

# EFEITO DE NÍVEIS E DO RESÍDUO DE FÓSFORO SOBRE A PRODUTIVIDADE DA CANA-DE-AÇÚCAR EM VERTISSOLO<sup>1</sup>

JOSÉ RIBAMAR PEREIRA<sup>2</sup>, CLEMENTINO MARCOS BATISTA DE FARIA<sup>3</sup> e LUIZ BALBINO MORGADO<sup>2</sup>

**RESUMO** - Este trabalho, realizado em Juazeiro, Bahia, objetivou avaliar os efeitos de 0, 60, 120, 180, 240 e 300 kg/ha de  $P_2O_5$  sobre o rendimento e sobre as características industriais da cana-de-açúcar e, ainda, determinar o efeito residual do fósforo. Em todas as parcelas foram aplicados 180 kg/ha de N e 90 kg/ha de  $K_2O$ . Após a colheita da cana planta, metade de cada parcela foi adubada com 90 kg/ha de  $P_2O_5$  e a parcela toda, com 150 kg/ha de N e 90 kg/ha de  $K_2O$ . Foi determinada a concentração de fósforo nas folhas das plantas após 120 dias do plantio e, no caldo da cana, na época da colheita. Os níveis de fósforo tiveram um efeito quadrático sobre a produtividade da cana ( $R^2 = 0,94$ ) e sobre a concentração de fósforo nas folhas ( $R^2 = 0,98$ ). O rendimento da cana soca dos subtratamentos que não receberam uma segunda adubação de fósforo variaram de 45,31% a 78,93%, em relação aos subtratamentos adubados com 90 kg/ha de  $P_2O_5$ . Os níveis crescentes de fósforo provocaram um aumento do teor desse elemento no caldo da cana, mas não tiveram efeito sobre a pol (%) do mesmo caldo.

Termos para indexação: adubação, irrigação, produtividade máxima, análise foliar, características industriais.

## EFFECT OF PHOSPHORUS APPLICATION AND OF ITS RESIDUE ON THE YIELD OF SUGARCANE IN A VERTISOL

**ABSTRACT** - This work, carried out at Juazeiro, BA, Brazil, aimed at evaluating the effects of 0, 60, 120, 180, 240 and 300 kg/ha of  $P_2O_5$  on the yield, on some technological characteristics of sugarcane and on the residual effect of phosphorus. In all plots, 180 kg/ha of N and 90 kg/ha of  $P_2O_5$  were applied. After harvesting the sugarcane, half of each plot was fertilized with 90 kg/ha of  $P_2O_5$  and all the subplots received 150 kg/ha of N and 90 kg/ha of  $K_2O$ . The leaves of 120 day-old plants were analyzed for phosphorus. At harvesting time, the P contents and the pol (%) were determined in the sugarcane juice. The P levels showed a quadratic effect on the yield of sugarcane ( $R^2 = 0.94$ ) and on the P concentration in the leaves ( $R^2 = 0.98$ ). The yield of sugarcane in the treatments that did not receive a second application of phosphorus varied from 45.31% to 78.93%, as compared to the treatments that had received 90 kg/ha of  $P_2O_5$ . Phosphorus concentration in the juice increased with the levels of phosphorus applied. The pol (%) of the juice, however, was not affected.

Index terms: fertilization, irrigation, maximum yield, leaf analysis, industrial characteristics.

## INTRODUÇÃO

A cultura da cana-de-açúcar nos Vertissolos do Médio São Francisco, em condições de irrigação,

tem apresentado altos rendimentos (Aragão & D'Oliveira, 1974; Aragão & Pereira, 1979; Faria et al., 1983). As elevadas produtividades, entretanto, estão condicionadas às adubações nitrogenadas e fosfatadas. Com relação à adubação fosfatada, é conhecido que, de uma maneira geral, as culturas retiram apenas de 20 a 30% do fósforo adicionado como fertilizante, ficando o restante do fósforo retido no solo em diferentes formas, e parte dele em condições de ser aproveitado posteriormente por outras culturas (Malavolta, 1967; Phillips & Webb,

<sup>1</sup> Aceito para publicação em 14 de outubro de 1994.

<sup>2</sup> Eng. Agr. Dr., EMBRAPA-Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-árido (CPATSA), Cx. Postal 23, CEP 56300-000, Petrolina-PE.

<sup>3</sup> Eng. Agr. M.Sc., EMBRAPA-CPATSA.

1971). O conhecimento do efeito residual do fósforo para ciclos de culturas subsequentes, como no caso da cana-de-açúcar, é de grande importância, tendo em vista a necessidade da racionalização da adubação fosfatada para essa cultura. A avaliação do efeito residual pode ser feita experimentalmente pelas respostas das socas.

Além do incremento da produtividade, a adição de fósforo ao solo pode acarretar aumento no teor de fósforo no caldo da cana-de-açúcar, importante no processo industrial, pela sua ação na clarificação do caldo (Cesar et al., 1972). O teor de fósforo no caldo, segundo Honig (1959), citado por Serra et al. (1974), depende da capacidade de suprimento de fósforo do solo. Serra et al. (1974), trabalhando com três diferentes tipos de solos, encontraram que a adubação fosfatada provocou um incremento do teor de  $P_2O_5$  no caldo da cana-de-açúcar somente em dois solos. Orlando Filho & Zambello Júnior (1980) constataram, igualmente, que a adição de níveis crescentes de fósforo nem sempre provocou aumento no teor desse elemento no caldo. Portanto, sem incremento de produtividade, não se justifica, economicamente, o aumento dos níveis da adubação fosfatada somente para provocar um aumento no teor de fósforo no caldo (Marinho & Oliveira, 1980).

Quanto à pol (%) do caldo, os resultados encontrados não têm mostrado variações significativas, decorrentes do aumento das doses de fósforo além do necessário, para atingir a produtividade máxima (Silva, 1983). Entretanto, Samuels & Landrau Júnior (1956) informaram que, em solos deficientes em fósforo, além da baixa produtividade, os teores de sacarose no caldo e na cana e o grau de pureza são também baixos. Fatores como clima, variedades e manejo do solo exercem influência sobre as características tecnológicas da cana-de-açúcar, dificultando a avaliação do efeito dos fertilizantes sobre esses parâmetros. Nota-se, também, que a resposta da cana-

-de-açúcar à fertilização fosfatada tem se mostrado variável mesmo em solos deficientes em fósforo, provavelmente devido às condições ambientais e ao manejo da cultura (Albuquerque & Marinho, 1983).

Este trabalho teve, como objetivos, avaliar os efeitos da aplicação de níveis crescentes de fósforo sobre a produtividade, o teor de fósforo no caldo, a porcentagem de pol da cana-de-açúcar e o aproveitamento do resíduo de fósforo no solo pelo rendimento da soca em condições irrigadas.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado em um Vertissolo do campo experimental da usina Agrovale, Juazeiro, Bahia, cujas características químicas constam da Tabela 1. A variedade de cana-de-açúcar (BR 70-194) foi plantada no sulco de irrigação, no espaçamento de 1,40m com 13 gemas/m. As parcelas tinham uma área total de 84,00 m<sup>2</sup> (7,00m x 12,00m) e uma área útil de 42,00 m<sup>2</sup> (4,20 m x 10,00 m). Os tratamentos foram constituídos dos seguintes níveis de fósforo: 0, 60, 120, 180, 240 e 300 kg/ha de  $P_2O_5$ , na forma de superfosfato triplo, aplicados no plantio. Além do fósforo, foi usado o correspondente a 180 kg/ha de N, na forma de uréia, sendo uma metade no plantio e a outra 120 dias após, e ainda 90 kg/ha de  $K_2O$  na forma de cloreto de potássio, no plantio. A irrigação foi conduzida através de sulcos de infiltração e a frequência variou de acordo com a necessidade de água da cultura. O delineamento experimental adotado foi de blocos casualizados com quatro repetições.

Quatro meses após o plantio e antes da adubação de cobertura, foi feita amostragem da 1ª e 4ª folhas de lígula visível em dez plantas de cada parcela, para determinação dos teores de fósforo (Sultanum et al., 1976). Precedendo a colheita da cana planta, realizada treze meses após o plantio, foi feita uma amostragem para determinação do teor de fósforo e da pol (%) no caldo.

Para avaliação do efeito residual do fósforo aplicado no plantio, as parcelas foram divididas ao meio no sentido dos sulcos, e, em uma das subparcelas, foram aplica-

**TABELA 1. Características químicas do solo do local do experimento.**

pH(H <sub>2</sub> O)	CE	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	H+Al	CTC	P(Bray <sub>1</sub> )	M. org.
1:2,5	mmhos/cm	emg/100 ml de solo						ppm	%
8,0	0,45	32,0	2,20	0,26	0,24	0,00	34,70	1,60	0,84

dos 90 kg/ha de  $P_2O_5$ . Nitrogênio, na forma de uréia, no nível de 150 kg/ha de N, e potássio, na forma de cloreto de potássio, no nível de 90 kg/ha de  $K_2O$ , foram aplicados nas duas subparcelas. Metade da dose de nitrogênio foi aplicada após a colheita da cana planta e a outra metade, 120 dias depois. No final de doze meses, procedeu-se à colheita de maneira idêntica à anterior.

O fósforo total, no caldo e nas folhas, foi determinado colorimetricamente no extrato nitroperclórico, usando-se o ácido ascórbico como redutor (Rodella, 1983). A pol (%) do caldo foi determinada de acordo com o método descrito no Manual de Técnicas de Laboratório e Fabricação de Açúcar de Cana (Instituto do Açúcar e do Alcool, 1975).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados de produtividade da cana planta são apresentados na Fig. 1. Pela análise de regressão, observou-se que os níveis de fósforo exerceram um efeito quadrático e positivo sobre o rendimento da cana planta. A produtividade máxima esperada, calculada pela derivada da equação de regressão, foi de 169 t/ha, obtida com o nível de 211 kg/ha de  $P_2O_5$ . Entretanto, o nível econômico da adubação fosfatada, considerando-se o preço da cana de US\$ 14,65 por tonelada e o de fósforo de US\$ 0,57 por quilograma, foi 203 kg/ha de  $P_2O_5$ , nível que proporcionou um rendimento esperado de 168 t/ha, equivalente a 99,4% da produtividade máxima esperada. Considerando 90% desse rendimento máximo (152 t/ha), seriam necessários, de acordo com a curva de resposta, apenas 130 kg/ha de  $P_2O_5$ . Ensaios realizados anteriormente na região, em solos com características similares e com outras variedades, mostraram idêntica ordem de resposta (Aragão & D'Oliveira 1974; Aragão & Pereira, 1979).

O efeito residual do fósforo foi avaliado pela produtividade da soca (Fig. 1). Constatou-se, também, que houve um efeito quadrático dos níveis de fósforo aplicados no estabelecimento da cultura, sobre o rendimento da cana soca, tanto para os tratamentos que não receberam uma segunda aplicação de fósforo, como para aqueles em que foram aplicados 90 kg/ha de  $P_2O_5$ . Observa-se que, de maneira geral, o rendimento da socaria foi bem inferior ao da cana planta, correspondendo, em média, respectivamente, a 43% e 57% do rendimento da cana planta, para

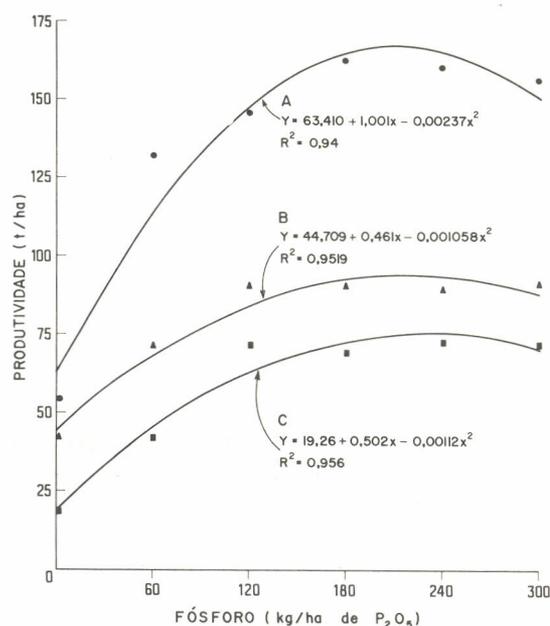
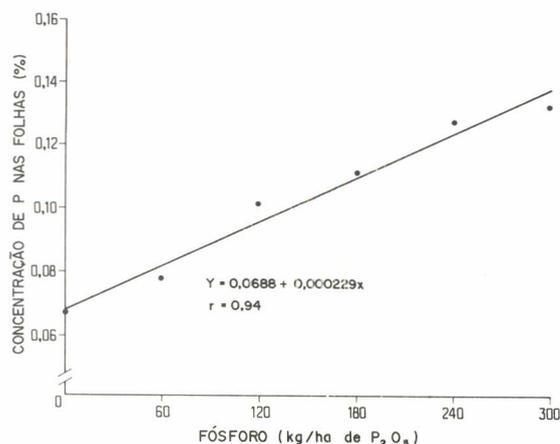


FIG. 1. Produtividade da cana planta em função de níveis crescentes de fósforo aplicado ao solo (A), e das socas com 90 kg/ha de  $P_2O_5$  e sem receber fósforo (C).

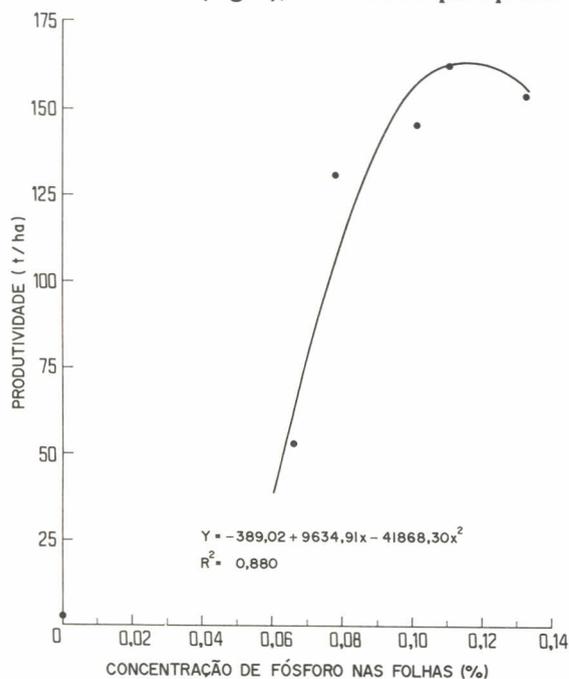
o primeiro e segundo casos. Entretanto, quando comparados entre si, constatou-se que os rendimentos dos tratamentos que não receberam uma segunda aplicação de fósforo variaram de 45,31% a 78,93%, em relação aos tratamentos adubados com 90 kg/ha de  $P_2O_5$ , mostrando, assim, um efeito residual, relativamente alto, do fósforo aplicado no estabelecimento da cultura, principalmente para os níveis acima de 120 kg/ha de  $P_2O_5$ . A menor produtividade da soca, nos tratamentos que receberam uma segunda dose de fósforo, em relação à cana planta, deveu-se, possivelmente, a outros fatores como características da variedade, do solo, do clima e da idade da planta.

A concentração de fósforo nas folhas aumentou linearmente em razão dos níveis de fósforo aplicados (Fig. 2). Comparando-se os resultados obtidos com outras variedades, em condições edafo-climáticas diferentes, observou-se que os valores mais altos encontrados estavam abaixo daqueles citados na literatura para cana bem suprida de fósforo (Malavolta, 1967; Sultanum et al., 1976; Orlando



**FIG. 2.** Concentração de fósforo nas folhas +1 e +4 em função dos níveis crescentes de fósforo aplicado no solo.

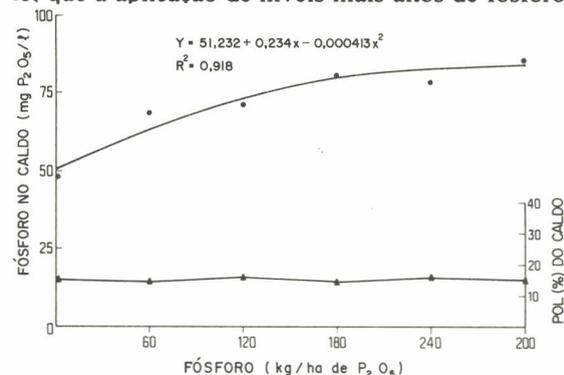
Filho & Zambello Junior, 1983). O aumento contínuo da concentração de fósforo nas folhas, entretanto, não foi acompanhado por idêntico aumento de produtividade. Pela análise de regressão entre as duas séries de valores (Fig. 3), observou-se que a produ-



**FIG. 3.** Relação entre a concentração de fósforo nas folhas +1 e +4 e a produtividade da cana planta.

tividade, resultante do teor de fósforo nas folhas, variou segundo uma relação de natureza quadrática, e a produtividade máxima foi obtida quando o teor de P nas folhas alcançou 0,115%. Resultados similares foram apresentados por Sultanum et al. (1976). Com base no conceito de nível crítico sugerido por Jones Junior (1967), que corresponde a uma concentração do nutriente encontrada em uma parte específica da planta em um determinado período do ciclo de crescimento, suficiente para obtenção de 90% da produtividade máxima, no presente trabalho esse nível para o fósforo nas folhas foi de 0,095%. Comparando esse valor da concentração de fósforo com aqueles obtidos por outros autores (Malavolta et al., 1963; Chapman, 1967; Sultanum et al., 1976), conclui-se pelo baixo valor aqui encontrado. Essa variação decorreria das características da variedade e do solo, conforme discutido por Orlando Filho & Haag (1976).

Com relação aos teores de fósforo no caldo (Fig. 4), constatou-se que os níveis crescentes de fósforo aplicados proporcionaram um efeito quadrático sobre a concentração de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> no caldo. De maneira geral, os valores encontrados estão abaixo daqueles relatados em outros trabalhos (Honig, 1960; César et al., 1972; Serra et al., 1974). De acordo com Honig (1969), citado por Serra et al. (1974), teores de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> no caldo abaixo de 150 mg/l são considerados baixos para a clarificação, sendo necessária, portanto, a adição de fósforo ao caldo no processo de industrialização. Acrescente-se, no entanto, que a aplicação de níveis mais altos de fósforo



**FIG. 4.** Concentração de fósforo e pol (%) do caldo em função de níveis crescentes de fósforo aplicado no solo.

para aumentar o seu teor no caldo, sem concomitante incremento da produtividade da cana, não apresenta justificativa econômica (Marinho & Oliveira, 1980).

Quanto ao teor de açúcar polarizável (Fig. 4), os resultados obtidos não foram influenciados pelos níveis crescentes de fósforo. Samuels e Landrau Junior (1956) relataram que, devido a fatores edáficos, climáticos e varietais, é difícil verificar os efeitos da adubação fosfatada sobre a concentração de sacarose.

### CONCLUSÕES

1. A adubação fosfatada teve um efeito positivo e quadrático sobre o rendimento da cana-de-açúcar e o teor de fósforo no caldo. Para obtenção dos rendimentos máximo e econômico da cana, seriam necessários, respectivamente, 211 kg/ha e 203 kg/ha de  $P_2O_5$ .

2. A produtividade da soca em relação ao rendimento da cana planta correspondeu, em média, respectivamente, a 57% e 43%, para os tratamentos com e sem aplicação de fósforo, verificada após a colheita da cana planta.

3. As produtividades dos tratamentos que não receberam fósforo pela segunda vez variaram de 45,31% a 78,93%, em relação aos tratamentos que receberam 90 kg/ha de  $P_2O_5$ , evidenciando um efeito residual da fertilização.

4. Os teores de fósforo nas folhas +1 e +4 aumentaram linearmente em consequência dos níveis crescentes de fósforo aplicados e correlacionaram-se com as produtividades, sendo o teor de 0,115% suficiente para a obtenção do rendimento máximo. O nível crítico, suficiente para a obtenção de 90% da produtividade máxima, foi de 0,095%.

5. A pol (%) do caldo da cana não variou com os níveis crescentes de fósforo aplicados no solo.

### REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, G.A.C.; MARINHO, M.L. Adubação na região Nordeste. In: ORLANDO FILHO, J. (Coord). **Nutrição e adubação de cana-de-açúcar no Brasil**. Piracicaba: IAA-PLANALSUCAR, 1983. p.351-368 (PLANALSUCAR. Coleção, 2).
- ARAGÃO, O.P.; D'OLIVEIRA, L.O.B. **Coletânea de trabalhos executados nas Estações Experimentais de Mandacaru e Bebedouro**. Juazeiro-BA: SUVALE, 5ª Agência Regional, 1974. 100p.
- ARAGÃO, O.P.; PEREIRA, J.R. Comportamento da cana-de-açúcar sob diferentes regimes de irrigação. **Brasil Açucareiro**, Rio de Janeiro, v.94, n.6, p.39-53, 1979.
- CÉSAR, M.A.A.; MAZZARI, M.R.; D'OLIVEIRA, E.R. O teor de fósforo no caldo de algumas variedades de cana-de-açúcar. **Brasil Açucareiro**, Rio de Janeiro, v.79, n.6, p.34-39, 1972.
- CHAPMAN, H.D. Plant analysis values suggestive of nutrient status of selected crops. In: SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICA, Madison, USA. **Soil testing and plant analysis**; plant analysis. Madison, 1967. Part 2, p.77-92. (SSSA Special Publication Series, 2).
- FARIA, C.M.B.; PEREIRA, J.R.; MORGADO, L.B.; ARAGÃO, O.P. Influência de fontes e níveis de nitrogênio na cultura da cana-de-açúcar irrigada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.18, n.8, p.849-853, 1983.
- HONIG, P. The presence of phosphate in cane juice. In: CONGRESS OF THE INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGY, 10, 1959, Hawaii. **Proceedings...** Amsterdam: Elsevier, 1960. p.351- 361.
- INSTITUTO DO AÇÚCAR E DO ALCOOL. Estação Experimental de cana-de-açúcar de Alagoas, (Maceió-AL). **Manual de técnicas de laboratório e fabricação de açúcar de cana**. Rio de Janeiro: IAA - Serviço de Documentação, 1975. 359p. (IAA. Coleção Canavieira, 18).
- JONES JUNIOR, J.B. Interpretation of plant analysis for several agronomic crops. In: SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICA, Madison, USA. **Soil testing and plant analysis**; plant analysis. Madison, 1967. Part. 2, p.49-58. (SSSA Special Publication Series, 2).
- MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola**. São Paulo: Biblioteca Agrônômica Ceres, 1967. 606p.
- MALAVOLTA, E.; GOMES, F.P.; COURY, T.; ABREU, C.P.; VALSECHI, O.; HAAG, H.P.; BRASIL SOBRINHO, M.O.C.; MELLO, F.A.F. de; ARZOLLA, J.D.P. **A diagnose foliar na cana-de-açúcar**. IV Resultados de 40 ensaios fatoriais NPK 3 x 3 x 3, primeiro corte no Estado de São Paulo. Piracicaba: USP-ESALQ, 1963. 47p.

- MARINHO, M.L.; OLIVEIRA, C.C. Efeito do P nativo e aplicado no solo na decantação do caldo da cana-de-açúcar. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DE TÉCNICOS AÇUCAREIROS DO BRASIL, 1., 1979, Maceió. **Anais...** Maceió: STAB, 1980, v.2., p.334-345.
- ORLANDO FILHO, J.; HAAG, H.P. **Influência varietal e do solo no estado nutricional da cana-de-açúcar (*Saccharum* sp.) pela análise foliar.** Araras: IAA/PLANALSUCAR, 1976. 52p. (IAA. Boletim Técnico).
- ORLANDO FILHO, J.; ZAMBELLO JÚNIOR, E. Influência da adubação NPK nas qualidades tecnológicas da cana planta, variedade CB 41-76. **Brasil Açucareiro**, Rio de Janeiro, v.96, n.6, p.37-44, 1980.
- ORLANDO FILHO J.; ZAMBELLO JÚNIOR, E. Diagnose foliar. In: ORLANDO FILHO, J. (Ed.). **Nutrição e adubação de cana-de-açúcar no Brasil.** Piracicaba: IAA/PLANALSUCAR, 1983. p.125-152.
- PHILLIPS, A.B.; WEBB, J.R. Production, marketing, and use of phosphorus fertilizers. In: OLSON, R.A. (Ed.). **Fertilizer technology and use.** Madison, USA: Soil Science Society American, 1971. p.271-302.
- RODELLA, A.A. Métodos de análise de solo, tecido vegetal, vinhaça e torta de filtro. In: ORLANDO FILHO, J. (Coord). **Nutrição e adubação de cana-de-açúcar no Brasil.** Piracicaba: IAA-PLANALSUCAR, 1983. p.351-368. (PLANALSUCAR. Coleção, 2).
- SAMUELS, G.; LANDRAU JUNIOR, P. The sucrose content of sugarcane as influenced by fertilizers. In: CONGRESS OF THE INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGY, 9., 1956, New Delhi. **Proceedings...** New Delhi. Executive Committee of the ISSCT, 1956. p.365-375.
- SERRA, G.E.; STUPIELLO, J.P. de; PINHO, S.Z. Efeitos da adubação fosfatada sobre o teor de fósforo do caldo de cana-de-açúcar. **Brasil Açucareiro**, Rio de Janeiro, v.84, n.4, p.52-72, 1974.
- SILVA, G.M. de A. Influência da adubação na qualidade da cana-de-açúcar. In: ORLANDO FILHO, J. (Coord). **Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil.** Piracicaba: IAA/PLANALSUCAR, 1983. p.317-332. (PLANALSUCAR, Coleção 2).
- SULTANUM, E.; SILVA, M.C.A.; FABEL NETO, E.; CAVALCANTE, L.V.; DE FRANÇA, M.R.; ARAÚJO, O.B. de O. **Fósforo na nutrição da cana-de-açúcar no Nordeste do Brasil.** [S.l.]: Cooperativa dos Produtores de Açúcar e Alcool de Pernambuco, Laboratório de Análise Foliar da Cana-de-açúcar, 1976. 65p.