



## Crescimento e produtividade agrícola de cana-de-açúcar em diferentes fontes de fósforo<sup>1</sup>

**Valdevan R. dos Santos<sup>2</sup>, Gilson Moura Filho<sup>3</sup>, Abel W. de Albuquerque<sup>3</sup>,  
José P. V. da Costa<sup>3</sup>, Cícero G. dos Santos<sup>4</sup>, Alda C. I. dos Santos<sup>5</sup>**

### RESUMO

Com o objetivo de avaliar o crescimento e a produtividade agrícola da cana-planta em diferentes fontes de fósforo, conduziu-se um experimento de campo em Coruripe, AL, com 10 tratamentos: 1. Testemunha; 2. NK + micro; 3. Superfosfato simples (SS); 4. Superfosfato triplo (ST); 5. Fosmag; 6. Gafsa; 7. MAP; 8. Fórmula 06-26-24 (460 kg ha<sup>-1</sup>); 9. Composto e 10. SSP - parcelado. O delineamento estatístico foi em blocos ao acaso com 4 repetições. Avaliaram-se: população de perfilhos, altura de plantas, Índice de Área Foliar (IAF), taxa de crescimento do colmo, taxa de produção de matéria fresca do colmo, taxa de crescimento relativo, rendimento agrícola e as concentrações foliares de P e os níveis disponíveis no solo. As fontes de fósforo não influenciaram o crescimento da cana-planta em função do efeito residual, proveniente de adubações anteriores, mas proporcionaram produtividades médias superiores a 80 t ha<sup>-1</sup>. O ST proporcionou o melhor rendimento agrícola na cana-planta a qual, por sua vez, apresentou três fases de crescimento: 1ª fase: intenso perfilhamento até 120 DAP; 2ª fase: grande crescimento de 120 a 240 DAP e 3ª fase: maturação dos 240 aos 360 DAP. As maiores taxas de crescimento e produção de matéria fresca do colmo ocorreram logo após a fase de intenso perfilhamento entre 120 e 240 DAP.

**Palavras-chave:** índices biométricos, cana-planta, adubação fosfatada

## Growth and yield of sugarcane under different phosphorus sources

### ABSTRACT

This work had as its objective in the evaluation of the growth and production of the sugarcane plant under different phosphorus sources. The experiment was carried out in Coruripe, AL, Brazil with 10 fertilizer treatments: 1) Control; 2) NK + micronutrient; 3) Super Phosphate Simple; 4) Triple Super Phosphate; 5) Fosmag; 6) Gafsa; 7) MAP; 8) NPK 06-26-24 (460 kg ha<sup>-1</sup>); 9) Compost and 10) Simple Super Phosphate - splitdose. The experiment was in random blocks, with four replicates. Parameters evaluated were: number of tillers, height of plants, IAF, rate of stalk growth, rate of biomass production of the stalk, relative growth rate, production and P in leaf and available in soil. P sources did not show any significant influence upon the growth of cane-plant due to the residual effect of previous manuring, with average yield of 80 t ha<sup>-1</sup>. The triple super phosphate produced the best production in the cane-plant, which presented three growth phases: 1<sup>st</sup> phase: intense tillering until 120 days after planting (DAP); 2<sup>nd</sup> phase: intense growth between 120 and 240 DAP; and 3<sup>rd</sup> phase: maturation, between 240 and 360 DAP. The major growth rate and fresh matter stalk production occurred after intense tillering phase between 120 and 240 DAP.

**Key words:** biometric indexes, plant-cane, phosphate fertilization

<sup>1</sup> Parte da Dissertação de Mestrado do primeiro autor, apresentada na Universidade Federal de Alagoas.

<sup>2</sup> Secretaria de Estado da Agricultura e do Desenvolvimento Agrário de Alagoas, CEP 57048-010, Maceió, AL. Fone: (82) 3315-1372. E-mail: valdevan@yahoo.com.br

<sup>3</sup> CECA/UFAL, Campus Delza Gitai, BR 104 Norte, Km 85. CEP 57100-000, Rio Largo, AL. Fone/Fax (82) 3261-1351. E-mail: gmf@fapeal.br; awa@fapeal.br; jpv@fapeal.br

<sup>4</sup> UFAL Campus Arapiraca. Av. Manoel Severino Barbosa, S/N, CEP: 57309-005, Bairro Bom Sucesso, Arapiraca, AL. Email: cgomes\_al@hotmail.com

<sup>5</sup> CECA/UFAL, Campus Delza Gitai, BR 104 Norte, Km 85. CEP 57100-000, Rio Largo, AL. Fone/Fax (82) 3261-1351. Email: aldajg@hotmail.com

## INTRODUÇÃO

As principais fontes de fósforo podem ser classificadas, basicamente, em solúveis, pouco solúveis e insolúveis; as primeiras são prontamente disponíveis, e por isso mesmo as mais utilizadas para aumentar a quantidade de P disponível para as plantas. Esta rápida liberação pode também favorecer o processo de adsorção e precipitação das formas solúveis aos componentes do solo, indisponibilizando-o às plantas (Horowitz & Meurer, 2003) sendo este processo mais expressivo quanto mais argiloso for o solo.

Alguns trabalhos mostraram que a cana-de-açúcar apresentou melhor reação com os fosfatos solúveis em relação aos insolúveis (Marinho & Albuquerque, 1980; Weber et al., 1993). As fontes de baixa solubilidade não conseguem manter níveis adequados de fósforo para as plantas, em virtude de sua baixa velocidade inicial de dissolução (Marinho & Albuquerque, 1980). Por outro lado, fosfatos naturais de alta reatividade, como o fosfato de gafsa, apresentam eficiência equivalente às fontes de alta solubilidade quando incorporados ao solo (Corrêa et al., 2005) estando sua eficiência ligada ao grau de substituição isomórfica do fósforo por outros íons, na rede cristalina (Horowitz & Meurer, 2003).

Em solos com alto efeito residual, esta fonte poderá ter papel importante, promovendo a solubilidade gradual e eficiente do P além do fornecimento de micronutrientes. Em trabalho realizado na região canavieira de Alagoas, Figueiredo Filho (2002) verificou que o fosfato de gafsa apresentou resultados de produtividades superiores ao MAP e ao superfosfato simples. Possivelmente, a seqüência de adubações fosfatadas de fundação ao longo do tempo, promoveu a saturação progressiva da superfície de adsorção, implicando na redução da energia de ligação de fósforo com a superfície, disponibilizando maior quantidade de fósforo ligado com menor energia para a cultura (Costa et al., 2006).

Uma significativa fonte de P utilizada tem sido o composto produzido por resíduos industriais (torta de filtro, bagaço e cinzas de caldeira) podendo, neste caso, não só substituir parcialmente o P requerido pela cultura, ao longo do seu ciclo, mas proporcionar alterações profundas nos atributos químicos e físicos do solo, disponibilizando nitrogênio, fósforo e cálcio e aumentando a sua capacidade de retenção de água (Korndörfer, 2004). O volume desse material produzido por safra em uma única unidade industrial, pode ser suficiente para se plantar de 300 a 500 ha; admitindo-se um nível de adubação de 120 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, isto equivaleria a uma redução em torno de 36 a 60 t de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> por ano, em cada unidade, utilizando-se uma dosagem de 20 t ha<sup>-1</sup> na base de massa fresca.

A região canavieira de Alagoas, apesar de seu bom nível tecnológico, ainda carece de informações básicas, em especial no que diz respeito ao conhecimento dos fatores de crescimento da cultura. Trabalhos pioneiros realizados com cana-de-açúcar na região consideravam apenas dados de produtividades finais sem nenhum detalhamento do crescimento e desenvolvimento da cultura. Neste sentido, a análise de crescimento de planta pode tornar-se uma ferramenta fundamental por permitir a avaliação do acúmulo seqüencial de

matéria seca nas diferentes fases de desenvolvimento da cultura. Na cultura da cana-de-açúcar a análise de crescimento tem sido utilizada como instrumento significativo para avaliar o desempenho de variedade (Oliveira et al., 2004; 2005), o efeito de diferentes níveis de estresse hídrico nas fases de desenvolvimento e parâmetros de crescimento (Ramesh, 2000; Ramesh & Mahadevaswamy, 2000) e diferentes tipos de manejo (Gava et al., 2001), sendo interessante fazer uso dessa ferramenta para verificar a influência de fontes de fósforo no crescimento da cultura.

O conhecimento das diferentes fases de crescimento permitirá, aos técnicos e produtores, manejar, de forma mais adequada, as cultivares e planejar, mais eficientemente o manejo da adubação e da irrigação, podendo ainda planejar a época de plantio para que a fase de grande crescimento da cultura (Ramesh, 2000) coincida com o período de maior disponibilidade hídrica das regiões em que é cultivada, a fim de evitar perdas de rendimento provocadas pelo estresse hídrico.

Neste trabalho se objetivou verificar a influência de fontes de fósforo no crescimento e produção final da cana-planta em áreas sob cultivo comercial, no município de Coruripe, Estado de Alagoas.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em área de Tabuleiro Costeiro, na usina Guaxuma, município de Coruripe, AL, período de 2003 a 2004, entre as coordenadas 10° 01' 16" de latitude Sul e 36° 08' 40" de longitude Oeste e altitude de 80 m. Os dados climatológicos estão apresentados na Figura 1.

O solo do local é classificado como Argissolo Amarelo Distrófico, que apresentou, na camada de 0-20 cm: pH (H<sub>2</sub>O) = 5,3; P (Mehlich 1) = 13 mg kg<sup>-1</sup>; K = 1,1 mmol dm<sup>-3</sup>; Ca = 17 mmol dm<sup>-3</sup>; Mg = 4 mmol dm<sup>-3</sup>; Al = 1,4 mmol dm<sup>-3</sup>; H+Al = 42 mmol dm<sup>-3</sup>; S = 22 mmol dm<sup>-3</sup>; T = 64 mmol dm<sup>-3</sup>; V = 34,4%; m = 6% e areia, silte e argila com 850, 50 e 100 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente. Antes da instalação do experimento o solo recebeu 2,0 t ha<sup>-1</sup> de calcário (PRNT = 85%), para atingir a saturação por base ideal para a cultura (60%).

O plantio da cana foi realizado em 26 de dezembro de 2003, utilizando-se a variedade RB75126, colhida em 17 de dezembro de 2004. Na Tabela 1 se apresentam os tratamentos e a composição das fontes de fósforo e micronutriente; todo o fósforo foi aplicado no fundo do sulco de plantio. A recomendação básica para a área de cultivo foi de 66, 120, 132 e 30 kg ha<sup>-1</sup> de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O e zincoman, respectivamente. O tratamento testemunha e aqueles em que as fontes de fósforo continham micronutrientes, não receberam aplicação de zincoman. O tratamento 10 (super simples parcelado) teve a dose total de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> fracionada, recebendo apenas 50 kg ha<sup>-1</sup> na cana-planta, sendo o complemento dos 120 kg manejados nas 1ª e 2ª socas. Fez-se a adubação de cobertura aos 90 dias, com uréia e cloreto de potássio.

Adotou-se o delineamento estatístico em blocos ao acaso com quatro repetições, cujas parcelas se constituíram de 7 linhas de 20 m de comprimento, espaçadas 1 m; cada parcela foi dividida em duas subáreas: na subárea 1, composta das 5

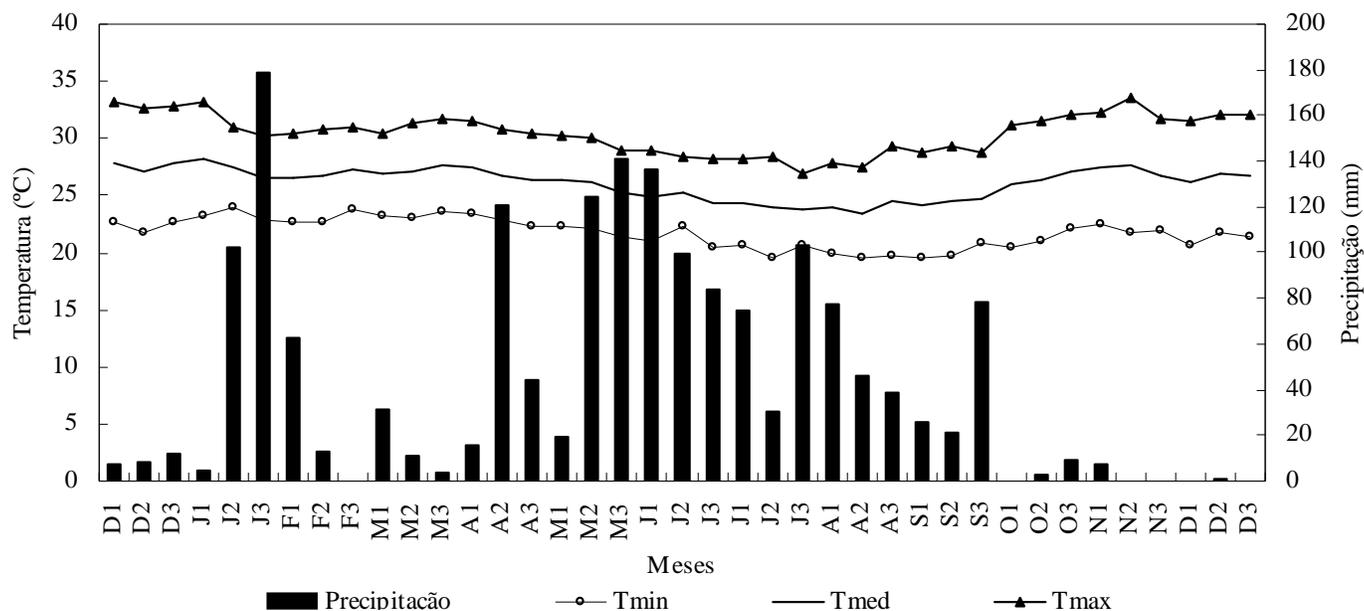


Figura 1. Precipitação e temperatura decendial para o período de dezembro de 2003 a dezembro de 2004

Tabela 1. Tratamentos e composição das fontes de fósforo e zincoman utilizados no experimento

Fontes*	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Zn	Cu	Mo	B
Testemunha	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
NK + micro	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SS	-	18	-	19	-	12	-	-	-	-	-	-
ST	-	45	-	12	-	-	-	-	-	-	-	-
Fosmag	-	16	16	10	2,5	7	-	3000	2500	2500	100	2000
Gafsa	-	16	-	-	-	-	-	3000	2500	2000	-	1200
MAP	10	48	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fórmula	6	26	24	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Composto	0,895	1,58	0,11	0,825	0,285	-	712	36	51	5	-	-
SSP	-	18	-	19	-	12	-	-	-	-	-	-
Zincoman	-	-	-	-	-	-	-	150000	70000	70000	-	-

\* NK (nitrogênio e potássio); SS (super simples); ST (super triplo); MAP (fosfato monoamônico); Fórmula (460 kg ha<sup>-1</sup> de 06-26-24); Composto (mistura de torta de filtro, bagaço e cinzas); SSP (super simples parcelado)

linhas centrais com 5 m de comprimento totalizando 25 m<sup>2</sup> avaliaram-se, a cada 2 meses, a população de perfilhos, altura média de 24 plantas aleatórias, medindo-se da base até o colarinho (folha +1), área foliar média de 12 plantas aleatórias, utilizando-se a folha +2, através da seguinte equação:

$$AF = C \times L \times N \times 0,75 \quad (1)$$

em que: C é o comprimento da folha +2; L é a maior largura da folha +2; N é o número de folhas abertas com pelo menos 20% de área verde e 0,75 é o fator de correção para área foliar. O índice de área foliar (IAF) foi determinado pela razão entre a área foliar total (AFT) em m<sup>2</sup>, média de 12 plantas x número de plantas por hectare, e a área do solo correspondente (10.000 m<sup>2</sup>):

$$IAF = \frac{AFT}{As} \quad (2)$$

Aos quatro meses após o plantio se coletou material para análise foliar, utilizando-se os 20 cm da porção central de 15

folhas +3 aleatórias; em seguida, o material (sem a nervura central) foi colocado em estufa de circulação forçada a 70 °C até peso constante, sendo depois moído e analisado segundo Defelipo & Ribeiro (1991).

Na subárea 2, correspondente ao restante da parcela coletou-se, a cada 2 meses, material para análise da fitomassa do colmo (coleta destrutiva), utilizando-se 12 plantas aleatórias; aos oito meses coletaram-se, na camada de 0-20 cm, 10 amostras simples de solo na linha da cana para formar uma amostra composta, através da área útil de toda a parcela; fez-se a determinação do P disponível com extrator Mehlich 1 (EMBRAPA, 1999). O rendimento agrícola foi avaliado na ocasião da colheita aos doze meses, pesando-se a fitomassa dos colmos contidos em toda a área da parcela.

Obeve-se, a partir da matéria fresca do colmo, a taxa de crescimento relativo da cultura (TCR) baseado em Ramesh (2000), através da equação:

$$TCR = \frac{(\ln P_2 - \ln P_1)}{(T_2 - T_1)} \quad (t^{-1} \text{ ha}^{-1}) \quad (3)$$

onde  $P_1$  e  $P_2$  representam o peso da matéria fresca do colmo, em toneladas por hectare ( $t\ ha^{-1}$ ) de duas amostras sucessivas em intervalos de tempo  $T_1$  e  $T_2$  (60 dias).

Para descrever a variação no tempo do crescimento em altura e o acúmulo de matéria fresca do colmo da cana-de-açúcar, utilizou-se a seguinte função logística:

$$Y = \frac{A}{\left(1 + \left(\frac{DAP}{B}\right)^{-C}\right)} \quad (4)$$

em que:  $Y$  é a altura (cm) ou massa fresca ( $t\ ha^{-1}$ ) do colmo;  $A$  é a altura ou matéria fresca máxima do colmo no período de 360 dias;  $DAP$  é o número de dias após o plantio;  $B$  e  $C$  são constantes. Os cálculos foram feitos com o auxílio do programa computacional Table Curve.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As fontes de fósforo não apresentaram efeito estatístico significativo sobre a população de perfilhos da cana-planta durante o período avaliado (Figura 2A) mas se notou aumento no número de perfilhos até os quatro meses após o plantio, quando se atingiram valores máximos, variando de 23 plantas por metro linear quando se usou fosfato de gafsa comparado as 27 plantas encontradas quando se usou MAP.

O pico na população de perfilho indica o fim da fase de perfilhamento, que coincidiu com a altura média de planta, de 48,6 cm (Tabela 2); do quarto para o sexto mês verifica-se grande mortalidade na população de perfilhos, ocasionada pela competição populacional, continuando em ritmo menor até a colheita, quando

ocorreu uma redução média de 66%. Oliveira et al. (2004) verificaram redução de 27% na RB72454, 52% na RB855113 e 57% na RB855536 do período de máximo perfilhamento até a colheita.

Os resultados obtidos estão de acordo com Orlando Filho & Rodella (1995) e Ramesh & Mahadevaswamy (2000), que observaram máximo perfilhamento de 20 a 30 plantas por metro linear aos quatro meses após o plantio, com posterior redução no número de plantas até a colheita, devido à competição populacional. Por outro lado, Silva et al. (2008) encontram máximo perfilhamento aos 3 meses com cerca de 19 plantas por metro linear na RB72454 e 21 plantas por metro linear na IAC86-2480, ocorrendo redução até a colheita. Oliveira et al. (2004), notaram máximo perfilhamento entre o sexto e oitavo mês após o plantio, com variação de 14 a 23 plantas por metro linear. A variação encontrada entre os autores pode ser resultado da interação entre temperaturas elevadas e irregularidades pluviárias (Suguitani, 2001) e características genéticas das variedades (Oliveira et al., 2007).

A queda na população de perfilho do quarto para o sexto mês contrasta com o crescimento médio em altura, que passou de 48,6 cm para 122,6 cm; a partir do quarto mês tem início a fase de alongamento do colmo, cuja população já estabelecida inicia um rápido crescimento em altura (Tabela 2). Oliveira et al. (2004) verificaram maior crescimento em altura do colmo após a fase de perfilhamento quando a variedade RB855536 cresceu 99,2 cm em apenas 44 dias. Farias et al. (2008) encontraram altura de 40 cm aos 98 dias na SP79-1011, atingindo alturas máximas de 152,8 cm e 148,1 cm aos 194 dias e 236 dias para cana irrigada e em condições de sequeiro, respectivamente, mostrando a importância da umidade do solo na fase de grande crescimento da cultura.

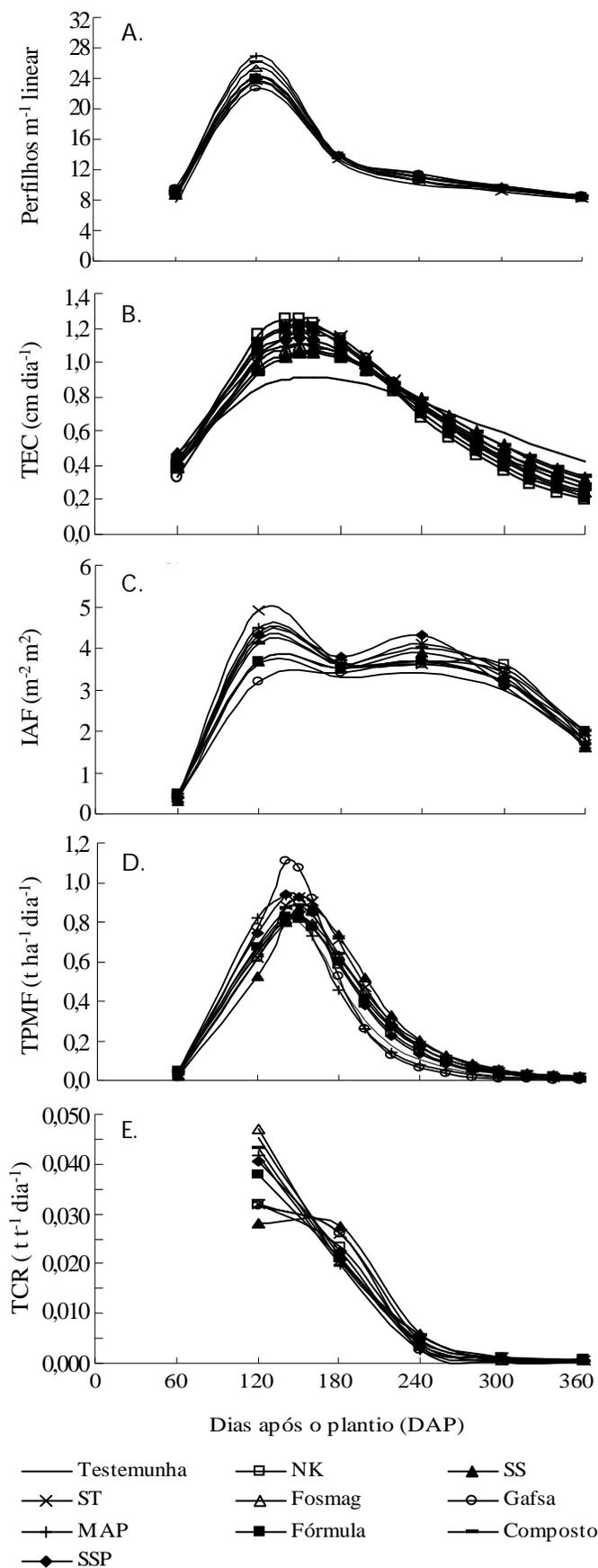
A falta de resposta das fontes de fósforo pode estar relacionada com o efeito residual desse nutriente no solo em que

**Tabela 2.** Altura de plantas da cana-planta, variedade RB75126 em diferentes fontes de fósforo

Tratamento**	Altura de plantas - cm					
	2 meses Fev	4 meses Abr	6 meses Jun	8 meses Ago	10 meses Out	12 meses Dez
Testemunha	15,7	52,3	107,2	163,5	194,0 b	231,2
NK + micro	16,9	47,2	138,2	185,5	199,3 ab	241,1
SS	12,2	45,6	118,4	171,4	197,8 ab	236,8
ST	14,3	51,2	129,2	186,2	213,4 a	242,0
Fosmag	12,5	48,4	119,4	175,4	201,1 ab	235,9
Gafsa	13,0	40,7	123,1	172,0	199,3 ab	231,6
MAP	14,8	50,9	123,2	180,4	200,7 ab	238,7
Fórmula	15,8	49,6	124,9	185,4	201,6 ab	234,0
Composto	14,1	46,0	113,9	172,5	195,6 b	235,0
SSP	13,4	53,8	128,1	182,7	205,0 ab	240,7
Média	14,3	48,6	122,6	177,5	200,8	236,7
Efeitos	Quadrados médios					
Blocos	9,4020ns	54,5176ns	77,9569ns	229,2370ns	7,7249ns	0,9449ns
Tratamento	9,5190ns	59,5913ns	294,4803ns	236,0927ns	116,7805*	60,1435ns
Resíduo	4,6548	33,0572	155,8232	111,1708	45,9744	62,3733
CV(%)	15,1	11,8	10,2	5,9	3,4	3,3

\* significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F, respectivamente. ns - não - significativos até 5% de probabilidade, pelo teste F. Épocas de avaliação com valores sem acompanhamento de letras significam que não houve efeitos significativos entre os mesmos. Médias seguidas da mesma letra nas colunas não diferem a 5%, pelo teste de Tukey

\*\* NK (nitrogênio e potássio); SS (super simples); ST (super triplo); MAP (fosfato monoamônico); Fórmula (460 kg  $ha^{-1}$  de 06-26-24); Composto (mistura de torta de filtro, bagaço e cinzas); SSP (super simples parcelado)



**Figura 2.** População de perfilhos por metro linear (A), taxa de elongação do colmo - TEC (B), Índice de área foliar - IAF (C), taxa de produção da matéria fresca do colmo - TPMF (D) e taxa de crescimento relativo - TCR (E) da cana-planta, variedade RB75126 em diferentes fontes de fósforo

foi instalado o experimento, proveniente da seqüência de adubações fosfatadas de fundação, ao longo do tempo, a fatores edafoclimáticos e a características genéticas próprias da variedade. Marinho & Albuquerque (1980) constataram que em solos com níveis de P acima de  $9 \text{ mg dm}^{-3}$  não houve resposta da cana-de-açúcar à adubação fosfatada. De acordo com Costa et al. (2006) a baixa energia de ligação proveniente da saturação dos sítios de adsorção do solo, em virtude da seqüência de adubações fosfatadas de fundação e o conteúdo de umidade adequado na fase de máximo crescimento da cultura (abril-agosto) contribuíram para anular o efeito das diferentes fontes de fósforo utilizadas.

Para o cálculo da altura do colmo nos diferentes estádios de crescimento, utilizou-se função logística (Tabela 3); a partir dessas equações se estimou a taxa de variação do crescimento do colmo no tempo (Figura 2B); verificou-se, também que as maiores taxas de crescimento do colmo foram observadas no período entre 120 e 240 dias após o plantio, para todos os tratamentos.

**Tabela 3.** Funções logísticas utilizadas para determinação da altura e massa fresca do colmo da cana-planta, em função de dias após o plantio (DAP) em diferentes fontes de fósforo

Tratamento*	Altura do colmo		r <sup>2</sup>
	Equação		
Testemunha	$y = 328,495/(1 + (\text{DAP}/247,446)-2,238)$		0,998
NK + micro	$y = 256,769/(1 + (\text{DAP}/179,116)-3,155)$		0,985
SS	$y = 283,073/(1 + (\text{DAP}/208,198)-2,746)$		0,995
ST	$y = 273,369/(1 + (\text{DAP}/188,896)-3,012)$		0,997
Fosmag	$y = 277,101/(1 + (\text{DAP}/201,374)-2,811)$		0,997
Foscana	$y = 257,171/(1 + (\text{DAP}/191,426)-3,15)$		0,994
MAP	$y = 278,794/(1 + (\text{DAP}/198,439)-2,754)$		0,994
Fórmula	$y = 258,778/(1 + (\text{DAP}/184,701)-3,085)$		0,994
Composto	$y = 284,965/(1 + (\text{DAP}/211,253)-2,703)$		0,995
SSP	$y = 277,159/(1 + (\text{DAP}/193,225)-2,789)$		0,996

\* NK (nitrogênio e potássio); SS (super simples); ST (super triplo); MAP (fosfato monoamônico); Fórmula (460 kg ha<sup>-1</sup> de 06-26-24); Composto (mistura de torta de filtro, bagaço e cinzas); SSP (super simples parcelado)

As taxas máximas variaram de  $0,91 \text{ cm dia}^{-1}$  na testemunha, aos 160 dias após o plantio a  $1,25 \text{ cm dia}^{-1}$  no tratamento NK + micro aos 150 dias após o plantio havendo, a partir das taxas máximas, uma redução, principalmente na fase de maturação da cultura.

Os resultados encontrados para taxa de crescimento do colmo neste trabalho (Figura 2B) mostram comportamento semelhante ao observado por Ramesh (2000) que, estudando cultivares de cana-de-açúcar na Índia, encontrou três fases de crescimento, a primeira denominada fase de formação (60 a 150 DAP), apresentou valores de  $0,85 \text{ cm dia}^{-1}$ ; a segunda, grande crescimento (150 a 240 DAP) com taxas de  $1,12 \text{ cm dia}^{-1}$  e a terceira fase identificada como maturação (240 a 360 DAP) com taxas de  $0,57 \text{ cm dia}^{-1}$ .

Essas taxas máximas apresentadas pela cana-planta (Figura 2B) estão associadas à queda no número de perfilhos (Figura 2A) e ao suprimento adequado de nutrientes e água, uma vez que até abril a cultura vinha enfrentando déficit hídrico, prejudicando a absorção de nutrientes, principalmente do

fósforo (Costa et al., 2006). Oliveira et al. (2005), estudando o crescimento de cultivares de cana-de-açúcar no Paraná observaram, durante o período de grande crescimento da cana-planta, taxas de alongação do colmo de 1,6 cm dia<sup>-1</sup> na RB855113, 1,8 cm dia<sup>-1</sup> na RB855536 e 2 cm dia<sup>-1</sup> na RB72454 e atribuíram o efeito na redução da taxa de alongação ao aumento do auto-sombreamento durante o período de maturação, o que diminuiria a taxa fotossintética média de toda a área foliar.

Vê-se que o comportamento da testemunha foi semelhante ao dos demais tratamentos no período com menor precipitação (Figura 1); já no período de suprimento hídrico adequado, essa testemunha apresenta taxa de crescimento bem inferior devido à ausência de N, K e micronutrientes, pois o solo indicou níveis satisfatórios de P. Ao estudarem doses e fontes de fósforo, Weber et al. (1993), atribuíram a falta de resposta da cana-de-açúcar à adubação fosfatada às condições de umidade do solo adequadas, o que favoreceria o aumento da eficiência do fósforo já presente no solo supereando, assim, o efeito da fonte.

Em regiões com déficit hídrico, a disponibilidade de água apresenta-se como fator de grande importância para o maior rendimento da cana-de-açúcar, sendo responsável pela variação de 44% do seu rendimento (Ribeiro et al., 1984). Em estudo referente à interação entre variedades de cana-de-açúcar e doses de fósforo em São Paulo, Suguitani (2001), notou maior incremento em altura de plantas nos períodos de temperaturas altas e maior precipitação. Ramesh & Mahadevaswamy (2000) verificaram que o déficit hídrico promoveu menor crescimento em altura de planta e aumentou a mortalidade de perfilhos de cana-de-açúcar na Índia. Dantas Neto et al. (2006) observaram que um suprimento hídrico adequado nas fases iniciais e de grande crescimento refletiu em melhoria do rendimento agrícola e industrial em cana soca.

Apresenta-se, na Figura 2C, o comportamento do IAF em função de dias após o plantio e se verifica um período de crescimento lento até os 60 dias, seguido de um período de crescimento rápido, dos 60 aos 120 dias, atingindo valores máximos, período de estabilização, ocorrendo dos 120 até os 300 dias após o plantio e, finalmente, um período de decréscimo a partir dos 300 dias, indicando o processo de maturação e concentração de sacarose; este tipo de comportamento também foi observado por Oliveira et al. (2007) no Estado do Paraná e Farias et al. (2008) no Estado da Paraíba.

Observando-se a Figura 2C, constata-se que no período de maior crescimento da cultura (120 a 240 DAP) o IAF apresentou valores superiores a 3 m<sup>2</sup> m<sup>-2</sup>, o que garantiu maior incremento em fitomassa. Para cultivos de sequeiro o IAF entre 3 e 4, parece ser adequado para a cultura na região. Segundo Oliveira et al. (2004) e Ramesh (2000) altos valores de IAF não conseguem manter níveis altos de produção de matéria seca em virtude do auto-sombreamento reduzir as taxas fotossintéticas médias por toda área foliar.

Os valores encontrados no presente estudo estão de acordo com os obtidos por Oliveira et al. (2007) relacionando área foliar com produção de biomassa em cultivares de cana-de-açúcar no Paraná; Ramesh (2000) estudando diferentes níveis de umidade em cultivares de cana-de-açúcar na Índia e

Farias et al. (2007) estudando índice de área foliar em cana-de-açúcar sob diferentes níveis de irrigação e zinco na Paraíba.

Apresentam-se, na Tabela 4, as funções logísticas obtidas para o acúmulo de matéria fresca do colmo.

**Tabela 4.** Funções logísticas utilizadas para determinação da massa fresca do colmo da cana-planta em função de dias após o plantio (DAP) em diferentes fontes de fósforo

Tratamento*	Altura do colmo		r <sup>2</sup>
	Equação		
Testemunha	y = 79,529/(1 + (DAP/149,884)-6,028)		0,999
NK + micro	y = 86,526/(1 + (DAP/155,884)-5,722)		0,998
SS	y = 94,283/(1 + (DAP/165,269)-6,028)		0,999
ST	y = 95,623/(1 + (DAP/159,835)-6,041)		0,999
Fosmag	y = 96,765/(1 + (DAP/158,574)-5,252)		0,999
Foscana	y = 85,086/(1 + (DAP/147,325)-7,593)		0,999
MAP	y = 84,090/(1 + (DAP/143,216)-6,247)		0,999
Fórmula	y = 93,515/(1 + (DAP/155,262)-5,346)		0,999
Composto	y = 96,412/(1 + (DAP/156,106)-5,552)		0,999
SSP	y = 94,433/(1 + (DAP/151,594)-5,900)		0,998

\* NK (nitrogênio e potássio); SS (super simples); ST (super triplo); MAP (fosfato monoamônico); Fórmula (460 kg ha<sup>-1</sup> de 06-26-24); Composto (mistura de torta de filtro, bagaço e cinzas); SSP (super simples parcelado)

Os altos coeficientes de determinação indicam um bom ajuste desses modelos a partir dos quais se determinaram as taxas de produção de matéria fresca do colmo (Figura 2D).

Verifica-se que a curva apresentou formato de sino, com baixas taxas no início do ciclo da cultura, aumentando rapidamente até atingir valores máximos, para decrescer em seguida, quando se estabiliza por volta dos 240 dias após o plantio; o mesmo comportamento foi constatado por Gava et al. (2001), ao estudarem o crescimento e o acúmulo de nitrogênio em cana-de-açúcar, para a taxa de produção de matéria seca.

As maiores taxas de produção de matéria fresca do colmo se situam no período compreendido entre 120 e 180 dias após o plantio, com valores máximos de 1,1 t ha<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> quando se utilizou o gafsa; é nesse mesmo período que se concentra o maior volume de chuvas (Figura 1); aos 120 dias após o plantio cessa a fase de perfilhamento e a população, já estabelecida, aproveita as condições ambientais favoráveis para crescer e acumular fitomassa (Tabela 2 e Figura 2D); dos 120 para os 180 dias após o plantio, há uma redução do número de perfilhos por metro linear, à metade (Figura 2A), o índice de área foliar atinge valores máximos e a disponibilidade de nutriente é favorecida pela umidade do solo, principalmente a de fósforo, justificando as maiores taxas.

A taxa de crescimento relativo (TCR) da matéria fresca do colmo mostrou aspecto de função exponencial negativa (Figura 2E), com valores máximos obtidos aos 120 dias após o plantio, para todos os tratamentos; durante todo o ciclo da cana-planta, as menores e maiores taxas foram apresentadas pelo super simples e pelo fosmag, com cerca de 0,03 t t<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> e 0,05 t t<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>, respectivamente.

Verificou-se que, a medida em que a planta cresceu, ocorreu diminuição da TCR, estabilizando-se entre os 240 e 300

dias após o plantio, início da fase de maturação, fato atribuído, dentre outros fatores, ao aumento da competição intra-específica pelos principais fatores ambientais responsáveis pelo crescimento vegetal, tais como: luz, nutrientes e difusão de CO<sub>2</sub> dentro do stand (Gava et al., 2001). Estudando três cultivares de cana-de-açúcar, Oliveira et al. (2005) observaram TCR máxima aos 135 dias após o plantio e, posteriormente, um decréscimo gradual até a colheita. Os resultados encontrados no presente estudo estão de acordo com Ramesh (2000) que, estudando diferentes níveis de estresse hídrico na cana-de-açúcar, obteve TCR máximas variando de 0,016 g g<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> a 0,022 g g<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> na fase formativa (60 a 150 DAP), decrescendo após até a colheita.

Houve influência estatística significativa das fontes de fósforo na produtividade e nas concentrações foliares, em termos de fósforo, da cana-planta (Tabela 5); a produtividade variou de 71,3 t ha<sup>-1</sup> na testemunha a 91,5 t ha<sup>-1</sup> no super triplo; o tratamento que recebeu apenas nitrogênio, potássio e micronutrientes apresentou produtividade semelhante à do super triplo e superior à do super simples, fosmag e fórmula, confirmando dados da literatura que indicam que a resposta da cana-de-açúcar à adubação fosfatada é baixa ou nula em solos com alto efeito residual (Marinho & Albuquerque, 1980; Sugitani, 2001), devido ao aumento do grau de saturação da superfície adsorvente, promovendo menor energia de ligação, o que resulta no aumento da concentração de fósforo na solução do solo (Costa et al., 2006).

A concentração de P nas folhas variou de 2,5 g kg<sup>-1</sup> no composto a 4,0 g kg<sup>-1</sup> no super triplo e NK + micro. Dentre as fontes, o super triplo foi a que apresentou as maiores con-

centrações, sendo estatisticamente superior ao composto. Os teores foliares de P observados estão abaixo dos obtidos em sistema de plantio direto comparado ao sistema convencional com e sem adubação em cana-de-açúcar por Duarte Júnior & Coelho (2008), os quais verificaram teores de 5,5 a 6,3 g kg<sup>-1</sup>. Porém, são superiores aos 2,0 g kg<sup>-1</sup>, considerados adequados por Marinho & Albuquerque (1980) para a cana-de-açúcar em áreas sob cultivo comercial em Alagoas. Valores de 2,8 g kg<sup>-1</sup> a 3,0 g kg<sup>-1</sup> foram encontrados por Korndörfer & Alcarde (1992) não se observando, porém diferenças entre as fontes super triplo, super simples, ácido fosfórico e ácido fosfórico + fosfato natural. Maule et al. (2001) encontraram, aos nove meses de idade da cana, teores foliares variando de 1,5 a 2,0 g kg<sup>-1</sup> para Planossolo e Argissolo Vermelho, respectivamente; os teores foliares observados no presente trabalho refletem os níveis de P do solo e demonstram que a cultura teve suprimento adequado do nutriente durante o ciclo da cana-planta.

Os níveis de P disponíveis no solo não foram influenciados pelas fontes de fósforo mas entre as fontes de P variou de 52,5 mg dm<sup>-3</sup> na fórmula a 118,5 mg dm<sup>-3</sup> no composto. Valores mais elevados de P disponíveis no solo apresentado pelo composto, podem estar relacionados ao extrator utilizado, no caso o duplo ácido (Mehlich 1), passível de extrair P de forma ainda não disponível, superestimando os resultados.

Rosseto et al. (2002), verificaram que aos 4 meses após plantio os teores de P disponíveis no solo na camada de 0-20 cm se situavam ao redor de 60 mg dm<sup>-3</sup> no tratamento com super triplo no fundo do sulco, sendo que 2 anos após a aplicação o teor nessa profundidade já estava quase próximo ao tratamento que não recebeu fósforo. Com o decorrer do tempo de aplicação de fertilizantes fosfatados no solo, ocorre diminuição no P disponível em virtude das reações sofridas entre as partículas do fertilizante e a fase mineral do solo. Horowitz & Meurer (2003) avaliando a eficiência de fosfatos naturais na cultura do milho observaram, no segundo ano de cultivo redução na eficiência agrônômica do fosfato de gafsa, de 93 para 58% e de 75 para 30% no fosfato gantour black, tal como se deu para o super triplo.

## CONCLUSÕES

1. As fontes e a redução da dose total de fósforo não influenciaram o crescimento da cana-planta devido ao efeito residual de fósforo no solo, suficiente para proporcionar produtividades médias superiores a 80 t por hectare.

2. As fontes de fósforo influenciaram o rendimento agrícola da cana-planta sendo o super triplo a que apresentou melhor desempenho.

3. A cana-planta apresentou três fases de crescimento: 1ª fase: intenso perfilhamento até 120 DAP; 2ª fase: grande crescimento em altura, estabilização do IAF e intenso acúmulo de material orgânico de 120 a 240 DAP e 3ª fase: maturação dos 240 aos 360 DAP.

4. As maiores taxas de alongação do colmo, produção de matéria fresca e taxa de crescimento relativo do colmo, ocorreram entre 120 e 180 DAP, logo após a fase de intenso perfilhamento.

**Tabela 5.** Rendimento agrícola, P disponível no solo e concentrações foliares na cana-planta, variedade RB75126 em diferentes fontes de fósforo

Tratamento#	Rendimento agrícola (t ha <sup>-1</sup> )	P disponível no solo (mg dm <sup>-3</sup> )	P na folha (g kg <sup>-1</sup> )
	12 meses	8 meses	4 meses
Testemunha	71,3 c	18,0 c	3,3 ab
NK + micro	82,3 ab	22,5 bc	4,0 a
SS	81,2 bc	70,2 abc	3,3 ab
ST	91,5 a	71,0 abc	4,0 a
Fosmag	79,5 bc	100,0 ab	3,8 ab
Gafsa	82,9 ab	61,0 abc	3,0 ab
MAP	87,7 ab	81,2 abc	3,0 ab
Fórmula	79,3 bc	52,5 abc	3,0 ab
Composto	85,7 ab	118,5 a	2,5 b
SSP	87,1 ab	77,2 abc	3,0 ab
Efeitos		Quadrados médios	
Blocos	19,1177ns	563,0250ns	1,1583ns
Tratamento	126,6210**	3867,9690**	0,9694*
Resíduo	16,3510	1079,4870	0,3620
CV(%)	4,9	48,9	18,4

\* e \*\* significativos a 5 e 1% de probabilidade, pelo teste F, respectivamente. ns - não significativos até 5% de probabilidade, pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey

# NK (nitrogênio e potássio); SS (super simples); ST (super triplo); MAP (fosfato monoamônico); Fórmula (460 kg ha<sup>-1</sup> de 06-26-24); Composto (mistura de torta de filtro, bagaço e cinzas); SSP (super simples parcelado)

## LITERATURA CITADA

- Corrêa, R. M.; Nascimento, C. W. A.; Souza, S. K. S.; Freire, F. J.; Silva, G. B. Gafsa rock phosphate and triple superphosphate for dry matter production and P uptake by corn. *Scientia Agrícola*, v.62, n.2, p.159-164, 2005.
- Costa, J. P. V.; Barros, N. F.; Albuquerque, A. W.; Moura Filho, G.; Santos, J. R. Fluxo difusivo de fósforo em função de doses e da umidade do solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.10, n.4, p.828-835, 2006.
- Dantas Neto, J.; Figueiredo, J. L. C.; Farias, C. H. A.; Azevedo, H. M. de; Azevedo, C. A. V de. Resposta da cana-de-açúcar, primeira soca, a níveis de irrigação e adubação de cobertura. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.10, n.2, p.283-288, 2006.
- Defelipo, B. V.; Ribeiro, A. C. Análise química do solo (metodologia). Viçosa: UFV, 1991. 14p. Boletim de Extensão
- Duarte Júnior, J. B.; Coelho, F. C. A cana-de-açúcar em sistema de plantio direto comparado ao sistema convencional com e sem adubação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.12, n.6, p.576-583, 2008.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. Brasília: EMBRAPA, 1999. 370p.
- Farias, C. H. A.; Dantas Neto, J.; Fernandes, P. D.; Gheyi, H. R. Índice de área foliar em cana-de-açúcar sob diferentes níveis de irrigação e zinco na Paraíba. *Caatinga*, v.20, n.7, p.45-55, 2007.
- Farias, C. H. A.; Fernandes, P. D.; Azevedo, H. M.; Dantas Neto, J. Índices de crescimento da cana-de-açúcar irrigada e de sequeiro no Estado da Paraíba. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.12, n.4, p.356-362, 2008.
- Figueiredo Filho, C. P. Avaliação da adubação fosfatada da cana-de-açúcar com hiperfosfato natural reativo. In: Congresso Nacional da Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil, 8, 2002, Recife. Anais... Recife: STAB, 2002. p.259-263.
- Gava, G. J. C.; Trivelin, P. C. O.; Oliveira, M. W.; Penatti, C. P. Crescimento e acúmulo de nitrogênio em cana-de-açúcar cultivada em solo coberto com palhada. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.36, n.11, p.1347-1354, 2001.
- Horowitz, N.; Meurer, E. J. Eficiência de dois fosfatos naturais farelados em função do tamanho da partícula. *Ciência Rural*, v.33, n.1, p.41-47, 2003.
- Korndörfer, G. H. Fósforo na cultura da cana-de-açúcar. In: Yamada, T., Abdalla, S. R. S (ed.). In: Simpósio sobre Fósforo na Agricultura Brasileira, 2004, São Pedro. Anais... São Paulo: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 2004. p.291-305.
- Korndörfer, G. H.; Alcarde, J. C. Acúmulo e teor de fósforo em folhas de cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.16, n.2, p.217-222, 1992.
- Marinho, M. L.; Albuquerque, G. A. C. Resposta da cana-de-açúcar a níveis de P e correlação com análise foliar. In: Congresso Nacional da Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil, 1, 1979, Maceió. Anais... Maceió: STAB, 1980. v.2, p.328-333.
- Maule, R. F.; Mazza, J. A.; Martha Jr., G. B. Produtividade agrícola de cultivares de cana-de-açúcar em diferentes solos e épocas de colheita. *Scientia Agrícola*, v.58, n.2, p.295-301, 2001.
- Oliveira, R. A.; Daros, E.; Zambon, J. L. C.; Weber, H.; Ido, O. T.; Bessalho-Filho, J. C.; Zuffellato-Ribas, K. C.; Silva, D. K. T. Área foliar em três cultivares de cana-de-açúcar e sua correlação com a produção de biomassa. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v.37, n.2, p.71-76, 2007.
- Oliveira, R. A.; Daros, E.; Zambon, J. L. C.; Weber, H.; Ido, O. T.; Zuffellato-Ribas, K. C.; Koehler, H. S.; Silva, D. K. T. Crescimento e desenvolvimento de três cultivares de cana-de-açúcar, em cana-planta, no estado do Paraná. *Scientia Agrária*, v.5, n.1-2, p.87-94, 2004.
- Oliveira, R. A.; Daros, E.; Zambon, J. L. C.; Weber, H.; Ido, O. T.; Zuffellato-Ribas, K. C.; Koehler, H. S.; Silva, D. K. T. Crescimento e desenvolvimento de três cultivares de cana-de-açúcar, em cana-planta, no estado do Paraná: Taxas de crescimento. *Scientia Agrária*, v.6, n.1-2, p.85-89, 2005.
- Orlando Filho, J.; Rodella, A. A. Adubação nitrogenada em cana-planta: perfilhamento e produtividade agrícola. *STAB. Açúcar, Alcool e Subprodutos*, v.13, n.3, p.16-18, 1995.
- Ramesh, P. Effect of different levels of drought during the formative phase on growth parameters and its relationship with dry matter accumulation in sugarcane. *Journal Agronomy & Crop Science*, v.185, p.83-89, 2000.
- Ramesh, P.; Mahadevaswamy, M. Effect of formative phase drought on different classes of shoots, shoot, mortality, cane attributes, yield and quality of four sugarcane cultivars. *Journal Agronomy & Crop Science*, v.185, p.249-258, 2000.
- Ribeiro, M. R.; Halstead, E. H.; De Jong, E. Rendimento da cana-de-açúcar e características das terras da microrregião da Mata Norte de Pernambuco. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.8, n.2, p.209-213, 1984.
- Rossetto, R.; Farhat, M.; Furlan, R.; Gil, M. A.; Silva, S. F. Eficiência agrônômica do fosfato natural na cultura da cana-de-açúcar. In: Congresso Nacional da Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil, 8, 2002, Recife. Anais... Recife: STAB, 2002. p.276-282.
- Silva, M. A.; Jeronimo, E. M.; Dal'Col Lúcio, A. Perfilhamento e produtividade de cana-de-açúcar com diferentes alturas de corte e épocas de colheita. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.43, n. 8, p.979-986, 2008.
- Suguitani, C. Fenologia da cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) sob efeito do fósforo. Piracicaba: ESALQ, 2001. 79p. Dissertação Mestrado
- Weber, H.; Bolsanello, J.; Azeredo, D. F. Doses e fontes de fósforo em cana-de-açúcar. In: Congresso Nacional da Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil, 5, 1993, Águas de São Pedro. Anais... Piracicaba: STAB, 1993. p.70-75.