



INFLUÊNCIA DE FONTES DE FOSFATO NATURAL REATIVO E INTERAÇÕES COM FONTES DE CARBONO NA PRODUTIVIDADE AGROINDUSTRIAL DA CANA-DE-AÇÚCAR EM SOLO ARENOSO, EM PIRACICABA, SP

Fábio César da **Silva**¹; Mariana Lopes de **Carvalho**²; Aline Cristina **Camargo**²; Arnaldo José **Raizer**²; Luis Fernando Sanglade **Marchiori**³

Nº 22604

RESUMO – Com o objetivo de avaliar diferentes fontes e doses de adubos fosfatados, aplicados na cana-de-açúcar em ambiente de baixa fertilidade, o experimento foi instalado em solo arenoso no município de Piracicaba-SP. Foram avaliadas características biométricas, de produtividade e teor de sacarose, bem como parâmetros de extração de nutrientes, em cana-planta no ano de 2021. Os efeitos de tratamentos foram significativos apenas para a produtividade de colmos, havendo grande resposta a aplicação de fósforo. Não houve efeito dos produtos, fontes ou doses aplicadas na qualidade tecnológica dos colmos.

Palavras-chaves: cana-de-açúcar, adubação fosfatada, fosfato natural, inoculantes, fontes de carbono

1 Orientador, Pesquisador A, Embrapa Agricultura Digital, Campinas, SP.

2 Bolsistas do CNPQ no Projeto Coplacana/Embrapa/Faped - IC, Campinas, SP.

3 Professor e Coordenador da Fazenda Areão - USP, Piracicaba, SP.



ABSTRACT – *In order to evaluate different sources and doses of phosphate fertilizers, applied to sugarcane in low fertility soil, the experiment was installed in sandy soil in Piracicaba-SP. Biometric characteristics, productivity and sucrose content, as well as nutrient extraction parameters, were evaluated in plant cane during 2021 season. The effects of treatments were significant only for stalk productivity, with a great response to phosphorus application. There was no effect of the products, sources or doses applied on the technological quality of the stalks.*

Keywords: Sugarcane, phosphate fertilization, natural phosphate, inoculants, carbon sources.

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, a cultura da cana-de-açúcar destaca-se pela importância econômica e como fonte bioenergética, ocupando área de colheita de 8,5 milhões de hectares, pelos dados da safra 2020/2021, que apontaram uma produção total nacional de 655 milhões de toneladas, segundo a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2021).

O fósforo (P) participa de inúmeros processos metabólicos cruciais para a vida da planta, principalmente como fornecedor, armazenador de energia e na obtenção da sacarose. O elemento é muito importante por aumentar a eficiência da utilização de água pela planta e absorção de outros nutrientes, devido sua importância na raiz das plantas. É um elemento móvel, sua deficiência aparece principalmente nas folhas mais velhas, limitando o perfilhamento, reduzindo o tamanho dos entrenós e gerando baixo estande do canavial (Malavolta, 1980).

A adubação é um dos fatores que determinam a produtividade, porém deve-se ressaltar que a tecnologia deve estar inserida num contexto geral de manejo de cada cultura. O agricultor precisa observar a presença de pragas, a concorrência de mato, compactação do solo, a época de plantio, enfim, todas as variáveis, e também avaliar dose e o modo de aplicação do fertilizante. A regulação dos implementos e a época de aplicação também podem ser determinantes do sucesso das adubações, ou seja, aumentos significativos de produtividade são obtidos com a melhoria de todas as práticas agrícolas, conjuntamente. Para calcular quanto aplicar de determinado fertilizante, é necessário conhecer a cultura e as fases de desenvolvimento das plantas, saber quanto a cultura necessita de cada elemento, quanto o solo fornece e quais são os nutrientes que deverão ser supridos (Rosseto & Dias, 2005).

O fósforo é elemento essencial para o desenvolvimento do sistema radicular das culturas, principalmente na cana-de-açúcar. Sua disponibilidade é muito afetada pelo pH do solo, nos



materiais de origem da maioria dos solos brasileiros, o seu teor, geralmente, é muito baixo. Praticamente, todo o P é absorvido através do contato com a raiz, e tem uma outra parte menor que está disponível na solução do solo. Sua movimentação é muito baixa no solo, permanecendo próximo das raízes, onde comumente é aplicado, seja na cana planta dentro do sulco, ou na cana soca ao lado das linhas das soqueiras (Penatti, 2013).

Diversos autores observaram nas avaliações de parte aérea no campo que o número de perfilhos foi bastante aumentado com a utilização de doses maiores de fósforo, principalmente na cana planta. De forma geral, os trabalhos não apontam para retorno em produtividade, com aplicação do fósforo em soqueiras.

O adubo fosfatado adicionado ao solo, além do efeito imediato sobre a cultura que se segue à adubação, pode ter um efeito residual nos cultivos subsequentes. Além do tipo de cultura, vários fatores podem afetar o efeito residual dos adubos fosfatados, tais como: doses e fontes de P, método de aplicação, manejo, temperatura, tipo de solo, tempo de aplicação e umidade do solo. Ao contrário dos fosfatos solúveis e dos termofosfatos, os fosfatos naturais apresentam uma solubilização mais lenta, podendo ocorrer um aumento gradativo da disponibilidade de P (Novais e Smyth, 1999). Os fosfatos solúveis e os termofosfatos são superiores aos fosfatos naturais, necessitando da acidez natural do solo para sua solubilização do fósforo, decrescendo a sua eficiência à medida que o pH do solo aumenta, contrário em relação aos fosfatos solúveis. A aplicação de calcário como corretivo da acidez do solo e fornecimento dos nutrientes cálcio e magnésio aumenta a disponibilidade de fósforo do solo e a eficiência dos fertilizantes fosfatados solúveis, pelo fato de reduzir os sítios de adsorção de fósforo (Souza e Lobato, 2003).

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado em área da Fazenda Santin, localizada no Bairro Ártemis, no município de Piracicaba-SP, com latitude 22°43'31"S e longitude 47°50'27"O, altitude 547 m. A data de instalação foi 14/09/2020, o solo da área experimental é classificado como Neossolo Quartzarênico (Areia Quartzosa), textura arenosa, com características químicas principais na Tabela 2, e classificado como ambiente E (EMBRAPA, 2006). O clima da região, na classificação de Köppen, é do tipo Aw, clima tropical úmido, com estação chuvosa no verão e seca no inverno, com média anual de 1346 mm de precipitação. Os dados meteorológicos encontram-se na Figura 1, obtidos da estação da Coplacana.

O delineamento adotado foi o de blocos casualizados, com 4 repetições, sendo 10 tratamentos, em parcelas subdividas (COM ou SEM a aplicação do inoculante BiomaPhos), totalizando 80 parcelas. Cada parcela está constituída por 5 linhas simples, espaçadas a 1,5 metros, e com 13 metros de comprimento, perfazendo o total de 97,5 m² de área por parcela. O descritivo dos tratamentos se encontra na Tabela 1.



Figura 1. Dados meteorológicos de umidade relativa, temperatura média e precipitação de 2020 a 2021.

A cultivar utilizada na área foi a RB86-7515 (média/tardia).

Tabela 1. Descritivo dos tratamentos, combinando fontes e doses de fósforo aplicados na área experimental.

* Nas subparcelas tratamentos COM e SEM BiomaPhos; ** via SuperSimples (SS).

Tratamentos *	Fonte 1	Dose 1	Fonte 2	Dose 2
T1	Testemunha	0		
T2	Biochar	10 ton/ha	SS **	150 Kg/ha P ₂ O ₅
T3	Torta	20 ton/ha	SS	75 Kg/ha P ₂ O ₅
T4	Pó de rocha	150 Kg/ha	SS	150 Kg/ha P ₂ O ₅
T5	Phosfato I9	150 Kg/ha	SS	150 Kg/ha P ₂ O ₅
T6	Gafsa	150 Kg/ha	SS	150 Kg/ha P ₂ O ₅
T7	Padrão P 50%	75 Kg/ha P ₂ O ₅	SS	
T8	Padrão P 100% *	150 Kg/ha P ₂ O ₅	SS	
T9	Padrão P 200%	300 Kg/ha P ₂ O ₅	SS	
T10	UPDT	15 Kg/ha	SS	150 Kg/ha P ₂ O ₅

Aos 30 dias antes da implantação do ensaio, foram coletadas amostras simples do solo da área, que compuseram a amostra composta, nas camadas de 0-20 cm de profundidade. Realizou-

se a análise química do solo para fins de fertilidade (Tabela 2), de acordo com os métodos descritos por Raij et al. (2001).

Tabela 2. Características químicas do solo da área experimental cultivado com cana-de-açúcar.

Camada	pH (CaCl ₂)	P	M.O.	K	Ca	Mg	H+Al	T	SB	V
cm		mg dm ⁻³	g dm ⁻³			mmol _c dm ⁻³				%
0 - 20	5,4	13	12	0,2	5	3	14	22	7,7	36

Considerando como referência a dose de fósforo de 150 Kg ha⁻¹ de P₂O₅, indicada para o Estado de São Paulo (Spironello et al., 1997), foram conduzidos tratamentos com diferentes fontes e doses de fósforo.

O estado nutricional das plantas foi determinado aos 4 meses após o plantio, através de amostragens de 20 folhas, 10 em cada linha central, por unidade experimental. Para isso, consideraram-se as folhas +1 (folha mais alta, com colarinho visível “TVD”), cortando-se os 20 cm centrais e excluindo a nervura central, conforme Raij et al. (1997). Após a amostragem das folhas, elas foram lavadas, colocadas em sacos de papel e secas em estufa de ventilação forçada de ar, a uma temperatura entre 65 e 70°C, até atingir massa constante. O material vegetal foi moído em moinho tipo Willey (peneira com abertura de malha de 1 mm), para posterior determinação dos teores de K no tecido vegetal, pelos métodos descritos por Bataglia et al. (1983).

Aos doze meses após o plantio, em 08/09/2021, foi realizada a colheita da cana-planta de todas as linhas de cada parcela. Na colheita, foram retirados 6 colmos e separadas as partes aéreas da cana-de-açúcar da parcela, em folhas e colmos. Após a pesagem do material fresco, as folhas foram secas em estufa (65°C), foi realizada a determinação do teor de fósforo no tecido vegetal, seguindo a metodologia descrita por Bataglia et al. (1983), e com os dados de matéria seca, efetuou-se o cálculo do acúmulo de fósforo, na parte aérea da planta. Os 6 colmos obtidos dessa amostragem de cada parcela foram para a análise tecnológica, avaliando-se teor de sacarose (Pol% cana), fibra, pureza, concentração de sólidos solúveis (°Brix), açúcar teórico recuperável (ATR) e açúcares redutores, determinados conforme a metodologia descrita por Consecana (2006). Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e, em seguida, à análise de regressão polinomial.

Para avaliação da produtividade da cana planta, foram cortados pela base todos os colmos de cada parcela, descartando-se o ponteiro e as folhas secas, e amontoados para o procedimento de pesagem.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os gráficos a seguir se referem às análises realizadas na cana-planta, para a produtividade em Toneladas de Colmos por Hectare (TCH), e para o teor de sacarose pelo Açúcar Teórico Recuperável (ATR). Foram obtidas as médias, a variabilidade dos dados e a classificação dos tratamentos, de acordo com a análise de variância.

3.1. Dados do Corte 1, em 2021: Produtividade de colmos (TCH, Toneladas de Cana por Hectare)

Pela análise de variância foi observado o efeito significativo de tratamentos (doses e fontes de P), ao nível de 1%. Por outro lado, não houve diferença ao nível de sub parcelas, COM ou SEM aplicação do BiomaPhos, e tampouco efeito da interação deste produto com as demais fontes de P (Figura 2).

No geral, as produtividades obtidas foram baixas, na ordem de 54 TCH, devido ao solo de baixa fertilidade e ciclo de 12 meses em cana de ano.

ANOVA com Comparação múltipla de médias: Tukey para Corte 1 TCH

Legenda:						Tratamento	
FATOR 1(parcela): Tratamento						Teste de Tukey	
FATOR 2 (subparcela): sem/com Biomaspfos							
-----						Grupos Tratamentos Médias	
-----						a	T3 68.57617
-----						ab	T9 58.25162
-----						ab	T4 56.66774
-----						ab	T6 53.96927
-----						b	T2 52.03342
-----						b	T1 51.27081
-----						b	T8 50.91884
-----						b	T7 50.86017
-----						b	T10 49.80425
-----						b	T5 45.05261
-----						sem/com Biomaspfos	
-----						De acordo com o teste F, as médias desse fator são estatisticamente iguais.	
-----						Níveis Médias	
-----						1	A 52.50272
-----						2	B 54.97826
-----						-----	

Quadro da análise de variância					
	GL	SQ	QM	Fc	Pr(>Fc)
Tratamento	9	2922.5	324.72	3.4964	0.004609 **
Erro a	30	2786.2	92.87		
sem/com Biom.	1	122.6	122.57	2.7722	0.106324
Trat.* sem/com Biom.	9	217.3	24.14	0.5461	0.828954
Erro b	30	1326.4	44.21		
Total	79	7375.0			

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1					
CV 1 =	17.93274	%			
CV 2 =	12.37287	%			

Figura 2. Resultados da análise de variância e classificação dos tratamentos.

O tratamento T3 foi o destaque em produtividade (Torta mais SuperSimples), muito acima dos demais, mas estatisticamente similar a T9, T4 e T6 (Tabela 1, Figura 2). A boa resposta do T3 ocorreu possivelmente também devido à umidade da torta e ao baixo teor de M.O. no solo. Por outro lado, o tratamento T5 (Phosfato I9 mais SuperSimples) apresentou produtividade muito baixa. Na média, a variável TCH não foi significativamente diferente, COM ou SEM a aplicação do BiomaPhos,

embora a presença do inoculante tenha aumentado 2,5 toneladas na produtividade de colmos (Figura 3).

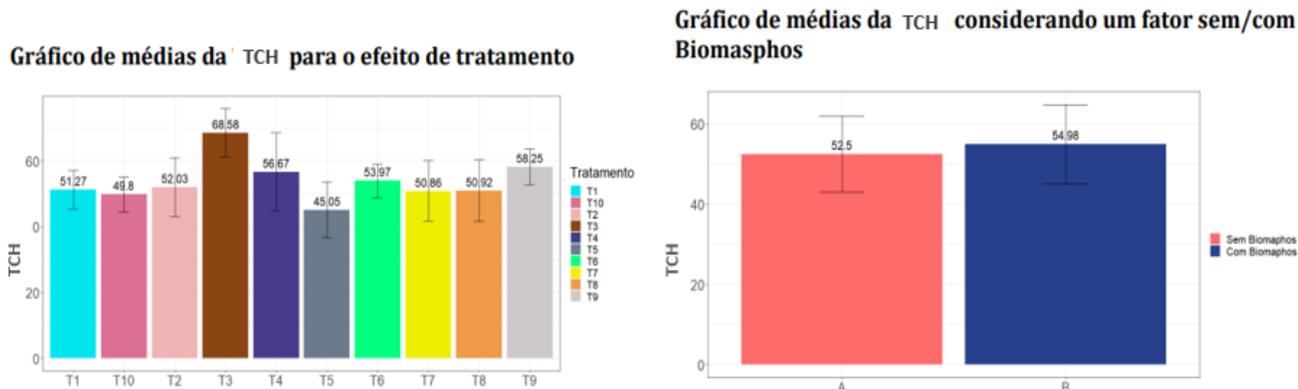


Figura 3. Resultados das médias dos tratamentos.

3.2 Dados do Corte 1, em 2021: Teor de sacarose (ATR, Açúcar Teórico Recuperável)

Pela análise de variância não foi observado efeito significativo de tratamentos, seja para doses e fontes de P, ou aplicação do BiomaPhos (Figura 4).

ANOVA com Comparação múltipla de médias: Tukey para Corte 1 ATR

Legenda:						Tratamento	
FATOR 1(parcela): Tratamento						De acordo com o teste F, as médias desse fator são estatisticamente iguais.	
FATOR 2 (subparcela): sem/com Biomafhos							
Quadro da análise de variância						Níveis	Médias
	GL	SQ	QM	Fc	Pr(>Fc)	1	T1 136.7574
Tratamento	9	955.2	106.128	0.63200	0.7607	2	T10 141.5452
Erro a	30	5037.7	167.923			3	T2 136.0765
sem/com Biom.	1	11.6	11.632	0.19417	0.6626	4	T3 138.0791
Trat.* sem/com Biom.	9	545.1	60.563	1.01096	0.4533	5	T4 138.4018
Erro b	30	1797.2	59.906			6	T5 148.7603
Total	79	8346.7				7	T6 139.3018
						8	T7 137.0915
						9	T8 139.4962
						10	T9 138.3699
						sem/com Biomafhos	
						De acordo com o teste F, as médias desse fator são estatisticamente iguais.	
						Níveis	Médias
						1	A 139.7693
						2	B 139.0067

Figura 4. Resultados da análise de variância e classificação dos tratamentos.

Os resultados de ATR foram bastante parecidos, com média geral de 139,39 Kg de açúcar por tonelada de cana. Curiosamente, o tratamento T5 (Phosphato I9 mais SS dose padrão), de menor TCH, foi o de melhor teor de sacarose pelo ATR (Figura 5).

Gráfico de médias do ATR para o efeito de tratamento

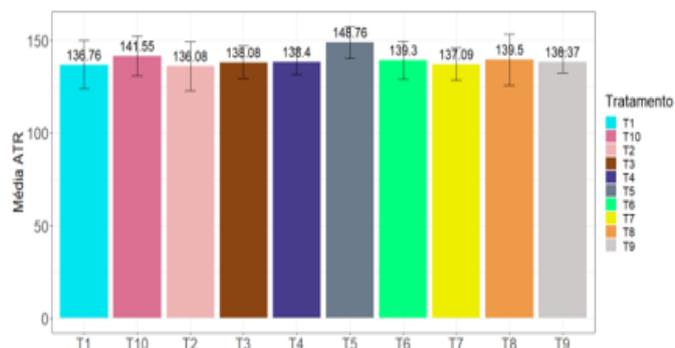


Gráfico de médias do ATR considerando um fator sem/com Biomafos

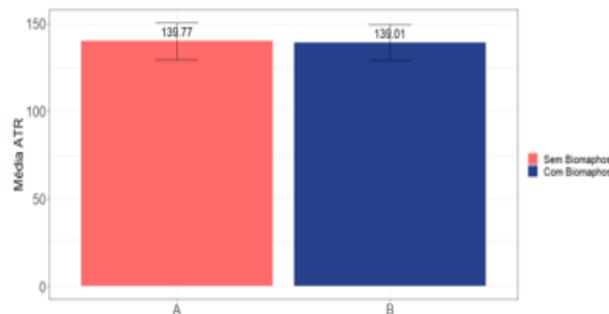


Figura 5. Resultados das médias dos tratamentos.

4. CONCLUSÕES

Baseando-se nos dados de cana-planta, o solo onde o experimento foi conduzido respondeu à adubação de fósforo para a maioria dos tratamentos, com destaque para a produtividade (TCH) do tratamento com Torta mais SuperSimples, possivelmente também devido ao baixo teor de matéria orgânica no solo.

A aplicação do inoculante não promoveu diferenças na produtividade de colmos, tampouco efeito de interação do produto com as diversas fontes de P aplicadas.

Quanto à qualidade tecnológica e o teor de sacarose dos colmos, não foi observado efeito dos tratamentos, seja para doses ou fontes de P, ou pela aplicação do inoculante.

5. AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelas bolsas concedidas.

À Cooperativa dos Plantadores de Cana do Estado de São Paulo (COPLACANA), pelo apoio financeiro, e à Associação dos Fornecedoros de Cana de Piracicaba (AFOCAPI), pelo apoio técnico.

Ao produtor rural Sr. José Sérgio Santin, pela área experimental e apoio operacional.

5. REFERÊNCIAS

BATAGLIA, O. C.; FURLANI, A. M. C.; TEIXEIRA, J. P. F.; FURLANI, P. R.; GALLO, J. R. **Métodos de análise química de plantas**. Campinas: IAC, 1983. 48 p. (Boletim Técnico, 78).



CONAB. ACOMPANHAMENTO DA SAFRA BRASILEIRA DE CANA-DE-AÇÚCAR: safra 2020/21: quarto levantamento, v. 7, n. 4, p. 1-57, maio 2021. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana/boletim-da-safra-de-cana-de-açúcar>>. Acesso em: 2 mar. 2022.

CONSECANA 2006: **Conselho dos Produtores de Cana-de-açúcar, Açúcar e Alcool do Estado de São Paulo**. Manual de instruções. Piracicaba: CONSECANA, 2006. 110 p.

EMBRAPA 2006: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**, 2006. 412 p.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 1980. 251 p.

NOVAIS, F.R.; SMYTH, T.J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1999. 399 p.

PENATTI, C. P. **Adubação da cana-de-açúcar: 30 anos de experiência**. Ituiutaba: Otoni, 2013. 347 p.

RAIJ, B. van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agronômico e Fundação IAC, 1997. p. 285.

RAIJ, B. van.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 2001. p. 285.

ROSSETO, R; DIAS, F. L. F. **Nutrição e adubação da cana-de-açúcar: Indagações e reflexões**. Encarte do Informações Agronômicas, n.110, junho de 2005.

SOUZA, D.M.G. de; LOBATO, E. **Adubação fosfatada em solos da região do cerrado**. Informações Agronômicas, n. 112, 2003. 16p. (Encarte Técnico).

SPIRONELLO, A.; RAIJ, B. V.; PENATTI, C. P.; CANTARELLA, H.; MORELLI, J. L.; ORLANDO FILHO, J.; LANDELL, M. G. A.; ROSSETO, R. Cana-de-açúcar. In: RAIJ, B. V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Fundação IAC, 1997. p.237-239.