

**BORO EM ALGUNS SOLOS DO ESTADO
DE SÃO PAULO**
Avaliação por Métodos Biológicos

M.O.C. Brasil Sobrinho (1)
O. Freire (1)

INTRODUÇÃO

O boro é um dos micronutrientes essenciais ao desenvolvimento das plantas; embora, seja absorvido em quantidades relativamente altas. Sua falta influencia não só a quantidade das colheitas, mas, também, a qualidade do produto.

Algumas espécies vegetais são mais sensíveis do que outras à escassez de boro no solo. No Estado de São Paulo, tem-se observado sinais de carência deste elemento nas culturas de café, citros, girassol, tomate e várias espécies hortícolas, o que indica que alguns solos da região não contenham quantidades adequadas desse micronutriente em forma solúvel.

Tendo como base essa hipótese, este trabalho visa a avaliação do boro disponível nos principais solos do Estado de São Paulo, por meio de testes biológicos, cujos resultados venham permitir, também, a comprovação da eficiência dos métodos químicos utilizados com a mesma finalidade.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

De acordo com SWAINE (1955), o teor de boro total no solo varia de 2 a 100 ppm. Entretanto, o teor de boro assimilável,

(1) Escola Superior de Agricultura «Luiz de Queiroz», USP, Piracicaba

segundo BERGER (1949), oscila entre 0,1 a 2 ppm, resultando, quase totalmente da fração orgânica do solo.

TISDALE & NELSON (1956) afirmaram que as deficiências de boro se manifestam, principalmente, nos solos arenosos e com baixo teor de matéria orgânica.

Tem sido observada uma relação inversa entre pH do solo e conteúdo de boro assimilável, embora existam controvérsias a este respeito. BERGER & TRUOG (1940) afirmaram que existe uma correlação positiva entre Boro solúvel e pH do solo, na faixa de pH 4,7 a 6,7 e uma correlação negativa, na faixa de pH 7,1 a 8,1.

BRASIL S.^o & FREIRE (1979) realizaram um levantamento do conteúdo de boro assimilável dos solos do Estado de São Paulo, tendo concluído que apenas os solos pertencentes ao Grande Grupo Podzolizados de Lins e Marília apresentam altos teores de boro solúvel; enquanto que os pertencentes aos Grandes Grupos Latosol Vermelho Escuro, fase arenosa; Latosol Vermelho-Amarelo, fase arenosa e Regosol apresentam teores baixos.

MATERIAL E MÉTODOS

Material

O objeto de estudo deste trabalho é constituído por alguns solos do Estado de São Paulo identificados e mapeados pela COMISSÃO DE SOLOS (1960), ao nível de grandes-grupos.

A seleção dos solos para o levantamento do conteúdo de boro foi baseada na importância agrícola e na expressão geográfica das unidades de mapeamento.

O quadro I mostra as características químicas dos solos do Estado de São Paulo.

Amostragem dos solos

De cada horizonte dos perfis, no local em que foram descritos, colheu-se uma amostra de, aproximadamente, 30 kg.

As amostras foram postas para secar ao ar e depois, passadas em tamis de 2 mm.

Cada amostra preparada foi acondicionada em sacos plásticos devidamente etiquetados.

QUADRO I - Características químicas de alguns Grandes Grupos de solos do Est. de S. Paulo.

N.º	Solo	Horizonte (cm)	pH	C %	Mat. org. %	N total %	s.mg/100g TFSA			
							PO ₄ sol. em H ₂ SO ₄ 0,06 N	K ⁺ trocá-vel	Ca ⁺⁺ trocá-vel	Mg ⁺⁺ trocá-vel
1	L.V. Am, fase arenosa	A ₁ -0-30	4,90	0,75	1,29	0,084	0,067	0,07	0,50	0,43
2	" "	A ₃ -30-50	4,80	0,84	1,44	0,084	0,045	0,05	0,45	0,39
3	" "	B ₁ -64-166	5,10	0,30	0,51	0,084	0,031	0,02	1,33	0,21
4	" "	B ₂ - 166	5,30	0,30	0,51	0,084	0,031	0,02	1,73	0,36
5	Regosol	A _p -0-30	5,10	0,51	0,86	0,084	0,045	0,02	1,33	0,31
6	" "	C _a -30-60	5,20	0,30	0,51	0,098	0,045	0,02	1,73	0,21
7	" "	C _a -60-120	5,50	0,58	0,99	0,070	0,042	0,02	1,33	0,21
8	L.V. Esc., orto	A ₁ -0-25	5,20	0,60	1,03	0,154	0,054	0,14	1,33	0,38
9	" "	A ₂ -25-50	5,30	0,69	1,18	0,098	0,031	0,02	1,30	0,29
10	" "	B-50-70	5,60	0,54	0,92	0,098	0,031	0,02	2,00	0,16
11	" "	C-70-120	5,40	0,30	1,03	0,098	0,014	0,03	1,73	0,16
12	L. Roxo	A _p -0-23	5,70	1,50	2,58	0,084	0,054	0,12	1,73	0,99
13	" "	B ₁ -23-100	5,50	0,63	1,08	0,084	0,014	0,02	2,00	0,43
14	" "	B ₂₂ -100-200	6,00	0,81	1,36	0,140	0,031	0,03	2,80	0,56
15	" "	B ₂₃ -200-300	5,80	0,45	0,77	0,084	0,014	0,02	2,40	0,41
16	" "	C-300-320	4,70	0,15	0,25	0,070	0,031	0,10	1,33	0,41
17	L.V. Esc., arenoso	A ₁ -0-23	4,90	0,90	1,54	0,126	0,067	0,07	0,50	0,16
18	" "	B ₁ -23-90	5,00	0,30	0,51	0,084	0,031	0,02	0,40	0,16
19	" "	B ₂₁ -90-145	5,70	0,30	0,51	0,070	0,014	0,02	1,33	0,16
20	P.L.M. Var. Marília	A _p -6-21	6,30	0,90	1,54	0,126	0,110	0,24	3,06	0,99
21	" "	B ₂₁ -21-40	6,30	0,30	0,51	0,084	0,054	0,14	3,20	0,33
22	" "	B ₂₂ -40-85	6,40	0,30	0,72	0,084	0,054	0,22	4,00	1,03
23	" "	B ₃ -85-197	6,40	0,15	0,25	0,070	0,042	0,49	3,68	1,99
24	" "	C-197-252	5,90	0,15	0,25	0,070	0,031	0,17	2,40	1,07
25	P.L.M. Var. Lins	A _p -0-30	5,90	1,20	2,06	0,168	0,093	0,04	4,00	1,24
26	" "	B ₂₁ -30-50	6,20	0,51	0,86	0,098	0,081	0,04	4,80	0,21
27	" "	B ₂₂ -50-70	6,30	0,30	0,51	0,084	0,074	0,06	5,33	0,24
28	" "	B ₃ -70-200	6,60	0,30	0,51	0,070	0,074	0,09	4,40	0,61
29	" "	C ₁ -200-290	6,60	0,15	0,25	0,070	0,067	0,10	4,00	0,83

Método

Avaliação do boro assimilável

A avaliação do boro assimilável foi feita pelo método biológico, utilizando-se o girassol (*Helianthus annuus* L.), de acordo com o procedimento recomendado por COLWELL (1943), com as seguintes modificações:

- 1 - substituição da solução nutritiva de micronutrientes de Colwell pela solução nutritiva de Hoagland & Arnon;
- 2 - substituição da solução de Tartarato de Ferro pela solução de Quelato de Ferro (EDTA = Fe).

Os critérios para a avaliação do boro assimilável foram, além do valor-idade sugerido por Colwell, o peso seco e a altura das plantas, de acordo com SCHUSTER & STEPHENSON (1940).

Preparo das soluções nutritivas

A solução nutritiva, preparada de acordo com as recomendações de COLWELL (1943), apresentava a seguinte composição:

Componentes	Concentração	ml/l da solução
KH_2PO_4	0,1M	5
K_2HPO_4	0,2M	5
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	1,0M	7
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	1,0M	7
NaNO_3	1,0M	7

A solução de micronutrientes foi preparada de acordo com HOAGLAND & ARNON (1950), apresentando a seguinte composição:

Componentes	Concentração
$\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	1,81 g/l
$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0,22 g/l
$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	0,08 g/l
$\text{H}_2\text{MoO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (0,02g/l)	1,00 ml/l

O ferro foi fornecido na forma de Quelato de Ferro, contendo 12% de Fe (4,1 g/l), na quantidade de 1 ml/l.

Todos os componentes da solução foram previamente purificados em relação ao boro.

Instalação do experimento

O experimento foi instalado em casa-de-vegetação, utilizando-se vasos metálicos com capacidade para 500g de terra, previamente impermeabilizados internamente com «Neutrol».

Cada vaso recebeu 455g de terra, correspondente a cada horizonte dos perfis estudados.

Após irrigação com água desionizada foram semeadas 10 sementes de girassol «semente preta» procedente do Instituto Agrônômico do Estado de São Paulo.

Até o 8.º dia após a semeadura, os tratamentos receberam irrigações periódicas com água desionizada.

Nessa época procedeu-se ao desbaste, deixando-se, apenas, 5 plantas por vaso.

Após o desbaste, passou-se a fornecer água diariamente e em dias alternados, 10 ml da solução nutritiva de Colwell mais a solução de micronutrientes de Hoagland & Arnon e a de Quelato de Ferro.

A partir do 15.º dia, passou-se a fornecer 25ml de solução nutritiva a cada tratamento, em dias alternados.

Todos os tratamentos foram aplicados com 4 repetições. Paralelamente, foi preparada uma coleção de padrões para a aferição dos resultados obtidos com as amostras de solo.

Plantas de girassol foram cultivadas em areia lavada, recebendo, além do mesmo tratamento dispensado aos vasos que continham amostras de solo, quantidades crescentes de boro, na forma de uma solução de H_3BO_3 cuja concentração era de 0,026 g/l.

As quantidades crescentes de Boro foram aplicadas de acordo com o esquema apresentado a seguir:

Dias após a semeadura	p.p.m. de boro							
	0,00	0,05	0,10	0,25	0,30	0,50	0,75	1,00
9	—	5 ml	10 ml	10 ml	10 ml	10 ml	10 ml	10ml
14	—	—	—	15 ml	10 ml	20 ml	20 ml	20ml
19	—	—	—	—	10 ml	20 ml	20 ml	20ml
25	—	—	—	—	—	—	25 ml	25ml
30	—	—	—	—	—	—	—	25ml

Obtenção dos resultados

Foi determinado o valor-idade de Colwell, quando o sintoma de clorose era bem evidente no primeiro par de folhas. No 45.º dia após a semeadura, as plantas foram colhidas e postas

para secar em estufa aquecida a 60-70°C. Em seguida, determinou-se, separadamente, o peso das folhas e dos caules das plantas de cada tratamento.

Os dados correspondentes ao valor-idade foram classificados de acordo com o critério de Colwell (FRANCO, 1955) e os valores obtidos com a coleção de padrões:

Classe	Valor-idade	p.p.m. de Boro
I	< 23	< 0,10
II	23 - 30	0,10 - 0,30
III	> 30	> 0,30

Os dados de altura e de peso das plantas foram analisados estatisticamente, aplicando-se o teste de Duncan para a comparação das médias.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos dos experimentos executados pelo método biológico, para a avaliação do boro disponível dos horizontes dos perfis representativos dos grandes-grupos de solos do Estado de São Paulo, estão apresentados no quadro II.

Valor-idade

Apenas três dos Grandes Grupos de solos do Estado de São Paulo mostram, no horizonte superficial, um conteúdo alto de boro assimilável. Estes Grandes Grupos são: Podzolizados de Lins e Marília, var. Lins, Podzolizados de Lins e Marília, var. Marília e Latosol Roxo.

Dentre esses três Grandes Grupos, apenas, o Podzolizado de Lins e Marília, var. Marília mostrou conter mais do que 0,3 ppm de boro assimilável em outros horizontes, além do Ap.

O horizonte Ap do perfil do Grande Grupo Latosol Vermelho Escuro, fase arenosa mostrou-se muito deficiente em boro assimilável, enquanto que os horizontes superficiais dos demais grandes grupos estudados mostraram-se deficientes.

Todos os horizontes localizados abaixo do superficial, dos perfis correspondentes aos Grandes Grupos Latosol Vermelho Escuro, orto, Latosol Vermelho Escuro, fase arenosa e Lato-

sol Roxo, mostraram-se, também, muito deficientes em boro assimilável.

Os três horizontes mais superficiais do Latosol Vermelho-Amarelo, fase arenosa e o Ap e o C₁ do Regosol apresentam valores médios de boro assimilável.

Os perfis foram classificados, também, de acordo com o conceito de valor-idade médio de COLWELL (1943). Este critério corresponde à média dos valores-idade dos dois primeiros horizontes superficiais ou da camada superior de, aproximadamente, 60 cm de espessura.

De acordo com esse critério, o Grande Grupo Podzolizado de Lins e Marília, var. Marília apresenta suprimento adequado de boro assimilável; os Grandes Grupos Podzolizado de Lins e Marília, var. Lins, Latosol Roxo, Latosol Vermelho Escuro, orto, Latosol Vermelho-Amarelo, fase arenosa e Regosol apresentam suprimento médio; enquanto que o Grande Grupo Latosol Vermelho Escuro apresenta suprimento muito deficiente.

Altura das plantas

Os dados referentes à altura das plantas foram analisados estatisticamente, sendo as médias comparadas pelo teste de Duncan, cujos resultados estão no quadro II.

Pode-se observar que a altura das plantas variou amplamente de amostra para amostra de solo. Entre os horizontes superficiais, variou de 35,0 a 69,7 cm, sendo que os valores mais altos se referem aos Podzolizados de Lins e Marília e Latosol Roxo seguidos, em ordem decrescente, do Latosol Vermelho Escuro, orto, Latosol Vermelho Escuro, fase arenosa, Latosol Vermelho-Amarelo, fase arenosa e Regosol.

A análise estatística revelou a distribuição do conteúdo de boro nos perfis estudados, podendo-se observar que em todos os perfis houve uma tendência do boro acumular-se nos horizontes superficiais, decrescendo com a profundidade.

Numa tentativa de se classificarem os solos de acordo com o crescimento das plantas, empregou-se o critério de Colwell utilizou para valor-idade médio. Para obtenção dos limites das classes utilizaram-se os padrões obtidos com doses crescentes de boro. As classes apresentaram os seguintes limites:

Classe	p.p.m de Boro	Altura das plantas em cm
I (muito deficiente)	< 0,10	< 35,0
II (deficiente)	0,10 – 0,30	35,0 – 52,0
III (não deficiente)	> 0,30	> 52,0

A classificação dos grandes grupos de solos do Estado de São Paulo, baseada na altura das plantas, está apresentada a seguir.

Grande Grupo	Altura Média (cm)	Classe
LVa	34,10	I
R	32,15	I
LE	47,20	II
LR	55,85	III
LEa	34,10	I
Plm	69,45	III
Pml	69,10	

Peso de matéria seca

Os dados referentes ao peso de matéria seca produzida nos tratamentos foram analisados estatisticamente.

Como se pode observar, os resultados obtidos empregando-se esse critério são semelhantes aos obtidos com o valoridade e altura das plantas.

Ficou confirmado que há uma grande variação no teor de boro assimilável entre os vários grandes grupos de solos do Estado de São Paulo.

Embora com algumas diferenças, em relação aos resultados de valoridade e de altura das plantas, o peso de matéria seca mostrou que há uma tendência de acúmulo de boro assimilável nos horizontes superficiais dos solos estudados. A partir dos horizontes superficiais nota-se nitidamente uma tendência do conteúdo de boro decrescer progressivamente com a profundidade.

Para a classificação dos solos do Estado de São Paulo, quanto ao conteúdo de boro, em função do peso de matéria se-

ca produzida, procedeu-se ao estabelecimento dos limites de cada classe utilizando-se os padrões obtidos com doses crescentes de boro. As classes obtidas apresentaram os seguintes limites:

Classe	p.p.m de Boro	peso da matéria seca em cm
I	< 0,10	< 4,38
II	0,10 – 0,30	4,38 – 6,22
III	> 0,30	> 6,22

Utilizando-se o peso médio correspondente aos 2 primeiros horizontes superficiais, a classificação dos grandes-grupos de solos do Estado de São Paulo foi a seguinte:

Grande Grupo	Peso-médio (g)	Classe
LVa	2,47	I
R	2,55	I
LE	4,65	II
LR	6,49	III
LEa	2,57	I
Plm	7,41	III
Pml	8,27	III

Esta classificação baseada no peso médio apresenta perfeita correspondência com a baseada na altura média.

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos permitiram as seguintes conclusões:

- 1 - há uma nítida tendência do boro acumular-se no horizonte superficial dos solos;
- 2 - os Podzofizados de Lins e Marília e o Latosol Roxo são bem supridos de boro;
- 3 - o Latosol Vermelho-Amarelo, fase arenosa, o Latosol Vermelho Escuro, fase arenosa e o Regosol são muito deficientes de boro;
- 4 - os demais grandes-grupos estudados são deficientes em boro.

QUADRO II - Altura, peso das plantas e análise estatística dos dados.

Solo	Valor-idade		Altura			Peso seco		
	Dias	Classe	Ordem	cm	Classe	Ordem	g/vaso	Classe
LVa-A ₁	25	II	1. ^o	36,20	II	1. ^o	2,62	I
A ₂	23	II	2. ^o	32,00	I	2. ^o	2,32	I
B ₁	23	II	3. ^o	28,70	I	2. ^o	2,15	I
B ₂	21	I	4. ^o	20,70	I	3. ^o	1,73	I
d.m.s. a 5% - D ₄	---	---	---	3,33	---	---	0,31	---
(+) D ₂	---	---	---	3,08	---	---	0,28	---
R - A _p	25	II	1. ^o	35,00	II	1. ^o	2,60	I
C ₁	25	II	1. ^o	33,00	I	2. ^o	2,51	I
C ₂	22	I	2. ^o	26,50	I	2. ^o	2,45	I
d.m.s. a 5% - D ₃	---	---	---	4,95	---	---	n.s.	---
D ₂	---	---	---	4,74	---	---	n.s.	---
LE-A ₁	27	II	1. ^o	54,50	III	1. ^o	5,73	II
A ₂	19	I	2. ^o	40,20	II	2. ^o	3,57	I
B ₁	19	I	4. ^o	20,50	I	4. ^o	1,45	I
C	19	I	3. ^o	27,00	I	3. ^o	2,12	I
d.m.s. a 5% - D ₄	---	---	---	3,36	---	---	0,70	---
D ₂	---	---	---	3,11	---	---	0,65	---
LR - A _p	n+ +	III	1. ^o	65,70	III	1. ^o	8,00	III
B ₁	22	I	3. ^o	27,20	I	3. ^o	3,64	I
B ₂₂	22	I	2. ^o	46,00	II	2. ^o	4,98	II
B ₂₃	15	I	3. ^o	38,70	II	3. ^o	3,26	I
C	11	I	3. ^o	44,00	II	3. ^o	2,78	I
d.m.s. a 5% - D ₅	---	---	---	6,77	---	---	1,32	---
D ₃	---	---	---	6,46	---	---	1,26	---
D ₂	---	---	---	6,16	---	---	1,20	---
LEa - A ₁	15	I	1. ^o	39,20	II	---	2,92	I
B ₁	13	I	2. ^o	29,00	I	---	2,17	I
B ₂₁	11	I	2. ^o	27,00	I	---	2,67	I
d.m.s. a 5% - D ₃	---	---	---	2,18	---	---	n.s.	---
D ₂	---	---	---	2,05	---	---	n.s.	---
Pln - A _p	n	III	1. ^o	69,70	III	1. ^o	9,85	III
B ₂₁	23	II	2. ^o	48,50	II	2. ^o	4,98	II
B ₂₂	23	II	1. ^o	69,20	III	1. ^o	9,40	III
B ₃	19	I	3. ^o	32,50	I	3. ^o	3,41	I
C	19	I	3. ^o	29,50	I	4. ^o	2,48	I
d.m.s. a 5% - D ₅	---	---	---	5,35	---	---	0,68	---
D ₃	---	---	---	5,10	---	---	0,65	---
D ₂	---	---	---	4,86	---	---	0,62	---
Pml - A _p	n	III	1. ^o	69,20	III	1. ^o	8,48	III
B ₂₁	n	III	1. ^o	69,00	III	1. ^o	8,06	III
B ₂₂	34	III	2. ^o	63,20	III	1. ^o	7,06	III
B ₃	27	II	2. ^o	60,20	III	2. ^o	6,54	III
C	19	I	3. ^o	28,70	I	3. ^o	3,28	I
d.m.s. a 5% - D ₅	---	---	---	5,94	---	---	1,69	---
D ₃	---	---	---	5,67	---	---	1,62	---
---	---	---	---	5,40	---	---	1,54	---

(+) Diferença mínima significativa a 5% pelo teste de Duncan.

(++) n significa o não aparecimento de deficiência.

RESUMO

Tem-se observado sintomas de carência de boro em várias culturas do Estado de São Paulo. Isto indica que, pelo menos, alguns solos da região são deficientes em boro assimilável.

Por essa razão, procedeu-se ao levantamento do teor de boro nos principais grandes-grupos de solos do Estado de São Paulo, identificados e mapeados pela COMISSÃO DE SOLO (1960).

O método utilizado foi o biológico, empregando-se o girassol (*Helianthus annuus* L.), de acordo com as recomendações de COLWELL (1943), com algumas modificações.

Foi instalado, em casa-de-vegetação, um experimento para avaliar o conteúdo de boro disponível nos horizontes de perfis representativos dos principais grandes-grupos de solos do Estado de São Paulo. Paralelamente, foi preparada uma coleção de padrões para a aferição dos resultados obtidos com as amostras de solo.

Os critérios para avaliação dos tratamentos foram: valoridade, altura das plantas no 45.º dia após a semeadura e peso da matéria seca da parte aérea das plantas.

A análise dos resultados obtidos conduziu às seguintes conclusões:

- 1 - observa-se uma tendência do boro acumular-se no horizonte superficial dos solos, diminuindo gradativamente com a profundidade;
- 2 - os solos pertencentes ao Grande-Grupo Podzolizados de Lins e Marília e Latosol Roxo são os que apresentam mais alto suprimento de boro;
- 3 - os solos pertencentes aos Grandes-Grupos Latosol Vermelho-Amarelo, fase arenosa, Latosol Vermelho Escuro, fase arenosa e Regosol são muito deficientes de boro;
- 4 - os solos pertencentes aos demais grandes-grupos estudados apresentam valores baixos de boro.

SUMMARY

AVAILABLE BORON CONTENTS IN SOME SOILS FROM STATE OF SÃO PAULO, BRASIL.

This paper presents a survey on available boron con-

tents of some soil profiles that represent the most important great-groups of soil in the State of São Paulo, Brasil.

Soil samples were collected from horizons of all the profiles.

Available boron contents were evaluated by the biological method with sunflower (*Helianthus annuus* L.) according to COLWELL (1943).

The criteria used to evaluate the boron contents were the age value, high and dry matter of the sunflower plants. The statistical analysis of the data showed that the available boron, generally, accumulates in the upper horizons on the soil profiles.

Only two of the soil great-groups studied did not show boron deficiencies.

LITERATURA CITADA

- BERGER, K.C. & E. TRUOG, 1940. Boron deficiencies as revealed by soil and plant test. **Agron. Journ.** 32: 1, 297-301.
- BERGER, K.C., 1949. Boron in soil and crops. In *Advances in Agron.* 1: 321-351.
- BRASIL S.º, M.O.C. & O. FREIRE - Boro em alguns solos do Estado de São Paulo - Avaliação por métodos químicos. **Rev. Agr.** 55: 83-105.
- COLWELL, W.F., 1943. A biological method for determining the relative boron content of soils. **Soil Sci.** 56: 71-94.
- COMISSÃO DE SOLOS, 1960. Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado de São Paulo, Ministério da Agricultura, Bol. 12.
- HOAGLAND, D.R. & D.I. ARNON, 1950. The water-culture method for growing plants without soil. Univ. of California Berkeley, Circ. 347.
- SCHUSTER, C.E. & R.E. STEPHENSON, 1940. Sunflower as an indicator plant of boron deficiency in soils. **Journ. Am. Soc. Agron.** 32: 607-621.
- TISDALE, S.L. & W.L. NELSON, 1971. **Soil fertility and fertilizers**, McMillan Co.