

RESTAURAÇÃO DE SOLO PARA A CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR

II – PERÍODO 1956-58 (*)

ANTÔNIO CARLOS PIMENTEL WUTKE (**), *engenheiro-agrônomo, Seção de Fertilidade do Solo*, RAPHAEL ALVAREZ, *engenheiro-agrônomo, Seção de Cana-de-açúcar*, HERMANO GARGANTINI, *engenheiro-agrônomo, Seção de Fertilidade do Solo e* HERMANO VAZ DE ARRUDA, *engenheiro-agrônomo, Estação Experimental de Ribeirão Preto, Instituto Agronômico*

RESUMO

Durante o período 1954-56 foi conduzida por técnicos do Instituto Agronômico uma experiência de restauração de solo para a cultura da cana-de-açúcar, instalada em arenito da formação Glacial, em gleba de propriedade da Usina Açucareira Ester, no município de Cosmópolis.

Neste artigo são apresentados os resultados obtidos no segundo período de condução da experiência, correspondendo, ainda, às produções de cana-planta.

Não foram introduzidas modificações no delineamento experimental inicial; todavia, foram alteradas as quantidades de nitrogênio e de potássio da adubação feita no primeiro período, conservando-se o mesmo nível de fósforo. Empregaram-se 90, 120 e 90 kg/ha de N, P₂O₅ e K₂O respectivamente, nas formas de sulfato de amônio, superfosfato simples e cloreto de potássio.

Empregou-se, neste período, a variedade de cana-de-açúcar CB 40/69 e a leguminosa cultivada foi novamente a crotalaria (*Crotalaria juncea* L.).

Verificou-se que todos os tratamentos que receberam fertilizantes foram sensivelmente superiores ao testemunha e que entre aqueles obtiveram-se diferenças altamente significativas, com efeitos decisivos do potássio e do calcário nos aumentos de produção.

Os melhores tratamentos foram: PK + calcário + leguminosa, NPK + calcário + leguminosa e NPK + calcário.

Comparando as produções obtidas nos dois períodos, verifica-se que houve um aumento da produtividade do solo nos melhores tratamentos, enquanto que nos demais aconteceu o contrário.

(*) Trabalho apresentado ao VII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, realizado em Piracicaba, São Paulo, de 20 a 30 de julho de 1959.

Os autores expressam os seus agradecimentos aos Srs. proprietários da Usina Ester e ao engenheiro-agrônomo Luiz Andrade Maia, Chefe de Cultura da referida Usina, pelas facilidades que proporcionaram para a execução deste trabalho.

Recebido para publicação em 15 de dezembro de 1959.

(**) Bolsista do Conselho Nacional de Pesquisas, de julho de 1957 a junho de 1958.

1 — INTRODUÇÃO

São apresentados neste trabalho os resultados obtidos no segundo período de condução de uma experiência que tem o objetivo de estudar a restauração e o aumento da produtividade de solos originalmente pobres e depauperados por sucessivos cultivos (3).

Como já foi anteriormente acentuado (3), escolheu-se a cultura da cana-de-açúcar para êste estudo porque os problemas de produtividade dos solos adquirem destaque especial no caso da agro-indústria açucareira. A elevada soma de capital invertido em suas instalações confere característica de estabilidade a esta atividade econômica, impedindo-a de se deslocar em demanda de melhores terras, se ocorrer a queda sensível do rendimento da cultura que lhe fornece a matéria prima.

Para alcançar o objetivo a que se propuzeram, traçaram os autores um plano a ser executado em prazo relativamente longo e com base na adubação mineral, adubação verde e calagem, em combinações que permitissem avaliar os seus efeitos isolados e as suas interações.

As soqueiras provenientes da primeira colheita foram destruídas, fazendo-se novo plantio neste período. Isto porque decidiram os autores continuar a colhêr resultados de primeiros cortes apenas, até se evidenciar ter sido alcançada a produtividade máxima do solo nas condições do experimento, ou quando as maiores produções obtidas possam ser consideradas bastante satisfatórias dos pontos de vista técnico e econômico. Atingido êste desiderato, dever-se-á passar, então, para uma segunda fase de investigação, qual seja a de manutenção da produtividade do solo que tenha contribuído para tais resultados, conduzida a cultura dentro das suas características normais de aproveitamento de soqueiras.

2 — MATERIAL E MÉTODO

A experiência foi instalada em solo areno-argiloso, proveniente de arenito da formação Glacial, que originalmente tem baixos teores de elementos nutritivos essenciais (6). Apresentava-se, além disso, por ocasião do primeiro plantio, depauperado por sucessivos cultivos, como se pode depreender das produções iniciais obtidas no tratamento testemunha (3).

As principais características químicas e físicas do solo, determinadas antes de nêle ser instalada a primeira experiência, são reproduzidas neste trabalho para uma melhor interpretação destas considerações iniciais:

Argila (< que 0,002 mm)	37,5%
Limo (entre 0,002 e 0,02 mm)	8,5%
Areia fina (entre 0,02 e 0,2 mm)	16,0%
Areia grossa (entre 0,2 e 2 mm)	38,0%
pH	4,65
C (total)	1,81%
N (total)	0,10%
C/N	18,1
PO ₄ ⁻³ (¹)	0,09
K ⁺ trocável (²)	0,05
Ca ⁺⁺ trocável (²)	0,33
Mg ⁺⁺ trocável (²)	0,02
H ⁺ trocável (²)	8,24

Após a colheita do primeiro período foram retiradas amostras de terra de todos os canteiros que receberam calcário, para verificar a possível necessidade de uma segunda aplicação desse corretivo. As amostras simples foram reunidas em uma única amostra composta que, analisada, apresentou pH = 5,75 e H trocável = 6,24. Ficou, pois, evidenciada a necessidade de uma nova aplicação de três toneladas de calcário por hectare, para teoricamente ser elevado o pH a 6,5 e a saturação em bases a 70%. Todavia, como já tinha sido colocada no período anterior a quantidade relativamente elevada de cinco toneladas de calcário por hectare, resolveram os autores não fazer nova aplicação do corretivo, a fim de mais bem verificar a sua reação com o solo num espaço de tempo mais longo.

O delineamento experimental no período ora em estudo foi ainda o de blocos ao acaso, com quatro repetições para os seguintes tratamentos: 1) testemunha; 2) P + calcário + leguminosa; 3) PK + leguminosa; 4) PK + calcário + leguminosa; 5) NPK; 6) NPK + leguminosa; 7) NPK + calcário; 8) NPK + calcário + leguminosa.

Cada canteiro teve área total de 90 m², abrangendo seis linhas de cultivo com 10 m de comprimento, espaçadas de 1,50 m. Foram consideradas úteis apenas as quatro centrais, às quais correspondeu

(¹) Extraído com H₂SO₄ 0,05 N.

(²) e.mg/100 g solo seco ao ar.

uma área útil de 60 m², deixando-se as duas laterais como bordaduras.

Os canteiros e a distribuição dos tratamentos foram os mesmos já empregados no primeiro período.

O adubo verde cultivado foi novamente a crotalária (*Crotalaria juncea* L.), semeada em 27 de novembro de 1956 sendo a inoculação feita na proporção de 200 g de inoculante⁽³⁾ para 50 kg de sementes. O corte da leguminosa e a sua incorporação ao solo foram executados em 3 de fevereiro de 1957, por meio de grade de discos.

Empregaram-se nas adubações as doses de 90, 120 e 90 kg por hectare de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente nas formas de sulfato de amônio, superfosfato simples e cloreto de potássio. A quantidade de potássio foi elevada neste segundo plantio devido ao seu efeito altamente significativo no aumento das produções de cana e de açúcar por unidade de área, anteriormente obtido (3). Por outro lado, embora o nitrogênio não tivesse evidenciado idêntica influência, foi também empregado em dose mais elevada, em consideração à alta exigência da cana-de-açúcar neste elemento e devido à hipótese (posteriormente comprovada) de serem esperadas produções superiores às do período anterior, nos melhores tratamentos. O nitrogênio foi aplicado em três parcelas.

Repetiu-se a mesma dose de fósforo, relativamente elevada, devido ao baixo teor inicial deste elemento no solo e à impossibilidade de ser avaliado o seu efeito isolado, nas condições do experimento.

Na ocasião do plantio, em 1.º de março de 1957, foram colocadas nos sulcos as doses totais de fósforo e de potássio e a primeira parcela de nitrogênio, correspondente a 25 kg/ha de N. Posteriormente fizeram-se mais duas aplicações de nitrogênio em cobertura: uma, de 25 kg/ha de N, aproximadamente dois meses após o plantio e a outra, de 40 kg/ha de N, em 29 de novembro de 1957.

Em substituição à variedade de cana-de-açúcar Co. 419, cultivada no período anterior, utilizou-se a C.B. 40/69, que, além de ser tão produtiva quanto a primeira (7), apresentava menores possibilidades de ser atacada pelo mosaico, devido à sua introdução mais recente nas lavouras da Usina.

A experiência foi colhida em 30 de setembro de 1958, pesando-se as produções obtidas no próprio local. Para análises do caldo retiraram-se de cada canteiro amostras constituídas de 20 colmos.

(3) Material fornecido pelo engenheiro-agrônomo Cyro G. Teixeira, do Laboratório de Microbiologia do Instituto Agrônomo.

QUADRO 1. — Produções de cana e de açúcar da variedade C. B. 40/69, obtidas de cana-planta, em solo do Glacial, Usina Ester, 1958

Tratamentos	Cana						Açúcar provável						Médias			
	t/ha	t/ha	t/ha	t/ha	t/ha	t/ha	t/ha	t/ha	t/ha	t/ha	t/ha	t/ha	t/ha	t/ha	Cana	Açúcar
Testemunha -----	36,4	25,3	33,0	27,9	5,03	3,44	4,69	3,94	3,94	30,6	4,3					
P + calc. + leguminosa ----	61,0	53,7	60,5	57,6	8,43	7,41	8,97	8,23	8,23	58,2	8,2					
PK + leguminosa -----	86,3	73,1	63,5	76,9	12,65	10,45	9,31	11,20	11,20	74,9	10,9					
PK + calc. + leguminosa ----	111,7	96,3	103,2	88,8	15,49	12,89	14,04	12,88	12,88	100,0	13,8					
NPK -----	69,6	70,1	70,9	64,2	9,95	9,76	10,04	9,21	9,21	68,7	9,7					
NPK + leguminosa ----	69,0	73,5	57,9	63,3	10,12	10,36	8,53	9,23	9,23	65,9	9,6					
NPK + calcário -----	87,8	109,5	90,0	89,9	11,91	14,48	12,67	10,94	10,94	94,3	12,5					
NPK + calc. + leguminosa	101,0	104,3	95,9	98,6	13,42	14,04	12,70	13,99	13,99	99,9	13,5					
d.m.s. (Tukey) -----															15,7	4,6

C.V. = 8,9 %.

Para o cálculo do açúcar teórico produzido empregou-se a fórmula de Winter-Carp, Geerligts, modificada por Arceneaux, com os fatores de correção 0,985 para o brix, 0,970 para a sacarose, 76% para a extração e 88% como eficiência das caldeiras (1).

3 — RESULTADOS E DISCUSSÃO

Da mesma forma já verificada no primeiro período, a leguminosa não se desenvolveu bem, alcançando a altura máxima de apenas 0,80 m nos casos mais favoráveis, que correspondem aos canteiros que receberam calcário. Embora com desenvolvimento medíocre, a crotalária produziu visivelmente maior quantidade de massa verde do que no período anterior, beneficiando-se, sem dúvida, dos efeitos residuais da adubação empregada e, provavelmente, da ação mais incisiva do calcário, depois de um espaço mais longo de tempo da aplicação desse corretivo.

Neste trabalho foram analisados estatisticamente apenas os resultados relativos às produções de cana e de açúcar por unidade de área, que são apresentadas no quadro 1. Deixaram de ser estudados os dados de produção de açúcar por tonelada de cana, devido a serem erráticas as variações observadas. Neste particular, os dados obtidos parecem indicar que a variedade de cana-de-açúcar empregada é pouco ou nada sensível aos tratamentos, com relação à riqueza do caldo.

3. 1 — PRODUÇÕES DE CANA

As produções de cana em toneladas por hectare, segundo os tratamentos, são apresentadas no quadro 1, figurando a análise de variância correspondente no quadro 2.

A análise da variância dos dados revela que o efeito devido aos tratamentos foi altamente significativo. Decompondo a variação devida a tratamentos em duas partes, *tratamentos adubados* \times *testemunha* e *entre tratamentos adubados*, encontraram-se para ambas valores altamente significativos. Isto significa que a adubação, de um modo geral, elevou a produtividade do solo e que entre os diversos tratamentos adubados evidenciaram-se, também, diferenças acentuadas e significativas.

Para se ter uma melhor interpretação dos efeitos dos tratamentos foi o seu estudo dividido em duas partes.

QUADRO 2. — Análise da variância dos dados de produção de cana-planta em t/ha

Fonte de variação	G. L.	S. Q.	Q. M.	F
Blocos	3	255,59		
Tratamentos	7	15.937,98	2.276,85	51,87**
Adub. X test.	1	8.624,20	8.624,20	196,50**
Entre adubados	6	7.313,78	1.218,96	27,78**
Erro	21	921,71		
Total	31	17.115,29		

d.m.s. (Tukey) = 15,7

Primeira parte — Considerada como uma parte fatorial do delineamento, compreende dois fatores — calcário e leguminosa — a dois níveis, em que o tratamento NPK é considerado como nível 0 (zero). As produções destes tratamentos, juntamente com os efeitos médios e interações de calcário e leguminosa, são apresentadas no quadro 3. No quadro 4 encontra-se a análise da variância correspondente. Por esta análise verifica-se que o efeito do calcário, no valor de 29,8 t/ha é altamente significativo. Esta conclusão vem corroborar plenamente as observações de campo, feitas aos dois e aos cinco meses após o plantio, nas quais foram verificados nas folhas visíveis sintomas de deficiência de cálcio, nos canteiros que não receberam o corretivo. Tais sintomas caracterizam-se por uma clorose das folhas, acompanhada de pequenas manchas pardo-avermelhadas com centros necróticos (2, 4, 5).

O resultado obtido com a leguminosa, no valor de 1,4 t/ha, foi insignificante. Esta resposta já era de esperar, em virtude da baixa produção de massa do adubo verde. A interação calcário × leguminosa mostrou-se, também, não significativa.

Segunda parte — Compreende as demais comparações, visando avaliar os efeitos do nitrogênio e do potássio, tomando-se por base a d.m.s. (método Tukey) no valor de 15,7 t/ha. Para o efeito do potássio temos:

Tratamentos	Produções t/ha
PK + calc. + leg.	100,0
P + calc. + leg.	58,2
Diferença	41,8**

QUADRO 3. — Produções dos tratamentos, em toneladas de cana-planta, segundo o esquema fatorial 2 × 2 (calc. X leg.)

Leguminosa	Calcário			
	0	1	Total	Média
	t/ha	t/ha	t/ha	t/ha
0	274,8	377,2	652,0	81,5
1	263,7	399,8	663,5	82,9
Total	538,5	777,0		
Média	67,3	97,1		

QUADRO 4. — Análise da variância dos dados de produção de cana-planta correspondentes ao quadro 3

Fonte de variação	G. L.	S. Q.	Q. M.	F
Calcário	1	3.555,14	3.555,14	81,0**
Leguminosa	1	8,26	8,26	
Calc. X leg.	1	70,99	70,99	1,62
Tratamentos	3	3.634,39		

O aumento de produção, de 41,8 t/ha, proporcionado pelo potássio, constitui um resultado altamente significativo.

O efeito do nitrogênio pode ser avaliado em duas situações diferentes, quais sejam:

Tratamentos	Produções t/ha
a) NPK + calc. + leg.	99,0
PK + calc. + leg.	100,0
Diferença	- 1,0
b) NPK + leguminosa	68,7
PK + leguminosa	74,9
Diferença	- 6,2

As duas diferenças obtidas, em presença e em ausência de calcário, evidenciam ter sido insignificante o efeito do nitrogênio.

A mesma análise feita para o calcário comprova, como se depreende dos dados apresentados a seguir, a influência significativa dêste corretivo na produção de cana, conforme o verificado anteriormente em condição diferente, quando foi considerada a parte fatorial do delineamento.

<i>Tratamentos</i>	<i>Produções t/ha</i>
PK + leg. + calcário	100,0
PK + leg.	74,9
Diferença	25,1**

3. 2 — PRODUÇÃO DE AÇÚCAR

Os dados da produção de açúcar por unidade de área nos diversos tratamentos encontram-se, também, no quadro 1, figurando a análise da variância no quadro 5. Esta análise revela efeitos altamente significativos para os *componentes adubados* × *testemunha* e para os *entre adubados*.

QUADRO 5. — Análise da variância dos dados de produção de açúcar, em t/ha

Fonte de variação	G. L.	S. Q.	Q. M.	F
Blocos	3	3,97		
Tratamentos	7	277,52	29,64	10,46**
Adub. × test.	1	166,55	166,55	43,94**
Entre adubados	6	110,97	18,49	4,88**
Erro	21	79,67	3,79	
Total	31	361,16		

d. m. s. (Tukey) = 4,6

Da mesma forma já verificada para a produção de cana, a adubação teve influência significativa na produção de açúcar por unidade de área. Também acentuadas e significativas foram as diferenças observadas entre os diversos tratamentos adubados.

A parte fatorial do delineamento, compreendendo os quatro tratamentos: NPK, NPK + leguminosa, NPK + calcário e NPK + calcário + leguminosa, é apresentada no quadro 6, com as respectivas produções de açúcar. No quadro 7 encontra-se a análise da variância correspondente.

QUADRO 6. — Produções dos tratamentos, em t/ha de açúcar, segundo o esquema fatorial 2 × 2 (calc. × leg.)

Calcário	Leguminosa			
	0	1	Total	Média
	t/ha	t/ha	t/ha	t/ha
0	38,95	38,24	77,19	9,65
1	50,00	54,16	104,16	13,02
Total	88,95	92,40		
Média	11,11	11,55		

QUADRO 7. — Análise da variância dos dados de produção de açúcar, correspondentes ao quadro 6

Fonte de variação	G. L.	S. Q.	Q. M.	F
Calcário	1	45,46	45,46	11,99**
Leguminosa	1	0,74	0,74	
Calc. × leg.	1	1,48	1,48	
Tratamentos	3	47,68		

Esta análise permite concluir que o efeito do calcário, de 3,37 t/ha, é altamente significativo. Já os efeitos da leguminosa e da interação leguminosa × calcário foram insignificantes.

Para avaliar os efeitos do potássio e do nitrogênio diversas comparações podem ser feitas, relacionando as diferenças encontradas à d.m.s., determinada, que neste caso assume o valor de 4,62 t/ha de açúcar. Podemos ter:

<i>Efeito do potássio</i>	
<i>Tratamentos</i>	<i>Produções t/ha</i>
PK + calc. + leg.	13,82
P + calc. + leg.	8,25
Diferença	5,57**

Efeito do nitrogênio

Tratamentos	Produções t/ha
a) NPK + leguminosa	9,56
PK + leguminosa	10,90
Diferença	- 1,34
b) NPK + calc. + leg.	13,54
PK + calc. + leg.	13,82
Diferença	- 0,28

Podemos observar que também na produção de açúcar por hectare evidenciou-se efeito significativo do potássio, ao passo que foi insignificante o efeito do nitrogênio, tanto em presença como em ausência de calcário.

Na figura 1 temos representadas gráficamente as produções médias de cana e de açúcar, em t/ha, obtidas neste período.

Comparações entre as produções de cana obtidas nos dois períodos são apresentadas no gráfico da figura 2. Embora tais produções tenham sido obtidas em diferentes anos e de variedades distintas de cana-de-açúcar, permitem inferir que nestes dois períodos teve o solo já modificados os fatores que condicionam a sua produtividade, ainda quando se considera um mesmo tratamento. Apesar de que antes do término da experiência devam ser analisadas com as devidas limitações as variações havidas neste sentido, pode-se observar na figura 2 que houve um aumento de produtividade do solo nos melhores tratamentos, contrariamente ao que aconteceu nos demais.

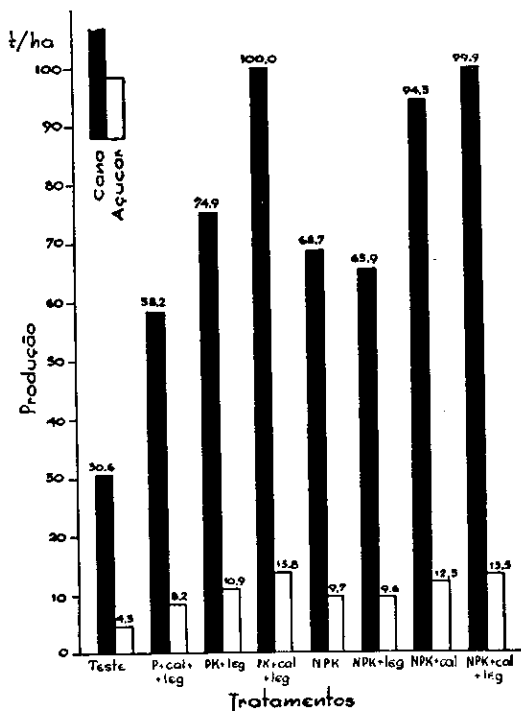


Figura 1 — Produções médias de cana e de açúcar provável, em t/ha, da variedade C.B. 40/69, obtidas em cana-planta. Experiência de restauração de solo, Usina Ester, 1958.

Em refôrço desta conclusão cumpre notar, ainda, que no período anterior a amplitude de variação das produções do pior tratamento para o melhor foi de 36,9 t/ha,

ao passo que neste o dado correspondente atingiu o valor de 69,4 t/ha.

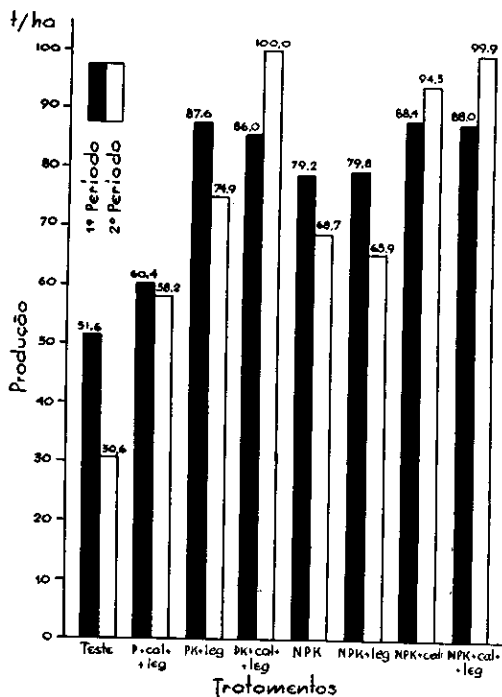


Figura 2 — Produções médias de cana em t/ha, das variedades Co. 419 (utilizada no primeiro período) e C.B. 40/69 (utilizada no segundo), em experiência de restauração de solo. Usina Ester, cortes em 1956 e 1958.

4 — CONCLUSÕES

As análises dos dados de produção de cana de açúcar permitem sejam tiradas as seguintes conclusões:

- as produções de todos os tratamentos adubados foram superiores às do testemunha;
- entre os tratamentos adubados as diferenças foram altamente significativas;
- o calcário e o potássio tiveram efeitos decisivos nos aumentos de produção;
- os efeitos do nitrogênio e da leguminosa nas diversas combinações empregadas foram desprezíveis;
- os melhores tratamentos foram aqueles que levaram ao solo potássio e calcário, ou sejam: PK + calcário + leguminosa, NPK + + calcário + leguminosa e NPK + calcário; a interação potássio × calcário, entretanto, mostrou-se nula;
- com relação ao primeiro período de condução da experiência houve um aumento da produtividade do solo nos melhores tratamentos, contrapondo-se à diminuição observada nos demais.

SOIL RECUPERATION IN SUGAR CANE CULTURE. II — 1956-1958 PERIOD

SUMMARY

The experiment reported in this paper was started in 1954. Its object was to study the effect of various treatments on the restoration of productivity in a tract of impoverished land (Glacial formation), located at the Usina Ester, Cosmópolis County.

Eight treatments with four replications are being compared in randomized blocks. They are as follows: (a) control; (b) P + lime + leguminous cover crop; (c) PK + cover crop; (d) PK + lime + cover crop; (e) NPK; (f) NPK + lime; (g) NPK + cover crop; (h) NPK + lime + cover crop. Ammonium sulfate, plain superphosphate, and potassium chloride were applied at the rates of 90, 120, and 90 kg per hectare of N, P₂O₅, and K₂O, respectively. The cover crop used was the sun hemp (*Crotalaria juncea* L.). The sugar cane variety planted was the C. B. 40/69.

The results obtained in the first harvest of this second planting were as follows: (a) all plots receiving fertilizers gave higher yields than the control; (b) the highest yields were given by the plots receiving PK + lime + cover crop, NPK + lime + cover crop, and NPK + lime. The results obtained so far indicate that the best treatments improved the soil productivity, whereas there is some evidence of a decrease in productivity induced by others.

LITERATURA CITADA

1. ARCENEUX, G. A. Simplified method of theoretical sugar yield calculations. *Int. Sug. J.* 38:264-265. 1935.
2. DILLEWIJN, C. VAN. Botany of sugarcane. Waltham, Mass., The Chronica Botanica Co., 1952. 371 p.
3. GARGANTINI, H., ALVAREZ, R., CATANI, R. A. & GALLO, J. ROMANO. Restauração de solo para a cultura da cana-de-açúcar. I — Período de 1954-56. São Paulo, Lito-Press Ltda., 1958. 12 p.
4. MALAVOLTA, E. Sintomas de desnutrição na cana-de-açúcar. *São Paulo Açuc.* 1:[51]-62. 1950.
5. MARTIN, J. P. Symptoms of malnutrition manifested by the sugar cane plant when grown in culture solutions from which certain essential elements are omitted. *Hawaiian Plant. Rec.* 38:8-29. 1934.
6. PAIVA, J. E. (neto), CATANI, R. A., KÜPPER, A. [e outros]. Observações gerais sobre os grandes tipos de solos do Estado de São Paulo. *Bragantia* 11:[227]-253. 1951.
7. SEGALLA, A. L. & ALVAREZ, R. Variedades de cana-de-açúcar. II — Série de ensaios realizados no período de 1953-1956. *Bragantia* 17:[45]-79. 1958.