

KP CONSULTORIA LTDA

Rua: Fernando Costa, 177 – Sala 602 - Bairro Maracanã
38.400-234 - Uberlândia/MG



Relatório Final

Efeito do remineralizador de solo KP-Fértil na melhoria da fertilidade do solo e produtividade da cana planta e soca



Uberlândia – MG
Dezembro – 2023

I - PESQUISADORES RESPONSÁVEIS

Prof. Dr. Gaspar H. Korndörfer | KP Consultoria, UFU

Dr. Gustavo A. Santos | KP Consultoria

Eng. Agr. M.Sc. Camila A. C. Gualberto | KP Consultoria

II- EMPRESA FINANCIADORA DO PROJETO DE PESQUISA

Triunfo Mineração do Brasil LTDA/Harvest Minerals

Eduardo Spolidorio – edu.spolidorio@terra.com.br

III - COLABORADORES

Agrademos à equipe da bpBunge, unidade Santa Juliana, coordenada pelo Jony Kazuo Sakuma e David Bernardes dos Santos, por toda a ajuda e colaboração durante a condução do experimento.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	2
2. DESCRIÇÃO DO PRODUTO	3
3. MATERIAL E METÓDOS.....	4
3.1 Localização do experimento e delineamento experimental	4
3.2 Instalação	5
3.3 Avaliações	6
3.4 Análises estatísticas	8
4. RESULTADOS	9
4.1 Teores foliares de P, K e Si.....	9
4.2 Bioindicadores da saúde do solo	11
4.3 Produtividades de colmos, açúcar e qualidade da matéria-prima	13
4.4 Altura e diâmetro de colmos	18
4.5 Análise química do solo.....	20
5. CONCLUSÕES	23
REFERÊNCIAS	24

1. INTRODUÇÃO

O setor sucroenergético apresenta suma importância econômica no Brasil, sendo que, para atender à elevada demanda por produtos derivados da cana-de-açúcar, grandes quantidades de fertilizantes são necessárias, devido, principalmente, à importância de um correto manejo da adubação para a obtenção de maiores produtividades e de produtos com elevada qualidade tecnológica (KORNDÖRFER, 1994). Entretanto, os fertilizantes mais utilizados são, em grande maioria, importados, resultando em oscilações nos preços e, consequentemente, nos custos de produção. Além disso, as fontes minerais convencionalmente utilizadas estão sujeitas, muitas vezes, às perdas por lixiviação e fixação, a exemplo das fontes potássicas e fosfatadas de alta solubilidade, respectivamente, diminuindo a eficiência do uso de fertilizantes e, quando utilizadas em excesso, promovendo possíveis impactos às culturas e ao ambiente (ANDA, 2017). De acordo com as tabelas de recomendações propostas no Boletim 100 (2022), para a obtenção de uma produtividade de colmos de 100 a 130 t ha⁻¹, cerca de 60 a 180 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e de 80 a 160 kg ha⁻¹ de K₂O₅ são necessários.

Neste contexto, torna-se necessário o uso de fertilizantes que reduzem a dependência de fontes exclusivamente minerais e/ou que apresentem boa eficiência de uso. Dentre esses produtos, destacam-se os agrominerais, os quais apresentam potencial de promover incrementos nos teores de P, K, Ca, Mg e de outros elementos no solo.

Segundo Theodoro e Almeida (2013), a tecnologia da rochagem, a qual consiste na moagem e aplicação de determinados tipos de rochas contendo macro e micronutrientes, é uma alternativa com potencial de promover melhorias à fertilidade dos solos brasileiros. Assim, os pós de rocha, também conhecidos como remineralizadores ou agrominerais, são utilizados com o objetivo de restaurar solos degradados, sendo considerados “estoques” de nutrientes de baixa dissolução, os quais estarão disponíveis de acordo com a demanda da planta (THEODORO et al., 2010).

Dentre as vantagens dos remineralizadores de solo, ressaltam-se a disponibilidade em abundância e o baixo custo, o efeito residual prolongado, a minimização de perdas por lixiviação e a disponibilidade de macro e micronutrientes não disponíveis em fertilizantes químicos solúveis (SILVA, 2013).

Neste contexto, objetivou-se avaliar a aplicação do KP Fértil, proveniente da rocha Kamafugito, na produtividade e na qualidade da matéria-prima da cana planta e da cana soca.

2. DESCRIÇÃO DO PRODUTO

O KP Fértil é um insumo agrícola obtido diretamente da natureza, sem que necessite passar por nenhum processo ou transformação química, o qual possuí na sua composição macronutrientes (fósforo, potássio, cálcio e magnésio) e micronutrientes (Si, Mn, Fe, Co, Ni e traços de outros) essenciais e fundamentais para o crescimento das plantas e para auxiliar a manutenção e reposição da fertilidade dos solos. Trata-se de um remineralizador multinutriente, cuja rocha básica para produção é o Kamafugito.

Garantias mínimas:

P₂O₅ total – 3,0%

P₂O₅ solúvel em Ac. Cítrico: 2,1%

P₂O₅ solúvel em CNA + H₂O: 2,2%

K₂O total – 3,0%

CaO: 4,0%

MgO: 4,0%

SiO₂: 35,0%

MnO: 0,32%

Fe: 15,4%

Co: 0,087%

Obs: P₂O₅ solúvel em ácido cítrico 2% relação 1:100; K₂O total: HF.

Disponível em: <https://kp-fertil.com/kpfertil/>

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização do experimento e delineamento experimental

O experimento foi instalado em área de produção de cana-de-açúcar da bpBunge Bioenergia, unidade Santa Juliana, localizada na fazenda São Pedro (20490), talhão 21002, município de Santa Juliana - MG. Utilizou-se delineamento experimental em blocos casualizados (DBC), com quatro repetições. Assim, avaliaram-se diferentes doses do KP Fértil após o plantio da cana. As doses utilizadas em cada tratamento estão mostrados na tabela 1.

Tabela 1. Doses utilizadas em cada tratamento

Tratamento	Produto	Dose de produto	
			t ha ⁻¹
1	Testemunha		0
2	KP Fértil		1,0
3	KP Fértil		2,0
4	KP Fértil		4,0
5	KP Fértil		6,0

As parcelas foram constituídas por 5 linhas de cana-de-açúcar com 10 m de comprimento e espaçadas 1,5 m entre si. A área de cultivo de cada parcela foi de 75 m², sendo que, entre cada uma das parcelas, adotou-se ainda um espaçamento de 3 m nas cabeceiras.

O experimento foi instalado em área com ambiente de produção C2, em um solo com 18% de argila, cujas características químicas estão descritas na tabela 2.

Tabela 2. Caracterização química do solo (0-20 cm) da área de instalação do experimento (bpBunge Bioenergia, unidade Santa Juliana, fazenda São Pedro (20490), talhão 21002, instalação em 04/21)

Prof	pH	P	S	K	Ca	Mg	Al	MO	B	Cu	Fe	Mn	Zn	SB	T	V
		----- mg dm ⁻³ -----		----	---- cmol _c dm ⁻³ ----			%		----- mg dm ⁻³ -----				cmol _c dm ⁻³	%	
0-20	6,3	26,8	9	50	3,1	0,5	0	3,0	0,05	0,4	19	1,6	0,5	3,7	4,8	77
20-40	5,8	40,3	16	17	2,6	0,3	0	2,4	0,07	0,5	25	1,0	0,4	3,0	4,4	68

pH: CaCl₂; P: Resina; K: Mehlich-1; S: Ca(H₂PO₄)₂ 0,01 mol L⁻¹; Al, Ca, Mg: KCl 1 mol L⁻¹; MO: K₂Cr₂O₇; B: BaCl₂; Cu, Fe, Mn e Zn: DTPA; SB: soma de bases; T: CTC a pH 7; V: saturação por bases (SILVA, 2009).

Entende-se como ambiente de produção a junção de uma ou mais unidades de mapeamento de solo com capacidades de produção semelhantes, associadas às características climáticas e de manejo varietal de uma determinada região (DEMATTÉ & DEMATTÉ, 2009). A análise dessas informações resulta no estabelecimento de classes de potencial de produção dos solos para a cultura da cana-de-açúcar, as quais são representadas pelas letras A, B, C, D e E (JOAQUIM et al., 1997). Os solos que pertencem

à classe A (ambiente A), por exemplo, têm o melhor potencial para o desenvolvimento e rendimento da cultura da cana-de açúcar, os de classe B (ambiente B) têm menor potencial que os da classe A e assim sucessivamente até a classe E (ambiente E), em que estão incluídos os solos de menor potencial (BERTOLANI et al., 2015).

3.2 Instalação

Os tratamentos foram aplicados de forma manual no dia 01 de abril de 2021 após o plantio da cana (Figura 1), em área total, a lanço, com incorporação superficial na operação de quebra-lombo.



Figura 1. Aplicação dos tratamentos em área total

Além dos tratamentos, foram aplicados 300 kg ha⁻¹ de MAP no sulco de plantio (150 kg ha⁻¹ de P₂O₅) e 250 kg ha⁻¹ do formulado 10-00-40 (100 kg ha⁻¹ de K₂O – 70% da dose recomendada) no quebra-lombo. O KP Fértil não foi reaplicado na soqueira para ser possível a avaliação do efeito residual. A adubação de soqueira foi realizada no dia 15 de julho de 2022 sendo que todos os tratamentos receberam 120 kg ha⁻¹ de N via nitrato de amônio e 100 kg ha⁻¹ de K₂O via KCl.

Utilizou-se a variedade RB 966928, a qual apresenta excelente germinação em cana planta, boa brotação em soqueiras, alto perfilhamento excelente fechamento de entrelinhas, elevada produtividade agrícola e maturação precoce a média. Além disso, esta variedade é recomendada para ambientes de médio a alto potencial, com colheita no início a meio de safra (RIDESA, 2010).

3.3 Avaliações

- Análise dos bioindicadores da saúde do solo: enzimática e carbono da biomassa microbiana

Aos 315 e 607 dias após a aplicação dos tratamentos (DAA) (02/22 e 11/22), foram coletadas amostras de solo ao lado da linha de brotação da cana e na profundidade de 0-10 cm para análise dos bioindicadores da saúde do solo (atividade das enzimas arilsulfatase, fosfatase ácida e β glicosidase e carbono da biomassa microbiana) (BioAS – EMBRAPA – <https://www.embrapa.br/busca-de-solucoes-tecnologicas/-/produto-servico/6047/bioas--tecnologia-de-bioanalise-de-solo->) (MENDES et al., 2018).

- Análise foliar

Aos 315 e 740 DAA (02/22 e 04/23), foram coletadas amostras de folhas para análise dos teores de P, K e Si seguindo metodologia proposta por Silva (2009) e Korndorfer et al. (2004) – análise de Si. Assim, coletaram-se duas folhas (TVD - Top Visible Dewlap) de cada uma das 5 linhas da parcela. A TVD é definida como a primeira folha com a lígula visível, das quais foram retirados o terço médio e a nervura central para a posterior análise laboratorial.

- Toneladas de colmos por hectare (TCH)

Aos 412 e 740 DAA (13 e 24 meses) (05/22 e 04/23), realizou-se a colheita manual de 2 metros de cada uma das três linhas centrais de cada parcela, totalizando 6 metros lineares por parcela. A pesagem da cana-de-açúcar colhida foi realizada com o auxílio de balança acoplada a um tripé de sustentação (Figura 2), determinando-se assim o peso de cada uma das linhas avaliadas. A produtividade foi determinada convertendo os pesos obtidos para tonelada por hectare ($t\ ha^{-1}$).



Figura 2. Pesagem da cana-de-açúcar colhida com o auxílio de balança acoplada ao tripé

- Qualidade da matéria-prima (açúcar total recuperável - ATR) e toneladas de açúcar por hectare (TAH)

Para a realização das análises de qualidade da matéria-prima, foram amostrados, aleatoriamente antes de ambas as colheitas, 10 colmos seguidos da linha central da parcela. Em seguida, os materiais obtidos foram submetidos à análise tecnológica no laboratório da bpBunge Bioenergia, seguindo metodologia proposta por CONSECANA (2006). Determinou-se o açúcar total recuperável (ATR em kg t^{-1}), usado também para o cálculo da produção de açúcar por hectare (TAH em t ha^{-1}), multiplicando-o pelo TCH.

- Altura e número de colmos (cana planta e cana soca)

Também aos 412 e 740 DAA (13 e 24 meses) (05/22 e 04/23), foram medidos, aleatoriamente, a altura (m) e diâmetro de colmos (mm) de 3 plantas de cada parcela com o auxílio de trena e paquímetro, respectivamente (Figura 3).



Figura 3. Medição da altura e do diâmetro de colmos

- Análise de solo

Aos 470 e 740 DAA (07/22 e 04/23), foram coletadas amostras de solo na profundidade de 0-20 cm, coletando-se três amostras por parcela na entrelinha da cana-de-açúcar, para análise de macro e micronutrientes segundo metodologias propostas por Silva (2009) e Korndorfer et al. (2004) – análise de Si.

3.4 Análises estatísticas

As médias dos tratamentos foram submetidas à análise de variância utilizando-se o programa estatístico Sisvar (versão 5.3) (FERREIRA, 2014) e comparadas pelos testes de Scott-Knot a 0,10 de significância. Além disso, realizou-se análise de regressão para as doses crescentes da fonte com auxílio dos programas estatísticos Sisvar (versão 5.3) (FERREIRA, 2014) e SigmaPlot (versão 11.0) (SYSTAT SOFTWARE, 2008) a 0,10 de significância.

4. RESULTADOS

4.1 Teores foliares de P, K e Si

De modo geral, não foram observadas diferenças estatísticas entre os tratamentos quanto aos teores foliares de P, K e Si na cana planta (Tabela 3). Entretanto, nota-se que, quando comparado à testemunha, o KP Fértil resultou em acréscimos de até 0,3 g kg⁻¹ de P, 0,3 g kg⁻¹ de K e 0,6 g kg⁻¹ de Si, sendo que, de modo geral, melhores resultados são observados na dose de 4,0 t ha⁻¹ (Tabela 3).

Tabela 3. Teores de P, K e Si em folhas da cana planta (RB 966928, bpBunge, Santa Juliana - MG, ambiente de produção C2) após a aplicação de doses de KP Fértil à lanço, após o plantio e incorporado superficialmente na operação do quebra-lombo (aplicação em 04/21, amostragem em 02/22) (solo com 18% de argila e 26,8 mg dm⁻³ de P-resina na prof. de 0-20 cm)

Produto	Dose	P foliar	K foliar	Si foliar
	t ha ⁻¹	----- g kg ⁻¹ -----	----- g kg ⁻¹ -----	----- g kg ⁻¹ -----
Testemunha	0,0	1,4 a	13,0 a	5,9 a
KP Fértil	1,0	1,6 a	13,3 a	4,8 a
KP Fértil	2,0	1,6 a	13,3 a	5,6 a
KP Fértil	4,0	1,7 a	13,3 a	6,5 a
KP Fértil	6,0	1,4 a	12,7 a	6,0 a
Média	1,6		13,1	5,8

P foliar: CV: 11,3%. K foliar: CV: 4,5%. Si foliar: CV: 18,4%.

Médias seguidas por letras distintas na coluna são diferentes pelo teste de Scott-Knott a 0,1 de significância.

A aplicação das doses crescentes de KP Fértil resultou em modelos polinomiais quadráticos quanto aos teores foliares de P e K na cana planta, cujos melhores resultados seriam observados nas doses de 3,0 e 2,6 t ha⁻¹, respectivamente (ponto máximo das curvas) (Figura 4).

Não foi obtido ajuste de modelo significativo que demonstre o efeito das doses de KP Fértil dos teores de Si foliar na cana planta.

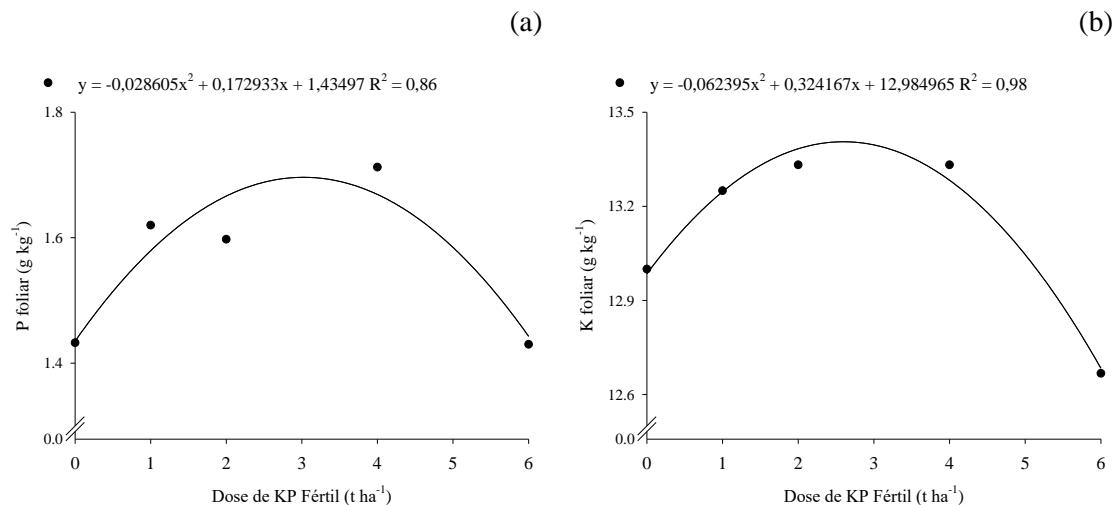


Figura 4. Teores de P (a) e K (b) em folhas da cana planta (RB 966928, bpBunge, Santa Juliana - MG, ambiente de produção C2) após a aplicação de doses de KP Fértil à lanço, após o plantio e incorporado superficialmente na operação do quebra-lombo (aplicação em 04/21, amostragem em 02/22) (solo com 18% de argila e 26,8 mg dm⁻³ de P-resina na prof. de 0-20 cm)

Na soqueira, observa-se que maior teor foliar de Si foi obtido no tratamento que recebeu 4 t ha⁻¹ de KP Fértil, com ganhos de 0,7 g kg⁻¹ em relação aos demais tratamentos (Tabela 4). Por outro lado, não foram observadas diferenças entre os tratamentos quanto aos teores foliares de P, K e Si na cana soca (Tabela 4).

Tabela 4. Teores de P, K e Si em folhas da cana soca (2º corte, RB 966928, bpBunge, Santa Juliana - MG, ambiente de produção C2) após a aplicação de doses de KP Fértil à lanço, após o plantio e incorporado superficialmente na operação do quebra-lombo, sem reaplicação na soqueira (aplicação em 04/21, amostragem em 04/23) (solo com 18% de argila e 26,8 mg dm⁻³ de P-resina na prof. de 0-20 cm)

Produto	Dose	P foliar	K foliar	Si foliar
	t ha⁻¹	g kg⁻¹	g kg⁻¹	g kg⁻¹
Testemunha	0,0	1,7 a	14,5 a	4,5 b
KP Fértil	1,0	1,7 a	14,5 a	4,0 b
KP Fértil	2,0	1,7 a	14,5 a	4,0 b
KP Fértil	4,0	1,7 a	14,5 a	5,2 a
KP Fértil	6,0	1,7 a	15,3 a	4,0 b
Média		1,7	14,7	4,4

P foliar: CV: 6,0%; K foliar: CV: 4,9%; Si foliar: CV: 12,7%.

Médias seguidas por letras distintas na coluna são diferentes pelo teste de Scott-Knott a 0,1 de significância.

Não foram obtidos ajustes de modelos de regressão significativos que demonstrem o efeito das doses de KP Fértil nos teores foliares de P, K e Si na cana soca.

4.2 Bioindicadores da saúde do solo

De modo geral, a aplicação do KP Fértil resultou em maior atividade da enzima fosfatase ácida quando comparado à testemunha, com acréscimos de até 12,5 e 36 $\mu\text{g p-NP h}^{-1} \text{ g de solo}^{-1}$ após o primeiro e o segundo ano de avaliações, respectivamente (Figuras 5 e 6). Esta enzima, conhecida genericamente pelo nome de fosfatase, catalisa a hidrólise de compostos fosfatados, resultando na disponibilização do fósforo solúvel. Dessa forma, esses resultados podem estar associados à atividade desta enzima na solubilização do P presente no KP Fertil, o que normalmente não ocorre quando se adiciona fertilizantes fosfatados solúveis, cuja alta disponibilidade de P inorgânico pode inibir a atividade de fosfatases (RHEINHEIMER et al., 2002).

Quanto aos demais parâmetros, nota-se que, apesar de não observadas diferenças significativas após o 1º ano, a aplicação do KP Fértil resultou em alterações em relação à testemunha, com aumentos de até 5,6 $\mu\text{g p-NP h}^{-1} \text{ g de solo}^{-1}$ na atividade da glicosidase, 2,9 $\mu\text{g p-NP h}^{-1} \text{ g de solo}^{-1}$ na atividade da arilsulfatase e de 8,7 $\mu\text{g C}^{-1} \text{ g de solo}^{-1}$ no CBM (Figura 5 e Tabela 5).

Após o 2º ano, maiores valores de atividade enzimática total (somatório das três enzimas) foram obtidos com a aplicação do KP Fértil, com acréscimos de até 58 $\mu\text{g p-NP h}^{-1} \text{ g de solo}^{-1}$, cujos melhores resultados foram observados na dose de 4 t ha^{-1} (Figura 6). Quanto ao CBM, nota-se que, apesar de não observadas diferenças significativas, a aplicação do KP Fértil promoveu acréscimos que variam de 4,3 a 18,6 $\mu\text{g C}^{-1} \text{ g de solo}^{-1}$ (Tabela 6).

Tabela 5. Carbono da biomassa microbiana (CBM) em solo cultivado com cana planta (RB 966928, bpBunge, Santa Juliana - MG, ambiente de produção C2) após a aplicação de doses de KP Fértil à lanço, após o plantio e incorporado superficialmente na operação do quebra-lombo (aplicação em 04/21 e amostragem em 02/22) (solo com 18% de argila e 26,8 mg dm^{-3} de P-resina na prof. de 0-20 cm)

Produto	Dose t ha^{-1}	CBM	
			$\mu\text{g C}^{-1} \text{ g de solo}^{-1}$
Testemunha	0,0		92,7 a
KP Fértil	1,0		101,4 a
KP Fértil	2,0		87,1 a
KP Fértil	4,0		84,8 a
KP Fértil	6,0		91,9 a

CBM: CV: 9,4%.

Médias seguidas por letras distintas na coluna são diferentes pelo teste de Scott-Knott a 0,1 de significância.

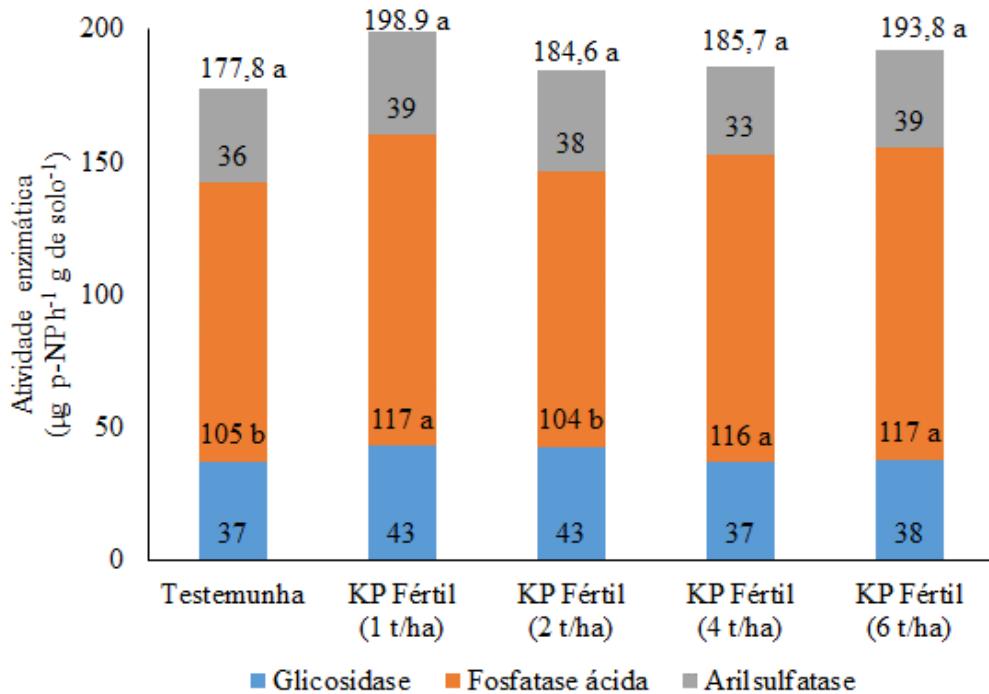


Figura 5. Atividade das enzimas glicosidase, fosfatase ácida, arilsulfatase e somatório das três enzimas em solo cultivado com cana planta (RB 966928, bpBunge, Santa Juliana - MG, ambiente de produção C2) após a aplicação de doses de KP Fértil à lanço, após o plantio e incorporado superficialmente na operação do quebra-lombo (aplicação em 04/21 e amostragem em 02/22) (solo com 18% de argila e $26,8 \text{ mg dm}^{-3}$ de P-resina na prof. de 0-20 cm)

Médias seguidas por letras distintas são diferentes pelo teste de Scott-Knott a 0,1 de significância. CV: 7,7%.

Tabela 6. Carbono da biomassa microbiana (CBM) em solo cultivado com cana soca (RB 966928, bpBunge, Santa Juliana - MG, ambiente de produção C2) após a aplicação de doses de KP Fértil à lanço, após o plantio e incorporado superficialmente na operação do quebra-lombo (aplicação em 04/21 e amostragem em 11/22) (solo com 18% de argila e $26,8 \text{ mg dm}^{-3}$ de P-resina na prof. de 0-20 cm)

Produto	Dose t ha^{-1}	CBM	
			$\mu\text{gC g solo}^{-1}$
Testemunha	0,0		88,6 a
KP Fértil	1,0		92,9 a
KP Fértil	2,0		107,2 a
KP Fértil	4,0		93,8 a
KP Fértil	6,0		99,2 a

CV: 12,8%.

Médias seguidas por letras distintas são diferentes pelo teste de Scott-Knott a 0,1 de significância.

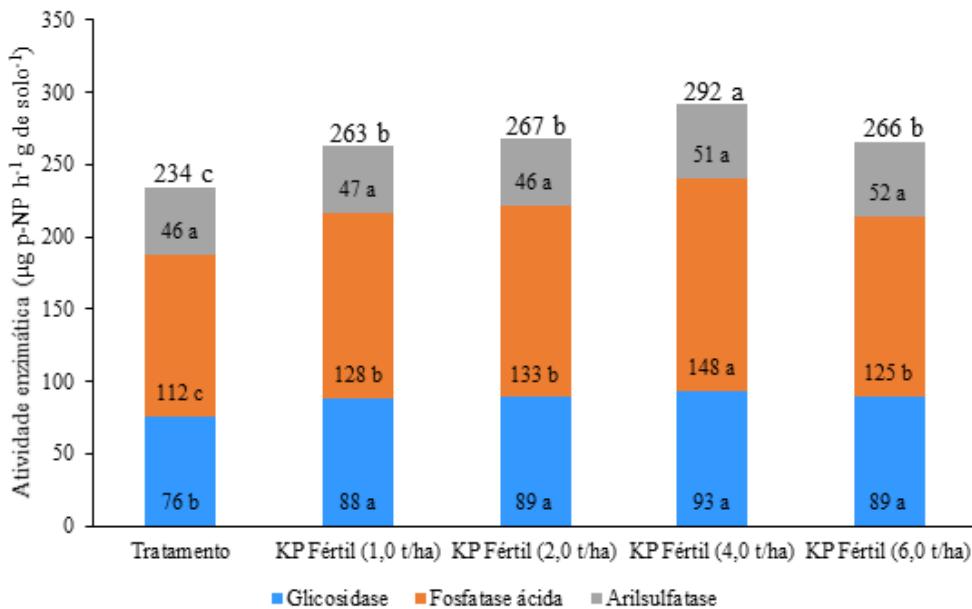


Figura 7. Atividade das enzimas glicosidase, fosfatase ácida, arilsulfatase e somatório das três enzimas em solo cultivado com cana soca (RB 966928, bpBunge, Santa Juliana - MG, ambiente de produção C2) após a aplicação de doses de KP Fértil à lanço, após o plantio e incorporado superficialmente na operação do quebra-lombo (aplicação em 04/21 e amostragem em 11/22) (solo com 18% de argila e 26,8 mg dm⁻³ de P-resina na prof. de 0-20 cm)

Médias seguidas por letras distintas são diferentes pelo teste de Scott-Knott a 0,1 de significância. Glicosidase: CV: 9,0%. Fosfatase: 7,8% e somatório das enzimas: 6,0%

4.3 Produtividades de colmos, açúcar e qualidade da matéria-prima

A aplicação do KP Fértil resultou em aumentos na produtividade de colmos que variam de 3,7 a 23 t ha⁻¹ na cana planta, 6,4 a 17,3 t ha⁻¹ na cana soca e de 17,7 a 38,8 t ha⁻¹ ao se avaliar os valores acumulados dos dois cortes (Tabela 7). De modo geral, os melhores resultados foram obtidos na dose de 4,0 t ha⁻¹.

Tabela 7. Produtividade de colmos (TCH) da cana planta, da cana soca e valores acumulados dos dois cortes (RB 966928, Santa Juliana - MG) após a aplicação de doses de KP Fértil aplicadas à lanço e incorporadas superficialmente na operação do quebra-lombo (aplicação em 04/21 e colheitas em 05/22 e 04/23, aos 13 e 24 meses após a aplicação) (solo com 18% de argila e 26,8 mg dm⁻³ de P-resina na prof. de 0-20 cm)

Produto	Dose t ha ⁻¹	TCH I ano	TCH II ano	TCH acumulado
		-----	-----	-----
Testemunha	0,0	115,2 b	89,7 b	204,9 c
KP Fértil	1,0	118,9 b	103,7 a	222,6 b
KP Fértil	2,0	119,6 b	104,6 a	224,3 b
KP Fértil	4,0	136,7 b	107,0 a	243,7 a
KP Fértil	6,0	138,5 a	96,1 b	234,6 a
Média		125,8	100,2	226,0

TCH I ano: CV: 5,3%; TCH II ano: CV: 6,9%; TCH acumulado: CV: 4,0%.

Médias seguidas por letras distintas na coluna são diferentes pelo teste de Scott-Knott a 0,1 de significância.

Assim como observado para a produtividade de colmos, a aplicação do KP Fértil resultou em ganhos nos valores de produtividade de açúcar da cana-de-açúcar, com acréscimos de até 4,2, 2,4 e 6,6 toneladas de açúcar por hectare na cana planta, cana soca e valores acumulados dos dois cortes, respectivamente (Tabela 8).

É importante ressaltar que, ao se observar os valores acumulados, a aplicação do KP Fértil resultou em produtividades superiores à testemunha, independentemente da dose utilizada (Tabelas 7 e 8).

Tabela 8. Produtividade de açúcar (TAH) da cana planta, da cana soca e valores acumulados dos dois cortes (RB 966928, Santa Juliana - MG) após a aplicação de doses de KP Fértil aplicadas à lanço e incorporadas superficialmente na operação do quebra-lombo (aplicação em 04/21 e colheitas em 05/22 e 04/23, aos 13 e 24 meses após a aplicação)

Produto	TAH ($t\ ha^{-1}$)			
	Dose $t\ ha^{-1}$	Cana planta	Cana soca	Acumulado
Testemunha	0,0	15,1 c	11,9 b	27,0 b
KP Fértil	1,0	17,2 b	13,8 a	30,9 a
KP Fértil	2,0	17,0 b	14,3 a	31,3 a
KP Fértil	4,0	19,3 a	14,3 a	31,9 a
KP Fértil	6,0	19,1 a	12,8 b	33,6 a

TAH I ano: CV: 7,7%; TAH II ano: CV: 7,8%; TAH acumulado: CV: 4,4%.

Médias seguidas por letras distintas na coluna são diferentes pelo teste de Scott-Knott a 0,1 de significância.

Quanto à qualidade da matéria-prima, a aplicação do KP Fértil promoveu acréscimos nos valores de ATR médio (média dos dois cortes) de até 7,5 $kg\ t^{-1}$ quando comparado à testemunha, especialmente quando a dose de 2,0 $t\ ha^{-1}$ foi utilizada (Tabela 9).

Tabela 9. Açúcar total recuperável (ATR) da cana planta, da cana soca e valores médios dos dois cortes (RB 966928, Santa Juliana - MG) após a aplicação de doses de KP Fértil aplicadas à lanço e incorporadas superficialmente na operação do quebra-lombo (aplicação em 04/21 e colheitas em 05/22 e 04/23, aos 13 e 24 meses após a aplicação)

Produto	ATR ($kg\ t^{-1}$)			
	Dose $t\ ha^{-1}$	Cana planta	Cana soca	Médio
Testemunha	0,0	130,7 b	132,6 a	131,7 a
KP Fértil	1,0	144,2 a	133,1 a	138,6 a
KP Fértil	2,0	141,9 a	136,4 a	139,2 a
KP Fértil	4,0	141,2 a	133,4 a	137,3 a
KP Fértil	6,0	138,7 a	132,9 a	135,5 a

ATR I ano: CV: 3,6%; ATR II ano: CV: 3,4%; ATR médio: CV: 2,3%.

Médias seguidas por letras distintas na coluna são diferentes pelo teste de Scott-Knott a 0,1 de significância.

A aplicação do KP Fértil resultou em acréscimos lineares na produtividade da cana planta, com ganhos de 4 e 0,7 toneladas de colmos e de açúcar por hectare, respectivamente, a cada $1,0\text{ t ha}^{-1}$ de KP Fértil adicionada (Figuras 8a e 9a). Por outro lado, modelos polinomiais quadráticos foram obtidos quanto às produtividades da cana soca e valores acumulados dos dois cortes, com melhores resultados em doses que variam de 3,2 a $4,2\text{ t ha}^{-1}$ de KP Fértil (ponto máximo das curvas) (Figuras 8 e 9).

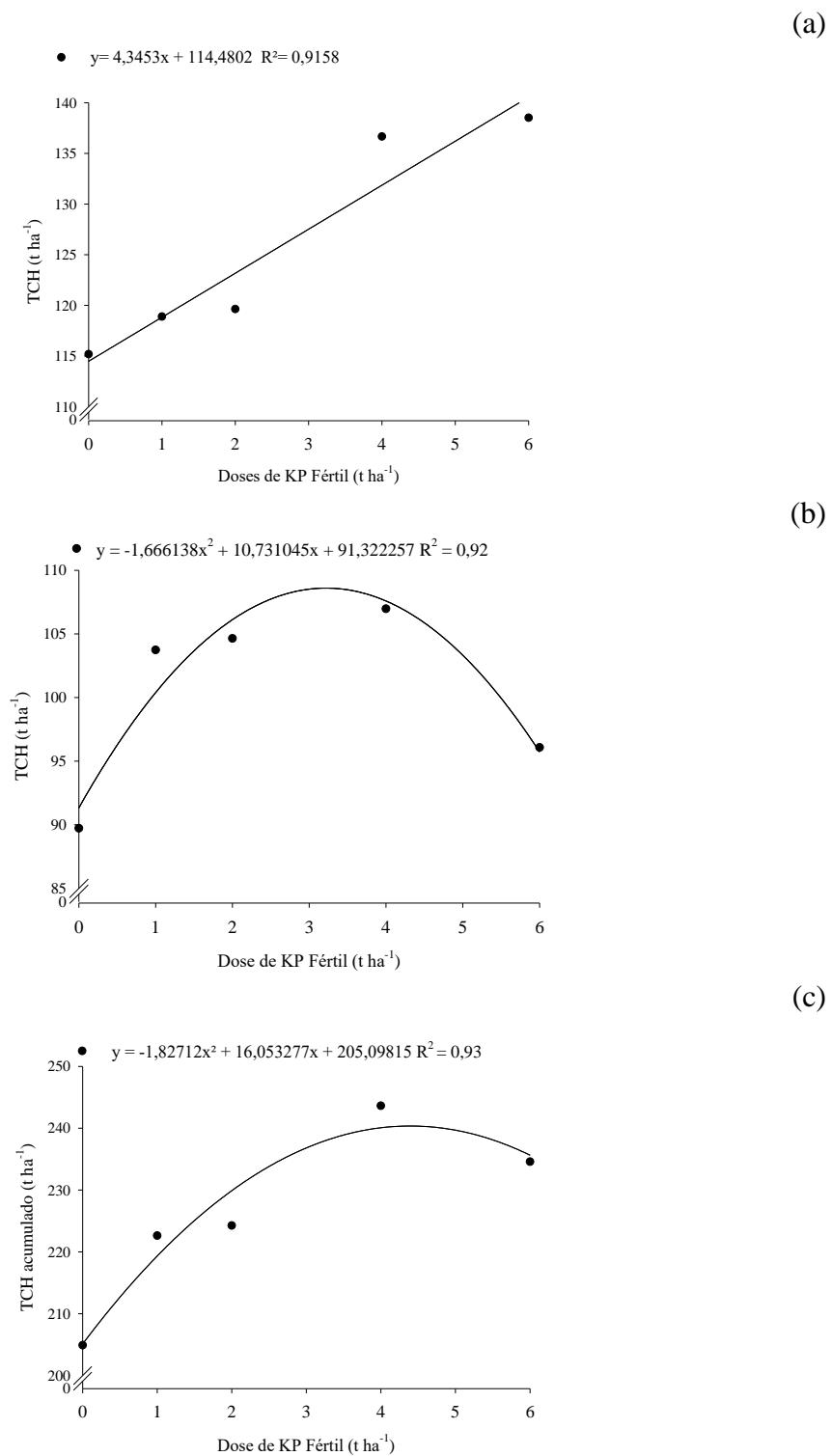


Figura 8. Produtividade de colmos (TCH) da cana planta (a), da cana soca (b) e valores acumulados dos dois cortes (c) (RB 966928, Santa Juliana - MG) após a aplicação de doses de KP Fértil aplicadas à lanço e incorporadas superficialmente na operação do quebra-lombo (aplicação em 04/21 e colheitas em 05/22 e 04/23, aos 13 e 24 meses após a aplicação) (solo com 18% de argila e 26,8 mg dm⁻³ de P-resina na prof. de 0-20 cm)

(a)

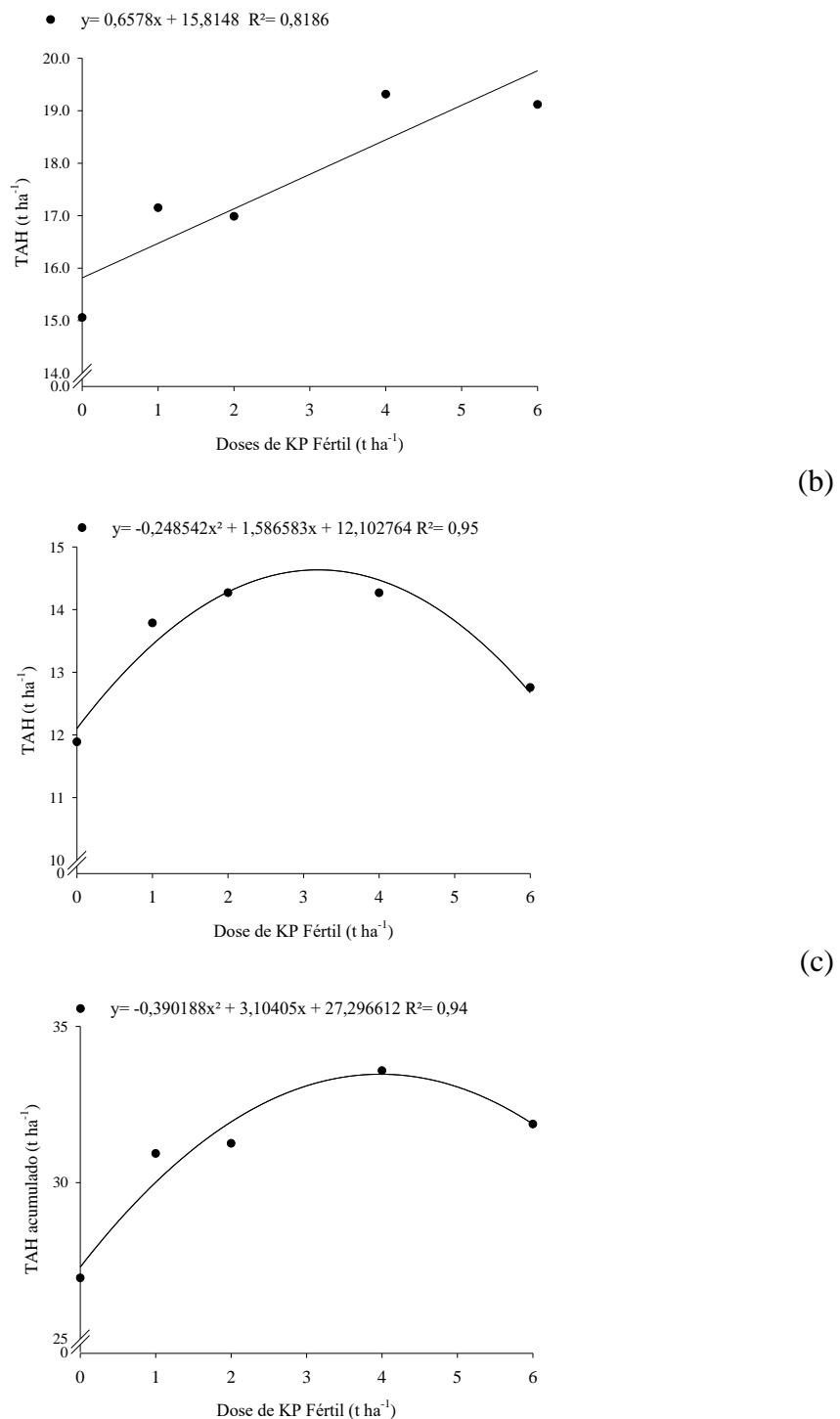


Figura 9. Produtividade de açúcar (TAH) da cana planta (a), produtividade de açúcar da cana soca (b) e valores acumulados dos dois cortes (c) (RB 966928, Santa Juliana - MG) após a aplicação de doses de KP Fértil aplicadas à lanço e incorporadas superficialmente na operação do quebra-lombo (aplicação em 04/21 e colheitas em 05/22 e 04/23, aos 13 e 24 meses após a aplicação) (solo com 18% de argila e 26,8 mg dm⁻³ de P-resina na prof. de 0-20 cm)

Quanto ao ATR, modelo polinomial quadrático foi obtido para a cana planta e para os valores médios dos dois cortes, cujos melhores resultados seriam observados na

dose de 3,3 t ha⁻¹ de KP Fértil (ponto máximo das curvas) (Figura 10). Não foi obtido modelo de regressão significativo para os valores de ATR da cana soca.

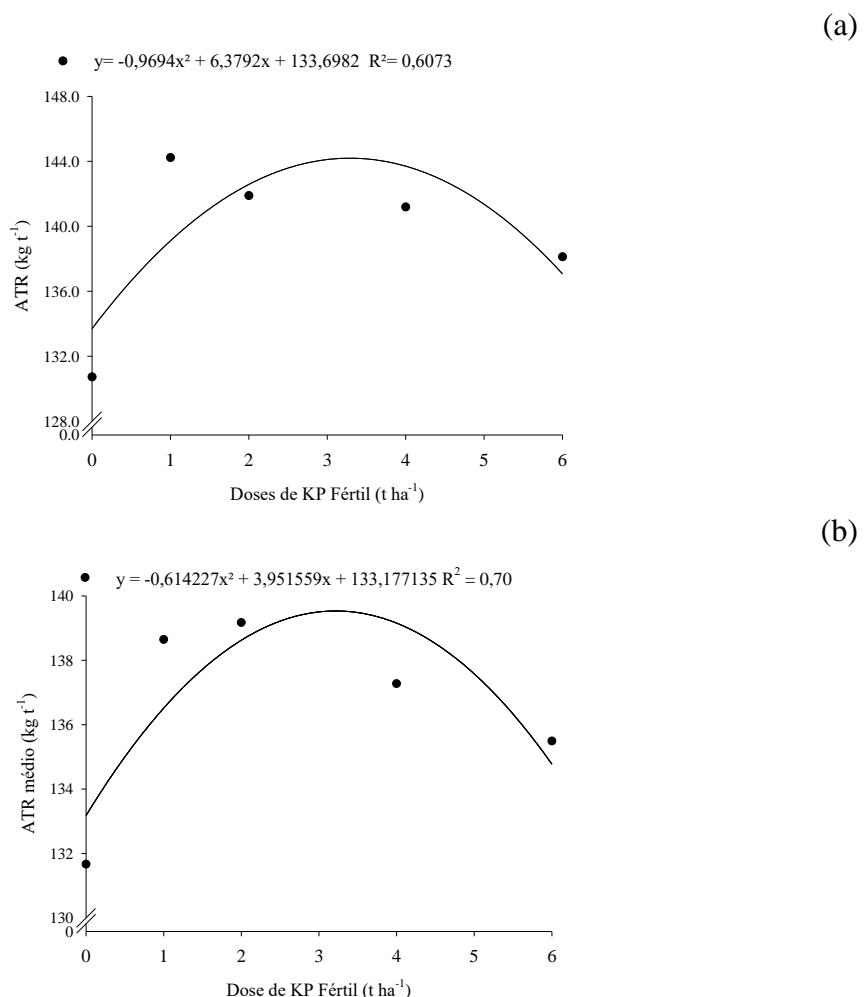


Figura 10. Açúcar total recuperável (ATR) da cana planta (a) e valores médios dos dois cortes (b) (RB 966928, Santa Juliana - MG) após a aplicação de doses de KP Fértil aplicadas à lanço e incorporadas superficialmente na operação do quebra-lombo (aplicação em 04/21 e colheitas em 05/22 e 04/23, aos 13 e 24 meses após a aplicação) (solo com 18% de argila e 26,8 mg dm⁻³ de P-resina na prof. de 0-20 cm)

4.4 Altura e diâmetro de colmos

Valores de altura de colmos da cana planta superiores à testemunha foram obtidos com a aplicação do KP Fértil, independentemente da dose utilizada, com acréscimos de até 30 cm (Tabela 10). Por outro lado, não foram observadas diferenças entre os tratamentos quanto aos valores de diâmetro de colmos (Tabela 10).

Tabela 11. Altura e diâmetro de colmos da cana planta (RB 966928, bpBunge, Santa Juliana - MG) após a aplicação de doses de KP Fértil à lanço, após o plantio e incorporado superficialmente na operação do quebra-lombo (aplicação em 04/21 e medição em 05/22) (solo com 18% de argila e 26,8 mg dm⁻³ de P-resina na prof. de 0-20 cm)

Produto	Dose t ha ⁻¹	Altura das plantas --- m ---	Diâmetro dos colmos --- mm ---
Testemunha	0,0	2,0 c	23,9 a
KP Fértil	1,0	2,2 b	22,8 a
KP Fértil	2,0	2,2 b	24,3 a
KP Fértil	4,0	2,3 a	24,2 a
KP Fértil	6,0	2,1 b	24,5 a
Média		2,1	24,0

Altura das plantas: CV: 2,9%; Diâmetro dos colmos: CV: 4,6%.

Médias seguidas por letras distintas na coluna são diferentes pelo teste de Scott-Knott a 0,1 de significância.

As doses de KP Fértil resultaram em modelo polinomial quadrático quanto aos valores de altura de colmos da cana planta, cujos melhores resultados seriam observados na dose de 3,5 t ha⁻¹ (ponto máximo da curva) (Figura 11).

Não foi obtido ajuste de modelo significativo que demonstre o efeito das doses de KP Fértil no diâmetro de colmos.

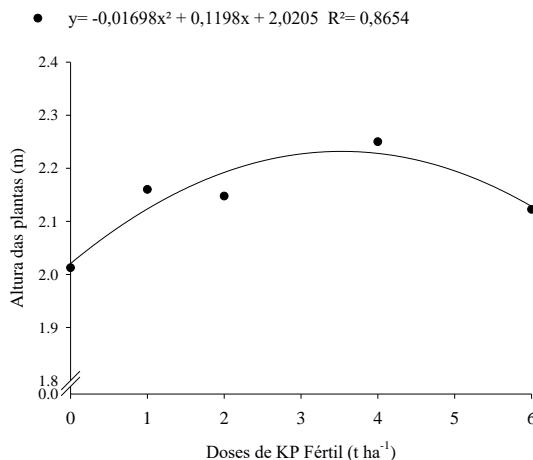


Figura 11. Altura de colmos da cana planta (RB 966928, Santa Juliana - MG) após a aplicação de doses de KP Fértil à lanço, após o plantio e incorporado superficialmente na operação do quebra-lombo (aplicação em 04/21 e colheita em 05/22)

De modo geral, não foram observadas diferenças entre os tratamentos e não foram obtidos ajustes de modelos de regressão significativos quanto aos valores de altura e diâmetro de colmos da cana soca após a aplicação das diferentes doses de KP Fértil (Figura 12).

Tabela 12. Altura e diâmetro de colmos da cana soca (2º corte, RB 966928, bpBunge, Santa Juliana - MG) após a aplicação de doses de KP Fértil à lanço, após o plantio e incorporado superficialmente na operação do quebra-lombo (aplicação em 04/21 e medição em 04/23) (solo com 18% de argila e 26,8 mg dm⁻³ de P-resina na prof. de 0-20 cm)

Produto	Dose t ha ⁻¹	Altura das plantas		Diâmetro dos colmos	
		--- m ---	--- mm ---	--- mm ---	--- mm ---
Testemunha	0,0	1,6 a		24,3 a	
KP Fértil	1,0	1,7 a		24,4 a	
KP Fértil	2,0	1,7 a		25,2 a	
KP Fértil	4,0	1,7 a		25,2 a	
KP Fértil	6,0	1,6 a		25,0 a	
Média		1,6		24,8	

Altura das plantas: CV: 4,1%; Diâmetro dos colmos: CV: 6,0%.

Médias seguidas por letras distintas na coluna são diferentes pelo teste de Scott-Knott a 0,05 de significância.

4.5 Análise química do solo

Apesar de não observadas diferenças estatísticas, a aplicação do KP Fértil resultou em acréscimos em relação à testemunha em diversos parâmetros da análise química do solo (Tabelas 13 e 14).

Dessa forma, a aplicação do KP Fértil à lanço e após o plantio resultou em acréscimos de até 10 mg dm⁻³ de P, 34,5 mg dm⁻³ de K, 11,3 mg dm⁻³ de Si e 0,1 cmolc dm⁻³ de Mn e 0,4 mg dm⁻³ de Zn após o 1º corte, sendo que, de modo geral, melhores resultados foram obtidos na dose de 4,0 e 6,0 t ha⁻¹. Os acréscimos observados nas propriedades químicas do solo estão relacionados aos ganhos em produtividade e à atividade da fosfatase ácida, os quais também foram superiores quando as maiores doses de KP Fértil foram utilizadas.

Tabela 13. Teores de P, K, Si, Ca, Mg e pH do solo cultivado com cana planta (RB 966928, bpBunge, Santa Juliana - MG) após a aplicação de doses de KP Fértil à lanço, após o plantio e incorporado superficialmente na operação do quebra-lombo (aplicação em 04/21 e coleta em 07/22) (solo com 18% de argila e 26,8 mg dm⁻³ de P-resina na prof. de 0-20 cm)

Produto	Dose t ha ⁻¹	pH	P	K	Si	Ca	Mg
Testemunha	0,0	6,0 a	11,3 a	23,3 a	4,8 a	3,1 a	0,6 a
KP Fértil	1,0	5,9 a	10,3 a	37,5 a	5,3 a	3,1 a	0,6 a
KP Fértil	2,0	6,0 a	13,0 a	38,8 a	5,9 a	3,2 a	0,7 a
KP Fértil	4,0	5,9 a	21,2 a	41,8 a	6,1 a	2,6 a	0,7 a
KP Fértil	6,0	6,1 a	16,9 a	57,8 a	5,8 a	2,8 a	0,6 a
Média		6,0	14,5	39,8	5,6	2,9	0,7

pH: CV: 2,0%. P: CV: 62,5%. K: CV: 42,7%. Si: CV: 20,4%. Ca: CV: 12,0%. Mg: CV: 18,7%.

Médias seguidas por letras distintas na coluna são diferentes pelo teste de Scott-Knott a 0,1 de significância.

Tabela 14. Teores de Cu, Mn, Zn e B do solo cultivado com cana planta (RB 966928, bpBunge, Santa Juliana - MG) após a aplicação de doses de KP Fértil à lanço, após o plantio e incorporado superficialmente na operação do quebra-lombo (aplicação em 04/21 e coleta em 07/22) (solo com 18% de argila e 26,8 mg dm⁻³ de P-resina na prof. de 0-20 cm)

Produto	Dose t ha ⁻¹	Cu	Mn	Zn	B
		----- mg dm ⁻³ -----			
Testemunha	0,0	0,6 a	1,2 a	0,4 a	0,3 a
KP Fértil	1,0	0,6 a	1,4 a	0,6 a	0,3 a
KP Fértil	2,0	0,6 a	1,4 a	0,8 a	0,3 a
KP Fértil	4,0	0,6 a	1,3 a	0,8 a	0,3 a
KP Fértil	6,0	0,6 a	1,3 a	0,7 a	0,3 a
Média		0,6	1,3	0,7	0,3

Cu: CV: 15,9%. Mn: CV: 17,9%. Zn: CV: 47,7%. B: CV: 16,0%.

Médias seguidas por letras distintas na coluna são diferentes pelo teste de Scott-Knott a 0,1 de significância.

As doses crescentes de KP Fértil resultaram em acréscimos lineares nos teores de K no solo, com ganhos de 4,8 mg dm⁻³ de K a cada tonelada aplicada (Figura 8a). Quanto ao Mg, modelo polinomial quadrático foi obtido, cujos melhores resultados seriam observados na dose de 3,3 t ha⁻¹ (ponto máximo da curva) (Figura 8b).

Não foram obtidos ajustes de modelos de regressão significativos que demonstrem o efeito das doses crescentes de KP Fértil nos teores de P, Si, Ca, Cu, Mn, Zn e B no solo.

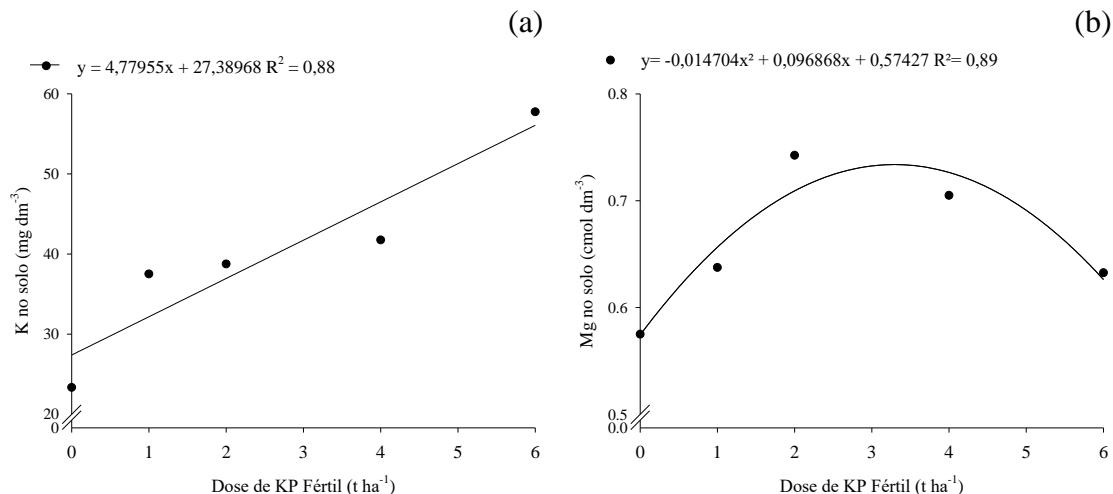


Figura 11. Teores de K (a) e Mg (b) solo cultivado com cana planta (RB 966928, bpBunge, Santa Juliana - MG) após a aplicação de doses de KP Fértil à lanço, após o plantio e incorporado superficialmente na operação do quebra-lombo (aplicação em 04/21 e coleta em 07/22) (solo com 18% de argila e 26,8 mg dm⁻³ de P-resina na prof. de 0-20 cm)

Após o 2º corte, nota-se que, apesar de não observadas diferenças estatísticas, a aplicação do KP Fértil resultou em acréscimos em relação à testemunha de até 1,7 mg dm⁻³ de P Mehlich, 13 mg dm⁻³ de K Mehlich, e 3,3 mg dm⁻³ de Si no solo, cujos melhores resultados foram observados quando a maior de KP Fértil foi aplicada (Tabela 15).

Não foram observadas diferenças estatísticas quanto aos teores de micronutrientes no solo após o 2º corte (Tabela 16).

Tabela 15. Teores de P, K, Si, Ca, Mg e pH do solo cultivado com cana soca (2º corte, RB 966928, bpBunge, Santa Juliana - MG) após a aplicação de doses de KP Fértil à lanço, após o plantio e incorporado superficialmente na operação do quebra-lombo (aplicação em 04/21 e coleta em 04/23) (solo com 18% de argila e 26,8 mg dm⁻³ de P-resina na prof. de 0-20 cm)

Produto	Dose t ha ⁻¹	pH CaCl ₂	P Mehlich-1		K mg dm ⁻³	Si -- cmolc dm ⁻³ --	Ca -- cmolc dm ⁻³ --	Mg -- cmolc dm ⁻³ --
			-----	-----				
Testemunha	0,0	6,3 a	13,5 a	44,3 a	10,9 a	2,9 a	0,9 a	0,9 a
KP Fértil	1,0	6,2 a	13,4 a	45,7 a	10,4 a	2,9 a	0,9 a	0,9 a
KP Fértil	2,0	6,2 a	14,1 a	50,3 a	11,2 a	3,2 a	1,0 a	1,0 a
KP Fértil	4,0	6,2 a	15,2 a	46,3 a	10,9 a	2,7 a	0,8 a	0,8 a
KP Fértil	6,0	6,3 a	15,1 a	57,3 a	14,2 a	2,9 a	0,9 a	0,9 a
Média		6,2	14,3	48,8	11,5	2,9	0,9	

pH CaCl₂: CV: 1,6%; P Mehlich-1: CV: 38,5%; K: CV: 24,0%; Si: CV: 24,2%; Ca: CV: 10,8%; Mg: CV: 17,6%.

Médias seguidas por letras distintas na coluna são diferentes pelo teste de Scott-Knott a 0,1 de significância.

Tabela 15. Teores de P, K, Si, Ca, Mg e pH do solo cultivado com cana soca (2º corte, RB 966928, bpBunge, Santa Juliana - MG) após a aplicação de doses de KP Fértil à lanço, após o plantio e incorporado superficialmente na operação do quebra-lombo (aplicação em 04/21 e coleta em 04/23) (solo com 18% de argila e 26,8 mg dm⁻³ de P-resina na prof. de 0-20 cm)

Produto	Dose t ha ⁻¹	Cu mg dm ⁻³	Mn		Zn mg dm ⁻³	B mg dm ⁻³
			-----	-----		
Testemunha	0,0	0,4 a	2,1 a	0,8 a	0,2 a	0,2 a
KP Fértil	1,0	0,3 a	2,2 a	0,7 a	0,2 a	0,2 a
KP Fértil	2,0	0,4 a	2,2 a	0,8 a	0,2 a	0,2 a
KP Fértil	4,0	0,4 a	2,1 a	0,9 a	0,2 a	0,2 a
KP Fértil	6,0	0,4 a	2,1 a	0,9 a	0,3 a	0,3 a
Média		0,4	2,1	0,8	0,2	

Cu: CV: 23,3%; Mn: CV: 7,4%; Zn: CV: 22,7%; B: CV: 11,8%.

Médias seguidas por letras distintas na coluna são diferentes pelo teste de Scott-Knott a 0,1 de significância.

Não foram obtidos ajustes de modelos de regressão significativos que demonstrem o efeito das doses de KP Fértil na análise química do solo após o 2º corte.

5. CONCLUSÕES

- a) Maiores valores acumulados de TCH (somatório dos dois cortes) são obtidos com a aplicação das duas maiores doses de KP Fértil, com ganhos de até 39 toneladas de colmos por hectare.
- b) A aplicação do KP Fértil resulta em valores acumulados de TAH (somatório dos dois cortes) superiores à testemunha, independentemente da dose utilizada, com ganhos de até 6,6 t ha⁻¹.
- c) Apesar de não observadas diferenças estatísticas, o KP Fértil promove ganhos médios de até 7,5 kg de açúcar por tonelada de colmos quando comparado à testemunha.
- d) De modo geral, maiores incrementos nas propriedades químicas do solo e na atividade da enzima fosfatase ácida são observados com as maiores doses de KP Fértil (4 e 6 t ha⁻¹). Tais resultados estão associados aos ganhos em produtividades obtidos com aplicação dessas doses.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS (ANDA). **Principais indicadores do setor de fertilizantes.** Disponível em: <http://www.anda.org.br/estatistica/comentarios.pdf>. Acesso em: 26 de dezembro de 2021
- BERTOLANI, F. C.; JOAQUIM, A. C.; DONZELLI, J. L. **Sistema de classificação edafoclimática para a cultura da cana-de-açúcar.** In: Sistema de produção mecanizada da cana-de-açúcar integrada à produção de energia e alimentos. 1 ed. Brasília, Embrapa. p.363-373, 2015.
- CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; MATTOS Jr. D.; BOARETTO, R. M.; VAN RAIJ, B. **Cana-de-açúcar.** In: Boletim 100: Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo, 1.ed. Campinas: Instituto Agronômico, 1996. 488p. (Boletim técnico, 100), 2022.
- CONSELHO DOS PRODUTORES DE CANA-DE-AÇÚCAR, AÇÚCAR E ÁLCOOL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CONSECANA). **Manual de instruções.** 5.ed, Piracicaba, 2006. 112p.
- DEMATTÊ, J. L. I.; DEMATTÊ, J. A. M. Ambientes de produção como estratégia de manejo na cultura da cana-de-açúcar. **Informações Agronômicas nº 127**, 2009.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e Agrotecnologia**, v.3 8, n. 2, 2014.
- JOAQUIM, A. C.; DONZELLI, J. L.; QUADROS, A. C.; SARTO, L. F. Potencial de produção de cana-de-açúcar. In: Seminário copersucar de tecnologia agronômica, 7., 1994, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: CTC, p.68-76, 1997.
- KORNDÖRFER, G. H. **Importância na qualidade da cana-de-açúcar.** In: SÁ, M. E.; BUZZETTI, S. (Ed.). Importância da adubação e qualidade dos produtos agrícolas. São Paulo: Ícone, v.1, p.1033-142, 1994.
- KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA. H. S.; NOLLA. A. **Análise de silício: solo, planta e fertilizante.** Uberlândia: GPSi/ICIAG/UFU,2004. 34 p. (Boletim Técnico, 2).
- MENDES, I. D. C.; SOUSA, D. M. G.; REIS JUNIOR, F. B.; LOPES, A. D. C. **Bioanálise de solo: como acessar e interpretar a saúde do solo.** Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2018.
- REDE INTERUNIVERSITÁRIA PARA O DESENVOLVIMENTO DO SETOR SUCRALCOOLEIRO (RIDEZA). **45 anos de variedades RB**, Curitiba, 2015. 136 p. Disponível em: https://936ff074-bc31-4c95-865a-e84779eed5aa.filesusr.com/ugd/097ffc_96da199c42e04e64baa981fff181f245.pdf. Acesso em: 19 de julho de 2022.

RHEINHEIMER, D.S. et al. Fósforo da biomassa microbiana em solos sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, n.3, p.589-597, 2000.

SILVA, F. C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília, Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 2009. 627p.

SILVA, V.N. **Interação de micro-organismos na solubilização de fósforo e potássio de rochas para a produção de biofertilizantes**, Natal, RN, 2013.

SYSTAT SOFTWARE. **SigmaPlot statistics user's guide**, version 11.2 ed. Systat Software, Inc., San Jose, Costa Rica, 2009.

THEODORO, S. H.; ALMEIDA, E. Agrominerais e a construção da soberania em insumos agrícolas no Brasil. **Agriculturas**, v. 10, n. 1, 2013.

THEODORO, S. H.; LEONARDOS, O. H.; ALMEIDA, E. de. Mecanismos para disponibilização de nutrientes minerais a partir de processos biológicos. In: MARTINS, E. S.; THEODORO, S. H. **Anais do I Congresso Brasileiro de Rochagem**. Brasília – Embrapa. p.173-181, 2010.