₂	6-19	16	1,48	5,1
c	A ₃	19-47	18	0,83	5,0
d	B ₁	47-82	18	0,60	4,7
e	B ₂₁	82-105	24	0,47	4,7
f	B ₂₂	105-240	26	0,38	4,8
953 a	A	0-17	24	1,21	5,2
	1p				
b	A ₁₂	17-40	28	0,81	4,5
c	A ₃	40-74	31	0,93	4,1
d	B ₂	74-114	31	0,59	4,6
e	B ₃	114-163	31	0,43	5,0
LVt					
782 a	A	0-20	25	1,95	4,6
	1p				
b	A ₃	20-40	35	1,48	4,6
c	B ₁	40-57	40	0,88	4,7
d	B ₂	57-97	41	0,62	4,7
LVR					
803 a	A	0-13	56	6,49	5,0
	1p				
b	A ₃	13-21	56	3,62	4,9
c	B ₁	21-38	58	2,74	4,9
d	B ₂	38-61	63	2,19	4,9
e	B ₃	61-84	65	1,43	5,0

Capacidade de troca de cations

Por 100 g de T.F.S.E.			Específica, por 100 g		Contribuição relativa	
Total	M.O.	F.M.	M.O.	Argila	M.O.	F.M.
e.mg	e.mg	e.mg	e.mg	e.mg	%	%
9,5	6,4	3,1	240	---	67	33
6,9	3,9	3,0	210	---	57	43
5,0	2,7	2,3	220	5,0	54	46
4,2	2,1	2,1	230	4,9	50	50
9,2	7,2	2,2	280	---	78	22
7,0	4,6	2,4	290	---	66	34
5,4	3,2	2,2	310	4,9	59	41
4,2	2,2	2,0	310	5,9	52	48
10,2	8,7	1,5	260	---	85	15
4,4	2,9	1,5	200	---	66	34
3,7	1,7	2,0	210	---	46	54
3,5	1,5	2,0	250	11,1	43	57
3,4	0,9	2,5	---	10,8	26	74
3,4	0,5	2,9	---	11,1	15	85
3,9	2,9	1,0	240	---	74	26
3,9	2,6	1,3	320	---	67	33
3,9	2,7	1,2	290	---	69	31
3,2	1,9	1,3	320	4,2	59	41
2,7	1,6	1,1	---	3,6	59	41
6,2	4,0	2,2	210	---	65	35
5,4	3,2	2,2	210	---	59	41
4,6	2,5	2,1	280	5,3	54	46
4,1	1,8	2,3	290	5,6	44	56
16,3	14,9	1,4	230	---	91	9
11,4	9,8	1,6	270	---	86	14
9,4	7,6	1,8	280	---	81	19
7,7	6,0	1,7	270	2,7	78	22
6,3	4,3	2,0	300	3,1	68	32

res, já mencionados anteriormente. Pode-se explicar isto, em parte, pelo emprêgo do acetato de cálcio na determinação da C.T.C., que dá resultados mais elevados do que os obtidos pelo método do acetato de amônio, comumente empregado (26). Também deve ter influído o fato de ter sido considerada, neste trabalho, a C.T.C. da matéria orgânica residual, isto sem considerar que muitos pesquisadores talvez tenham empregado soluções de peróxido de hidrogênio que continham fósforo, na destruição da matéria orgânica. Finalmente, deve ser considerado que os solos estudados foram coletados em clima tropical, onde a evolução da matéria orgânica é favorecida, enquanto a maior parte dos autores citados na literatura estudou solos de clima temperado.

Um fato que chama a atenção é a aparente relação que existe entre a C.T.C. específica da matéria orgânica e o pH dos solos. Considerando os perfis isoladamente, em sete dêles a C.T.C. orgânica aumenta em profundidade quando aumenta o pH do solo, em cinco, diminui ao diminuir o pH, e em apenas dois casos ela diminui e o pH aumenta. Nos oito perfis restantes, não houve variação acentuada.

Estudando as amostras de diferentes perfis em conjunto, verificou-se a existência de correlação linear altamente significativa entre a C.T.C. da matéria orgânica e o pH dos solos, para amostras superficiais e subsuperficiais (segunda camada de cada perfil), o que se pode ver pela figura 2.

Hallsworth e Wilkinson (8), em um estudo semelhante, obtiveram uma boa correlação entre a média do pH de diferentes grupos de solos e os logaritmos da capacidade de troca de cátions da matéria orgânica.

A figura 2 permite concluir que a matéria orgânica apresenta maior capacidade de troca de cátions nos solos de pH mais alto. Pelas equações apresentadas verifica-se que a fração orgânica teria a pH 7 uma C.T.C. mais de duas vezes maior do que teria a pH 4, por exemplo, considerando a média.

A maior atividade da matéria orgânica, avaliada por sua capacidade de troca, dos solos com pH mais alto, provavelmente seja devida à existência de melhores condições de evolução da matéria orgânica em tais condições. Sabe-se que a atividade microbiana dos solos é máxima entre pH 6 e 7 (4) e que esta atividade favorece a decomposição de restos vegetais e a consequente evolução da matéria orgânica do solo pròpriamente dita.

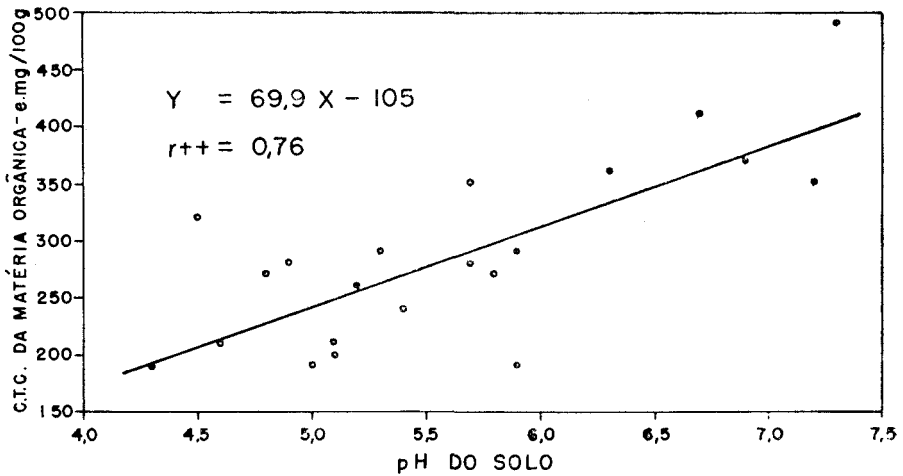
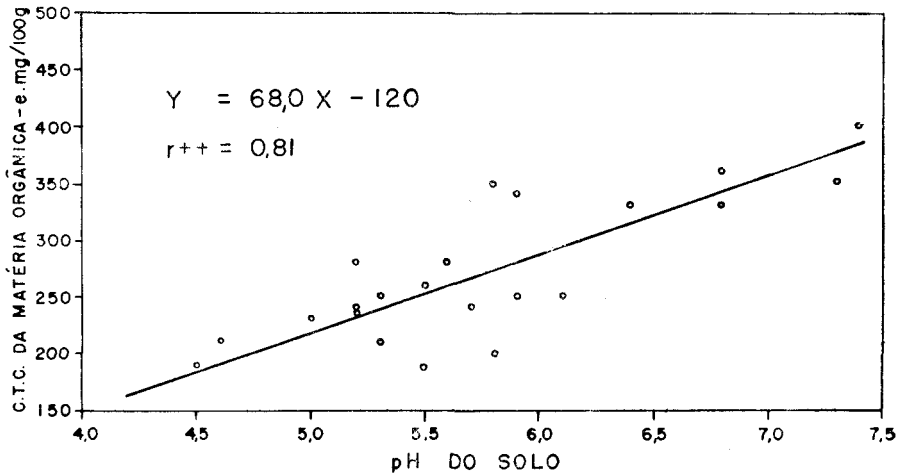


Figura 2. — Relação entre o pH dos solos e a capacidade de troca de cátions da matéria orgânica: **Em cima** — dos horizontes superficiais; **Em baixo** — dos horizontes subsuperficiais.

A mesma conclusão pode ser tirada dos trabalhos de McGeorge (16), que constatou que aumentos da C.T.C. orgânica acompanham os sucessivos estádios de decomposição da matéria orgânica do solo, e de Broadbent (3), que associou os aumentos na capacidade de restos vegetais em reter bases com o desenvolvimento da decomposição desses mesmos restos.

A discussão feita nos últimos parágrafos permite sugerir um problema interessante, a ser estudado em fertilidade do solo. Trata-se de saber se, com a prática da calagem, seria possível aumentar a capacidade de troca de cátions da matéria orgânica.

3.2.2 — A C. T. C. DA FRAÇÃO MINERAL

Da mesma forma que no caso da matéria orgânica, pode-se apreciar a C.T.C. da fração mineral por seu valor absoluto e por seu valor relativo.

A C.T.C. da fração mineral é apresentada, de forma absoluta, na nona coluna do quadro 2. Os resultados são expressos em e.mg por 100 g de T.F.S.E.

Na consideração desses resultados cabe apenas dizer que eles acompanham os teores de argila. Assim, de uma maneira geral, nos Podzólicos, onde o teor de argila é quase sempre bem maior no horizonte B do que no A, a C.T.C. da fração mineral também o é, enquanto nos Latossolos, onde o teor de argila aumenta menos em profundidade, a C.T.C. inorgânica também varia pouco. Os perfis 685, de Terra Roxa Estruturada, e 928, de Latossolo Roxo, diferem dos demais, pois a C.T.C. inorgânica diminui bastante em profundidade, apesar de o teor de argila aumentar no mesmo sentido.

A C.T.C. da fração mineral, expressa em e.mg por 100 g de argila (antepenúltima coluna do quadro 2), apresenta grande interesse, por permitir a comparação de dados obtidos para solos de textura diferente, além de tornar possível a avaliação da atividade da argila em si, no que diz respeito à troca de cátions.

Deve-se mencionar, contudo, que ao exprimir a C.T.C. inorgânica por 100 g de argila admite-se que só esta fração granulométrica apresenta essa propriedade, dentre os componentes da fração mineral. Isto nem sempre é verdade, havendo casos em que o limo pode apresentar capacidade de troca (19, 15, 19).

No caso da amostra T 2878 constatou-se que o limo apresentava considerável C.T.C. (25), razão pela qual os resultados da C.T.C. da fração argila do perfil T 2875-78 foram omitidos do quadro 2.

Nos demais perfis, os valores de C.T.C. da argila variaram de 2,7 a 20,0 e.mg por 100 gramas. Estes resultados não dife-

QUADRO 3. — Análise mineralógica qualitativa da fração argila

Número da amostra	Mineral revelado por difração de raios-X (3)
T 2878	Montmorilonita (+++), mica (++)
T 2842	Caulinita (+++), gibsita (+), vermiculita (tr).
849 f	Caulinita (+++), mica (+)
902 e	Caulinita (+++)
949 d	Caulinita (+++), mica (tr).
929 d	Caulinita (+++), gibsita (+), vermiculita (tr)
943 e	Caulinita (+++), vermiculita (+), (
740 d	Caulinita (+++), mica (+), vermiculita (tr).
845 e	Caulinita (+++), mica (+)
844 e	Caulinita (+++), mica (+)
842 c	Caulinita (+++), mica (tr).
843 e	Caulinita (+++), mica (+)
948 e	Caulinita (+++)
685 d	Caulinita (+++)
928 d	Caulinita (+++), gibsita (++)
927 d	Caulinita (+++), gibsita (+), vermiculita (tr).
853 c	Caulinita (++) , gibsita (++)
864 c	Caulinita (++) , gibsita (++)
947 f	Caulinita (+++), gibsita (+), vermiculita (tr).
953 d	Caulinita (+++), vermiculita (tr.)
782 d	Caulinita (+++), gibsita (+)
803 d	Caulinita (+++), gibsita (+)

() +++ teor elevado, ++ teor médio, + teor baixo, tr. traços.

rem muito dos calculados pela Comissão de Solos (28), que obteve valores de 0 a 8 para solos com horizonte B latossólico e 4 a 27 para solos com horizonte B textural.

Procurou-se explicar a variação da C.T.C. através da composição mineralógica, determinada por difração de raios-X, em amostras do horizonte B. Os resultados da análise mineralógica são apresentados no quadro 3.

No caso da amostra T 2878, mesmo não tendo sido calculada a C.T.C. da fração argila, verifica-se que a fração inorgânica apresenta elevada C.T.C., o que pode ser atribuído à montmorilonita, detectada neste solo.

Nos demais casos não foi possível relacionar a C.T.C. da argila com a sua composição mineralógica. Em todos os casos aparece caulinita, tendo sido detectados também os minerais mica, gibsita e vermiculita.

A presença de vermiculita, mineral de argila com alta capacidade de troca de cátions, não pode ser associada à C.T.C. mais elevada da fração argila de alguns dos solos estudados. A existência do referido mineral só foi verificada em dois desses casos (T 2842 e 947 f), aparecendo também em diversas amostras com argila de atividade mais baixa (929 d, 943 e, 740 d, 927 d e 953 d).

Os valores calculados para a C.T.C. da argila parecem um tanto elevados para a caulinita, o mineral mais abundante em quase todas as amostras analisadas, principalmente nos casos das de número T 2842, 849 f, 902 e, 948 e, 928 d e 947 f, onde ultrapassam a 10 e.mg por 100 g.

Deve ser lembrado que a difração de raios-X permite apenas a detecção de minerais bem cristalizados, e que, no caso da caulinita, quanto maior o grau de cristalização, menor será a C.T.C. do mineral.

Moniz (20), estudando a composição mineralógica de perfis de Terra Roxa Estruturada e de Latossolo Roxo, determinou consideráveis quantidades de alofanos, materiais hidratados com relação sílica: alumina variável, e que são amorfos aos raios-X. O autor atribui, no mesmo trabalho, elevada C.T.C. a esses materiais, em um perfil de Terra Roxa Estruturada (60 a 150 e.mg por 100 g), e valores mais baixos nos demais solos estudados (0 a 30 e.mg por 100 g).

A existência de materiais amorfos com C.T.C. considerável, nos solos estudados, é assunto que não está fora de questão.

Para as mesmas amostras utilizadas no estudo da mineralogia apresentado no quadro 3, foi obtida excelente correlação ($r^{++} = 0,97$) entre a C.T.C. e a superfície específica, tendo ambos os valores sido determinados em amostras das quais removeu-se a matéria orgânica e os óxidos de ferro livre (25). Correlação semelhante foi obtida por MortLand, para solos que continham montmorilonita, illita e caulinita (21).

3.3 — CONTRIBUIÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA À C.T.C. DOS SOLOS

A contribuição percentual da matéria orgânica e da fração mineral à capacidade de troca de cátions dos solos estudados foi apresentada nas duas últimas colunas do quadro 2.

Como os teores de matéria orgânica decrescem em profundidade, a sua contribuição à C.T.C. também diminui de importância no mesmo sentido.

É grande a importância da matéria orgânica na C.T.C. de 21 dos 22 perfis estudados. Apenas no perfil T 2875-78, que representa um solo muito raso, que contém montmorilonita provavelmente como herança do material de origem, a contribuição percentual da matéria orgânica é de menor importância, devido à alta C.T.C. da fração mineral.

Nos perfis restantes a porcentagem média da C.T.C. devida à matéria orgânica foi a seguinte:

HORIZONTE	Número de amostras consideradas	Contribuição da M.O. à C.T.C.	Amplitude de variação
Superficiais ...	21	74%	56 a 91%
A ₂ e A ₃	19	58%	33 a 86%
B ₁	16	47%	21 a 81%
B ₂ e B ₂₂	21	35%	6 a 78%

Os valores são mais elevados que os obtidos por Verdade (29), que, para solos do Estado de São Paulo, concluiu que a C.T.C. da matéria orgânica contribui com 30% a 40% do total em solos argilosos e com 50% a 60% em solos arenosos.

Considerando os perfis de solos, individualmente, verifica-se que a contribuição porcentual da matéria orgânica à C.T.C. total dos solos depende do teor de matéria orgânica, do teor de argila e da C.T.C. específica de cada uma.

CATION EXCHANGE CAPACITY OF THE ORGANIC AND MINERAL FRACTIONS OF SOILS

SUMMARY

Data of cation-exchange capacity (C.E.C.) were obtained for 22 soil profiles of the State of São Paulo.

C.E.C. of organic matter varied from 190 to 400 me. per 100 g in the samples from surface horizons, and from 160 to 490 in those from other horizons. A highly significant relationship was obtained between organic C.E.C. and soil pH, for the soil samples from surface horizons ($r_{++} = 0.81$) and also for the horizons collected just below the surface horizon ($r_{++} = 0.76$).

Clay C.E.C. varied between 2.7 and 20.0 me. per 100 g in 21 of the soil profiles studied. It was not possible to relate the clay C.E.C. values to the mineralogical composition, as determined by X-ray diffraction.

As average, the contribution of organic matter to the C.E.C. in 21 soil profiles was: 74 per cent for surface samples; 58 per cent for the A₂ and A₃ horizons; 47 per cent for the B₁ horizon; and 35 per cent for the B₂ horizon.

LITERATURA CITADA

1. BARSHAD, I. & ROJAS-CRUZ, L. A. A pedologic study of a podzol soil profile from the Equatorial region of Colombia, South America. *Soil Sci.* 70:221-236, 1950.
2. BARTLETT, J. B.; RUBLE, R. W. & THOMAS, R. P. The influence hydrogen peroxide treatments on the exchange capacity of Maryland soils. *Soil Sci.* 44:123-138, 1953.
3. BROADBENT, F. E. The soil organic fraction. **In:** Norman, A. G., ed. *Advances in Agronomy* 5. New York, Academic Press, 1953. p.153-183.
4. BUCKMAN, H. O. & BRADY, N. C. The nature and properties of soils. 6th ed. New York, McMillan Company, 1960. 567p.

5. CATANI, R. A.; GALLO, J. R. & GARGANTINI, H. Amostragem de solo, métodos de análise, interpretação e indicações gerais para fins de fertilidade. Campinas, Instituto Agrônomo, 1955. 29p. (Boletim 69)
6. ENDREDY, A. S. & QUAGRAINE, K. A. A comprehensive study of cation exchange in tropical soils. In: Trans. 7th Inter. Congr. Soil Sci. 1960. v.2. p.312-320.
7. GRIM, R. E. Propriedades das argilas. Cerâmica 35:18-43, 1963.
8. HALLSWORTH, E. G. & WILKINSON, G. K. The contribution of clay and organic matter to the cation-exchange capacity of the soil. J. agric. Sci. 51:1-3, 1958.
9. HARMAN, C. C. & FRAULINI, F. Properties of kaolinite as a function of its particle size. J. Amer. ceram. Soc. 23:252-259, 1940.
10. HELFFERICH, F. Ion exchange. New York, McGraw-Hill, 1962. 624p.
11. HELLING, C. S.; CHESTERS, G. & COREY, R. B. Contribution of organic matter and clay to soil cation-exchange capacity as affected by the pH of the saturating solution. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 28:517-520, 1964.
12. JACKSON, M. L. Soil chemical analysis. Englewood Cliffs, N. J., Prentice-Hall, 1960. 498p.
13. ————. Soil chemical analysis — Advanced course. Madison, Univ. of Wisconsin, Dep. Soils, 1956. 991p.
14. KAMPRATH, E. J. & WELCH, C. D. Retention and cation-exchange properties of organic matter in Coastal Plain soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 26:263-265, 1962.
15. KARIM, A. & ISLAM, A. A study of ion-exchange properties of silt. Soil Sci. 82:433-436, 1956.
16. McGEORGE, W. T. The base-exchange properties of soil organic matter. J. Amer. Soc. Agron. 23:331-336, 1931.
17. MEDINA, H. P. & GROHMANN, F. Contribuição ao estudo da análise granulométrica do solo. In: Anais do VI Congr. Bras. Ciência do Solo, 1962. p.29-38.
18. MITCHELL, J. The origin, nature, and importance of soil organic constituents having base exchange properties. J. Amer. Soc. Agron. 24:256-275, 1932.
19. MOHAMED, M. K. & GOHAR, A. A. I. Contribution of clay, silt and organic matter to the potential fertility of Egyptian soil as measured by their cation-exchange capacities. Unit. Arab. Republ., Minist. Agric. 1960. 42p. (Resumo de Soils and Fert. 24:7)
20. MONIZ, A. C. Quantitative mineralogical analysis of Brazilian soils developed from basic rocks and slate. Madison, Univ. Wisconsin, 1967. 75p. (Master of Science thesis)

21. MORTLAND, M. M. Specific surface and its relationships to some physical and chemical properties of soil. *Soil Sci.* 78:343-347, 1954.
22. OLSON, L. C. & BRAY, R. H. The determination of the organic base-exchange capacity of soils. *Soil Sci.* 45:483-496, 1938.
23. PICHLER, E. Argilas. *Cerâmica* 12:146-174, 1957.
24. PRATT, P. F. Effect of fertilizers and organic materials on the cation-exchange capacity of an irrigated soil. *Soil Sci.* 83:85-89, 1957.
25. RAIJ, B. VAN. A capacidade de troca de cátions das frações orgânica e mineral em solos. Campinas, 1967. 67fls. (Tese de doutoramento apresentada à Esc. Sup. Agr. Luiz de Queiroz, da Univ. S. Paulo — Mimeografado)
26. ————— & KÜPPER, A. Capacidade de troca de cátions em solos. Estudo comparativo de alguns métodos. *Bragantia* 25:327-336, 1966.
27. RICH, C. I. Removal of excess salt in cation-exchange-capacity determination. *Soil Sci.* 93:87-94, 1963.
28. SERVIÇO NACIONAL DE PESQUISAS AGRONÔMICAS. COMISSÃO DE SOLOS. Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado de São Paulo. Rio de Janeiro, Minist. Agricultura, 1960. 630p. (Boletim 12)
29. VERDADE, F. C. Influência da matéria orgânica na capacidade de troca de cátions do solo. *Bragantia* 15:35-42, 1956.
30. VETTORI, L. Métodos de análise de solos. Rio de Janeiro, Minist. Agricultura, Div. Pedologia e Fertilidade do Solo, 1966. 19p. (Mimeografado)
31. WAKSMAN, S. A. Humus. London, Baillière, Tindall and Cox, 1938. 526p.