

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS  
CÂMPUS JABOTICABAL**

**CONCENTRADO DE VINHAÇA BIODIGERIDA COMO  
FERTILIZANTE: EFEITO NO SUBSTRATO, NO  
CRESCIMENTO E NUTRIÇÃO DA CANA-DE-AÇÚCAR**

**Juliana Aparecida dos Santos da Silva**

Engenheira Agrônoma

2012

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS  
CÂMPUS JABOTICABAL**

**CONCENTRADO DE VINHAÇA BIODIGERIDA COMO  
FERTILIZANTE: EFEITO NO SUBSTRATO, NO  
CRESCIMENTO E NUTRIÇÃO DA CANA-DE-AÇÚCAR**

**Juliana Aparecida dos Santos da Silva**

**Orientador: Prof. Dr. Jairo Osvaldo Cazetta**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Agronomia (Produção Vegetal).

S586c Silva, Juliana Aparecida dos Santos da  
Concentrado de vinhaça biodigerida como fertilizante: efeito no  
substrato, no crescimento e nutrição da cana-de-açúcar / Juliana  
Aparecida dos Santos da Silva. -- Jaboticabal, 2012  
x, 67 f. : il. ; 28 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista,  
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2012  
Orientadora: Jairo Osvaldo Cazetta  
Banca examinadora: José Carlos Barbosa, Samira Domingues  
Carlin Cavallari  
Bibliografia

1. Fertilização. 2. Biodigestão. 3. Fontes de potássio. I. Título. II.  
Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 631.879.3:633.61

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação –  
Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.  
e-mail: arnold@cnpsa.embrapa.br

## **DADOS CURRICULARES DA AUTORA**

**JULIANA APARECIDA DOS SANTOS DA SILVA** – Nasceu em 24 de junho de 1985, na cidade de São Lourenço – MG. Concluiu o curso de graduação em Engenharia Agrônômica pela Universidade José do Rosário Vellano (UNIFENAS), na cidade de Alfenas – MG em dezembro de 2009, onde além das atividades curriculares desenvolveu trabalhos como estagiária e bolsista de iniciação científica (PIBIC) pelo CNPq no laboratório de Biotecnologia Vegetal. Em agosto de 2010, iniciou o curso de Mestrado em Agronomia (Produção Vegetal) na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV/UNESP) de Jaboticabal – SP, com bolsa concedida pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq (processo 153437/2010-3).

## DEDICATÓRIA

Aos meus pais Aristeu e Maria Lúcia, pelo amor e confiança sempre depositados e por estarem sempre presentes nas horas difíceis.

À minha irmã Ana e meus sobrinhos: Bárbara, Nina e Samuel, pois a família é a maior riqueza e alegria que podemos ter.

Ao meu namorado Aluisio, pelo companheirismo e pela força dada todos os dias.

Dedico.

## AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, pela concessão da bolsa de Mestrado (processo 153437/2010-3).

À BPI – Biotechnical Processes International pelo fornecimento do concentrado de vinhaça biodigerida.

À Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal (FCAV/UNESP) pela infraestrutura e aos professores do curso de pós-graduação pelo aperfeiçoamento profissional.

Ao Prof. Dr. Jairo Osvaldo Cazetta, pela orientação, confiança, amizade.

Aos membros da banca examinadora do Exame Geral de Qualificação, Dr. Renato de Mello Prado e Dr. Miguel Angelo Mutton, e Defesa, Dr. José Carlos Barbosa e Dra. Samira Domingues Carlin Cavallari, pela participação e contribuição no enriquecimento deste trabalho.

Aos funcionários do Dep. de Tecnologia, em especial ao José Carlos, pela atenção, colaboração e ajuda sempre que requisitada.

***“A todos aqueles que contribuíram de alguma maneira para o desenvolvimento e realização deste trabalho”***

MEUS SINCEROS AGRADECIMENTOS

## SUMÁRIO

	Página
RESUMO .....	iii
ABSTRACT.....	iv
LISTA DE TABELAS.....	v
LISTA DE FIGURAS.....	viii
CAPITULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	1
Introdução Geral.....	1
Vinhaça <i>in natura</i> .....	2
Biodigestão e concentração da vinhaça.....	4
Cana-de-açúcar.....	6
Referências.....	9
CAPÍTULO 2 – USO CONCENTRADO DE VINHAÇA BIODIGERIDA: EFEITO NO SUBSTRATO E EM MUDAS DE CANA-DE- AÇÚCAR.....	13
Resumo.....	13
Abstract.....	14
Introdução.....	15
Material e Métodos.....	16
Resultados e Discussão.....	18
Conclusão.....	29
Referências.....	30
CAPÍTULO 3 – DOSES DO CONCENTRADO DE VINHAÇA BIODIGERIDA: EFEITO NO SUBSTRATO E EM MUDAS DE CANA-DE- AÇÚCAR.....	33
Resumo.....	33
Abstract.....	34
Introdução.....	35

Material e Métodos.....	36
Resultados e Discussão.....	38
Conclusão.....	50
Referências.....	50
CAPÍTULO 4 – CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	52

## CONCENTRADO DE VINHAÇA BIODIGERIDA COMO FERTILIZANTE: EFEITO NO SUBSTRATO, NO CRESCIMENTO E NUTRIÇÃO DA CANA-DE-AÇÚCAR

**RESUMO** – A vinhaça, resíduo da produção de etanol, é amplamente utilizada como fertilizante por ter elevadas concentrações de matéria orgânica e nutrientes, principalmente o potássio. Atualmente existe o interesse de se aplicar a vinhaça em canaviais distantes das destilarias. Uma forma de tornar transporte da vinhaça menos oneroso é a sua biodigestão e posterior concentração, produzindo o concentrado de vinhaça biodigerida (CVB). Entretanto, existem diferenças entre o CVB e a vinhaça *in natura* (VIN). Por isso, o objetivo desta pesquisa foi de comparar o CVB com a VIN e o KCl como fertilizante no desenvolvimento inicial da cana-de-açúcar. Para isto foram conduzidos dois experimentos. No primeiro, os tratamentos corresponderam à fertilização com CVB, VIN, KCl (em dose equivalente à 450 kg ha<sup>-1</sup> de K) e um tratamento controle (apenas água) na presença e na ausência de adubação nitrogenada. Os tratamentos foram aplicados em mudas de cana-de-açúcar com 60 dias de idade, plantadas em substrato composto pela mistura de areia fina e Latossolo (2:1) em vasos de 18 L. O delineamento experimental adotado foi inteiramente casualizado em esquema fatorial 4 X 2. No segundo experimento, o CVB, a VIN e o KCl em doses equivalentes à 60, 120, 240, 480 kg ha<sup>-1</sup> de K e mais um tratamento controle (apenas água) foram aplicados em mudas de cana-de-açúcar, previamente preparadas como no primeiro experimento. Utilizou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado em esquema fatorial 3 X 4 mais um tratamento adicional (controle). Em ambos os experimentos, após a aplicação dos tratamentos, as plantas foram conduzidas por 60 dias em casa de vegetação. Após este período, foram avaliadas as características químicas do substrato, a altura de plantas, número de perfilhos, área foliar, massa seca da parte aérea, do sistema radicular e total. Também foram avaliados o teor e o acúmulo de nutrientes e o acúmulo de sódio nas plantas. O CVB apresentou resultados semelhantes aos da VIN e do KCl na presença e na ausência de adubação nitrogenada, mas a aplicação em conjunto com nitrogênio incrementou o crescimento das plantas. O CVB também apresentou resultados semelhantes aos da VIN e do KCl nas diferentes doses testadas.

**Palavras-chave:** Fertilização, Biodigestão, Fontes de potássio

## CONCENTRATED BIODIGESTED VINASSE LIKE FERTILIZER: EFFECT IN THE SUBSTRATE, GROWTH AND NUTRITION OF SUGAR CANE

**ABSTRACT** - The vinasse, a waste of ethanol production, is widely used like fertilizer because it has high concentration of organic matter and nutrients, especially potassium. Currently there is interest in to apply vinasse on distant areas from distilleries. One way to make transportation of vinasse less costly is its biodigestion and posterior concentration, producing the concentrated biodigested vinasse (CBV). However, there are differences between the CBV and *in natura* vinasse (INV). Therefore, the aim of this study was to compare the CBV with the INV and KCl in the fertilization of sugarcane in early development. For this purpose two experiments were made. At first, the treatments were fertilization with CBV, INV, KCl (at dose equivalent to 450 kg ha<sup>-1</sup> K) and one control (water only) in the presence and absence of nitrogen fertilizer. Treatments were applied in seedlings of sugarcane with 60 days old, planted in substrate composed by fine sand and Oxisol (2:1) in pots of 18 L. The experimental design was completely randomized in a factorial 4 X 2. In the second experiment, CBV, INV and KCl in doses equivalent to 60, 120, 240, 480 kg ha<sup>-1</sup> of K plus a control (water only) were applied in seedlings of sugar cane, previously prepared like in the first experiment. We used a completely randomized design in factorial plus one additional treatment (3 X 4 + 1). In both experiments, after the treatments, the plants were cultivated for 60 days in a greenhouse. After this period, we evaluated the chemical characteristics of the substrate, plant height, tiller number, leaf area, leaves dry mass, root dry mass and total dry mass. We also evaluated the content and accumulation of nutrients and sodium accumulation in plants. The CBV showed similar results those of INV and KCl like fertilizer, in the presence and absence of nitrogen, but the nitrogen application could increase the plant's growth. The CBV also showed similar results those of INV and KCl at different doses tested.

**Keywords:** Fertilization, Biodigestion, Sources of potassium

**LISTA DE TABELAS****CAPÍTULO 2 – USO DO CONCENTRADO DE VINHAÇA BIODIGERIDA: EFEITO NO SUBSTRATO E EM MUDAS DE CANA-DE-AÇÚCAR**

<b>Tabela</b>		<b>Página</b>
1	Características da vinhaça <i>in natura</i> e do concentrado de vinhaça biodigerida original e diluído. Jaboticabal-SP, 2012.	17
2	Efeito das fontes de potássio e dos níveis de nitrogênio no pH (CaCl), MO (g dm <sup>-3</sup> ), H+Al, SB e T (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) do substrato. Jaboticabal-SP, 2012.	19
3	Efeito das fontes de potássio e dos níveis de nitrogênio na concentração de K, Ca e Mg (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) no substrato. Jaboticabal-SP, 2012.	20
4	Efeito das fontes de K e dos níveis de nitrogênio na altura de plantas, área foliar e massa seca da parte aérea (PA) de cana-de-açúcar. Jaboticabal-SP, 2012.	21
5	Efeito da interação fontes de potássio e nitrogênio na massa seca do sistema radicular (MSR) e massa seca total (MST) de plantas de cana-de-açúcar. Jaboticabal-SP, 2012.	22
6	Efeito das fontes de potássio e dos níveis de nitrogênio nos teores foliares de K, N, Ca e S em cana-de-açúcar. Jaboticabal-SP, 2012.	24
7	Efeito das fontes de potássio e dos níveis de nitrogênio no acúmulo de K em cana-de-açúcar. Jaboticabal-SP, 2012.	25

8	Efeito da interação fontes de potássio e nitrogênio no acúmulo de N, Ca, S e Mg em cana-de-açúcar. Jaboticabal-SP, 2012.	26
9	Efeito da interação fontes de potássio e nitrogênio no acúmulo de Na em cana-de-açúcar. Jaboticabal-SP, 2012.	27
10	Efeito da interação entre fontes de potássio e níveis de nitrogênio no teor de Cu e no acúmulo de Cu e Mn em cana-de-açúcar. Jaboticabal-SP, 2012.	28
11	Efeito das fontes de potássio dos níveis de nitrogênio no teor de Mn e no acúmulo de Zn em cana-de-açúcar. Jaboticabal-SP, 2012.	29

### **CAPÍTULO 3 – DOSES DO CONCENTRADO DE VINHAÇA BIODIGERIDA: EFEITO NO SUBSTRATO E EM MUDAS DE CANA-DE- AÇÚCAR**

<b>Tabela</b>		<b>Página</b>
1	Características da vinhaça <i>in natura</i> e do concentrado de vinhaça biodigerida original e diluído. Jaboticabal-SP, 2012.	37
2	Efeito das fontes e doses de potássio e controle no pH (CaCl), MO ( $\text{g dm}^{-3}$ ), P ( $\text{mg dm}^{-3}$ ), K, Ca, H+Al ( $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ ) e V% do substrato. Jaboticabal-SP, 2012.	39
3	Efeito das fontes e doses de potássio e controle no teor e acúmulo de potássio em cana-de-açúcar. Jaboticabal-SP, 2012.	43

- 4 Efeito das fontes e doses de potássio e controle no teor e acúmulo de nitrogênio em cana-de-açúcar. Jaboticabal-SP, 2012. 44
- 5 Efeito das fontes e doses de potássio e controle no teor e acúmulo de enxofre em cana-de-açúcar. Jaboticabal-SP, 2012. 46
- 6 Efeito das fontes e doses de potássio e controle nos teores de ferro (Fe) e manganês (Mn) em cana-de-açúcar. Jaboticabal-SP, 2012. 47

## LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 3 – DOSES DO CONCENTRADO DE VINHAÇA BIODIGERIDA:  
EFEITO NO SUBSTRATO E EM MUDAS DE CANA-DE-  
AÇÚCAR

Figura		Página
1	Efeito das doses de potássio no pH e concentração de K no substrato. Jaboticabal-SP, 2012.	40
2	Efeito da interação entre fontes de potássio e doses de potássio na produção de massa seca do sistema radicular da cana-de-açúcar. Jaboticabal-SP, 2012.	42
3	Efeito de doses de potássio no teor e acúmulo de K em cana-de-açúcar. <sup>ns</sup> = não significativo; **, * significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente. Jaboticabal-SP, 2012.	43
4	Efeito da interação entre fontes de potássio e doses de potássio no teor de P em cana-de-açúcar. <sup>ns</sup> = não significativo; **significativo a 1% de probabilidade. Jaboticabal-SP, 2012.	45
5	Efeito de doses de potássio no teor de Fe, Mn e da interação entre fontes e doses de K no teor de Cu em cana-de-açúcar. <sup>ns</sup> = não significativo; ** significativo 1% de probabilidade. Jaboticabal-SP, 2012.	48

- 6 Efeito da interação entre doses e fontes de potássio no acúmulo de Na em cana-de-açúcar. <sup>ns</sup> = não significativo; \* significativo a 5% de probabilidade. Jaboticabal-SP, 2012. 49

## **CAPITULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS**

### **Introdução geral**

Atualmente, a comunidade científica em todo mundo tem voltado seus esforços para o desenvolvimento de tecnologias que não limitem o progresso, mas estejam em equilíbrio com o ambiente. Uma preocupação mundial, tema constante em diversas reuniões entre líderes de diversos países, é a redução da emissão de gases de efeito estufa. Uma alternativa é a substituição parcial no uso de combustíveis fósseis pelo uso de combustíveis renováveis, como o etanol.

O Brasil é o segundo maior produtor mundial de etanol, destinando aproximadamente a metade da produção de cana-de-açúcar para este fim. A produção de etanol cresce a cada ano assim como a área plantada com cana-de-açúcar. Por isso, pesquisas visando o desenvolvimento de tecnologias que possibilitem o aumento na produtividade desta cultura são necessárias.

O processo de produção de etanol dá origem a vinhaça, líquido de cor parda, pH ácido (ao redor de 4,0), com elevada concentração de matéria orgânica e nutrientes, principalmente potássio. A vinhaça, que antes era considerada apenas como um problema ambiental devido a alta demanda química e bioquímica por oxigênio (DQO e DBO), hoje passou a ser vista como precioso fertilizante e fonte alternativa de renda para muitos produtores.

A vinhaça pode ser utilizada de diversas formas, como para formulação de ração animal, produção de tijolos para construção, matéria prima para biodigestores, etc. (ROSSETO et al., 2008), no entanto o mais comum deles é como fertilizante na própria cana-de-açúcar (MARQUES, 2006). Contudo, devido a sua riqueza em nutrientes, principalmente o potássio, e matéria orgânica é necessário que seu uso respeite normas estabelecidas pela CETESB (2006) como forma de evitar a saturação do solo onde é aplicada. Dessa forma, surge a necessidade da distribuição da vinhaça para regiões produtoras de cana-de-açúcar, porém afastadas das usinas.

Uma dificuldade encontrada quanto à utilização da vinhaça em regiões distantes das destilarias diz respeito a seu grande conteúdo de água que representa

um gasto extra com transporte. Uma alternativa que já vem sendo utilizada em algumas usinas é a concentração da vinhaça. A vinhaça concentrada pode ser usada como fertilizante enquanto a água recuperada é aproveitada pelas usinas no processo de produção de etanol.

Porém, a concentração da vinhaça consome grande quantidade de energia. Esta energia pode ser produzida pela prévia biodigestão da própria vinhaça. A biodigestão da vinhaça produz a vinhaça biodigerida que mantém suas características de fertilizante e o biogás que pode ser utilizado como fonte de energia para posterior concentração da vinhaça, originando o concentrado de vinhaça biodigerida (CVB).

Sabe-se que tanto a biodigestão quanto a concentração alteram a composição da vinhaça, seja reduzindo o conteúdo de matéria orgânica e água seja adicionando Na, no entanto são escassas pesquisas testando este novo subproduto.

Portanto, é de extrema necessidade o desenvolvimento de pesquisas que avaliem se as diferenças entre CVB e a vinhaça *in natura* podem comprometer o uso deste novo subproduto como fertilizante na cultura da cana-de-açúcar.

### **Vinhaça *in natura***

A produção de etanol no Brasil tem aumentado ao longo dos anos principalmente devido à necessidade de redução do consumo de combustíveis fósseis. A previsão de produção de etanol para a safra 2012/2013 é de 23,49 bilhões de litros (CONAB, 2012). O aumento na produção de etanol acarreta o aumento dos resíduos provenientes deste processo, entre eles a vinhaça.

A vinhaça é o principal efluente das destilarias de álcool, sendo produzidos em média de 12 a 15 L de vinhaça para cada litro de álcool (MARQUES, 2006). Trata-se de uma suspensão aquosa contendo, em média 93% de água e 7% de sólidos. A vinhaça também apresenta elevadas DQO e DBO que lhe conferem potencial altamente poluidor (ROCHA, 2009).

Sua composição química pode ser bastante variável em função de diversos fatores tais como: variedade da cana-de-açúcar, ambiente, maturação, sistema

utilizado no preparo do mosto, método de fermentação adotado, levedura utilizada, dentre outros (ROSSETTO et al., 2008).

Se comparada ao bagaço e a torta de filtro, a vinhaça é o resíduo da produção sucroalcooleira contém maiores concentrações de nutrientes (SILVA, 2009). De maneira geral, os macronutrientes presentes na vinhaça seguem esta ordem de concentração: potássio (K), enxofre (S), cálcio (Ca), nitrogênio (N), magnésio (Mg) e fósforo (P) (ROSSETTO et al. 2008). Já a matéria orgânica presente na vinhaça está em sua maior parte sob a forma de ácidos orgânicos (GIACHINI & FERRAZ, 2009).

A viabilidade da utilização da vinhaça como fertilizante foi demonstrada inicialmente na década de 50. Atualmente toda a vinhaça produzida na industrialização da cana-de-açúcar é utilizada como fonte de nutrientes, matéria orgânica e água no sistema produtivo da cana-de-açúcar (SCHULTZ et al., 2010).

A utilização da vinhaça para fertirrigação é bastante comum nas regiões canavieiras. Resultados satisfatórios em relação às alterações químicas no solo, como o aumento de matéria orgânica, pH, teores de potássio, cálcio e magnésio trocáveis são observados (BEBÉ et al., 2009).

Por todos esses motivos, a CETESB determinou que a dosagem para a aplicação de vinhaça *in natura* para enriquecimento do solo agrícola deverá ser calculada considerando a fertilidade do solo, a concentração de potássio na vinhaça e a extração média desse elemento pela cultura. A concentração máxima de potássio no solo não poderá exceder 5% da Capacidade de Troca Catiônica – CTC. Quando esse limite for atingido, a aplicação de vinhaça *in natura* ficará restrita à reposição desse nutriente em função da extração média pela cultura, que, no caso da cana-de-açúcar, foi considerado 185kg de K<sub>2</sub>O por hectare por corte (CETESB, 2006).

Estudando os efeitos da aplicação da vinhaça em longo prazo Canellas et al. (2003) avaliaram o solo de uma região em que se cultivava cana fertilizada com vinhaça há 35 anos. Os autores verificaram que a adição da vinhaça promoveu acréscimo nos teores de carbono orgânico, macronutrientes e micronutrientes do solo, com melhoria na qualidade da matéria orgânica devido ao aumento do conteúdo de substâncias húmicas.

Avaliando os benefícios à cultura, Medina et al. (2002), testaram doses de vinhaça (0, 150, 300, 450 e 600 m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup>) na fertirrigação de cana-de-açúcar. Os autores observaram que, independente da dose, a aplicação de vinhaça aumentou a quantidade total de raízes principalmente na camada de 0,0 - 0,25 m de profundidade e as doses de 300 à 450 m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup> promoveram maior rendimento de colmos.

No entanto, Paulino et al., (2002) relataram que a utilização de doses intermediárias de vinhaça (300 e 450 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>) na fertirrigação de cana-de-açúcar tem mostrado os melhores índices de produtividade agrícola e industrial.

### **Biodigestão e concentração da vinhaça**

Além da utilização como fertilizante, existem pesquisas que sugerem outros usos para vinhaça, como na construção civil para fabricação de tijolos denominados solo-vinhaça (ROLIM, 1996), como componente de ração animal (ROCHA, 2009) e na produção de biogás (ALONSO, 2006). A principal é a biodigestão anaeróbia da vinhaça que resulta na formação de dois produtos: o biogás e a vinhaça biodigerida (SZYMANSKI et al., 2010).

A biodigestão tem como objetivos o tratamento de efluentes para saneamento ambiental e a produção de energia na forma de biogás. O biogás é produzido pela decomposição da matéria orgânica por micro-organismos anaeróbios e é uma forma renovável de energia, sua produção promove a valorização do resíduo além de reduzir os gases de efeito estufa (ROCHA, 2009).

Alguns fatores como pH e as necessidades nutricionais dos micro-organismos podem influenciar o processo de biodigestão. Portanto, durante a biodigestão é feita a correção do pH pela adição de uma substância alcalina, como o NaOH a 50%. Alguns nutrientes, como nitrogênio e fósforo, também podem ser fornecidos baseando-se na caracterização físico-química da vinhaça (ROCHA, 2009).

O processo de biodigestão da vinhaça reduz a sua carga orgânica, mas mantém seu poder fertilizante (LUZ et al., 2010). A matéria orgânica presente na vinhaça é degradada em compostos mais simples e facilmente disponíveis, tornando

os nutrientes parcialmente solubilizados. Além disso, promove redução da relação C/N favorecendo sua aplicação como biofertilizante (CORTEZ et. al, 2007).

Outras vantagens da biodigestão são: o baixo consumo de energia, a pequena produção de lodo (descarte), a eficiência na redução da carga orgânica (diminuindo o potencial poluidor) e a produção de energia através do biogás (FREIRE & CORTEZ, 2000).

Apesar de todos os benefícios do uso da vinhaça *in natura* ou da vinhaça biodigerida como fertilizante, este ainda é limitado a regiões próximas das usinas devido ao alto custo de transporte. Uma possibilidade para viabilizar o transporte e uso da vinhaça em áreas mais distantes das usinas é a sua concentração.

Existem vários métodos citados em literatura para a concentração da vinhaça como a floculação, sedimentação e filtração, evaporação, bioconcentração, nano filtração e osmose inversa, microfiltração seguida de nano filtração, etc (GOMES et al., 2011). No entanto, o mais utilizado é o método de evaporação (SILVA, 2012).

O objetivo da concentração da vinhaça é a extração do excesso de água sem perda do material sólido dissolvido. Este processo resulta em uma considerável redução do volume de vinhaça sendo uma opção para reduzir os custos com o transporte.

O grau de concentração da vinhaça é medido pelo teor de sólidos solúveis expressos em graus Brix. Os graus Brix medem o total de sólidos solúveis dissolvidos em um líquido. A vinhaça tem sido concentrada a 50 - 60 ° Brix, ou seja, cada 100g de vinhaça concentrada apresenta 50 a 60 g de sólidos solúveis e o restante de água (40 – 50 g). Os graus Brix são medidos por um sacarímetro ou em um refratômetro e também podem ser representados através de porcentagem de peso (% peso/peso) (ROCHA, 2009). O concentrado final obtido é adequado para o uso em solo em termos de demanda química de oxigênio e teores de sólidos totais (GOMES et al., 2011)

A concentração da vinhaça além de reduzir o seu volume pode originar subprodutos interessantes sob o ponto de vista econômico. Quando concentrada até 60° Brix a vinhaça pode ser empregada como fertilizante, complemento para ração animal ou então pode ser incinerada para geração de vapor e recuperação econômica das cinzas que também são usadas como fertilizante (ROCHA, 2009).

Apesar das vantagens de se concentrar a vinhaça, o processo de evaporação é grande consumidor de energia (SILVA, 2012). A energia produzida pela biodigestão da própria vinhaça pode ser utilizada para a sua concentração. Este processo de biodigestão e depois concentração da vinhaça da origem ao Concentrado de vinhaça biodigerida (CVB).

Apesar de muitos autores defenderem que a biodigestão e concentração da vinhaça não altera seu potencial como fertilizante, são escassos estudos comparando o CVB com a vinhaça *in natura*.

A concentração reduz o conteúdo de água da vinhaça que antes era usada para fertirrigação da cana-de-açúcar e a biodigestão reduz o conteúdo de matéria orgânica, pode alterar a concentração de nutrientes e geralmente altera o pH da vinhaça devido à adição de hidróxido de sódio ou de cálcio para estabilização do material no biodigestor, portanto é comum as vinhaças biodigeridas apresentarem pH superior a 7 e elevada concentração de Na.

Uma questão a ser respondida é se as mudanças que ocorrem com a vinhaça *in natura* decorrentes do processo de biodigestão e concentração podem influenciar a nutrição das plantas e/ou afetar a fertilidade do solo e, dessa forma determinar a viabilidade de seu uso na agricultura.

## **Cana-de-açúcar**

Atualmente, a redução na emissão dos gases de efeito estufa é uma preocupação mundial. Uma alternativa é a substituição parcial do uso de combustíveis fósseis pelos combustíveis renováveis, como o etanol. A cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) é uma excelente opção como matéria prima para produção do etanol devido à alta produção de biomassa por área. Seu cultivo tem grande importância na agricultura brasileira e um futuro promissor para a agricultura mundial (SOUZA et al., 2005).

No Brasil, a produção da cana-de-açúcar tem grande importância econômica, social e ambiental devido as grandes áreas plantadas. Essa atividade além de produzir matéria-prima para as agroindústrias do açúcar, do álcool e da aguardente, também é grande geradora de empregos e renda no meio rural (SILVA et al., 2010).

A área de cana-de-açúcar colhida, destinada à atividade sucroalcooleira, está estimada em 8.167,5 mil hectares, distribuída em todos estados produtores. O estado de São Paulo é o maior produtor com 53,60% (4.377,66 mil hectares), seguido por Minas Gerais (8,65% - 706,58 mil hectares), Paraná (7,51% - 613,67 mil hectares), Goiás (7,34% - 599,31 mil hectares), Alagoas (5,37% - 438,57 mil hectares), Mato Grosso do Sul (4,92% - 401,81 mil hectares) e Pernambuco (4,21% - 343,51 mil hectares) (CONAB, 2012).

A adequada nutrição da cana-de-açúcar é um dos fatores conhecidamente responsável pela sua alta produção, tendo em vista a baixa fertilidade natural dos solos brasileiros (PRADO et al., 2002). Trata-se de uma cultura que apresenta alta demanda por nutrientes devido à elevada produção de biomassa por área cuja maior parte é removida no processo da colheita (ALVAREZ et al., 1991).

Entretanto, a cadeia de produção do açúcar, álcool e água ardente gera grande quantidade de resíduos orgânicos, como vinhaça, torta de filtro, cinzas e mais recentemente a palha, devido ao processo de colheita sem a queima. Estes resíduos retornam ao sistema produtivo da cana-de-açúcar e promovem a ciclagem de nutrientes e matéria orgânica contribuindo para a manutenção da fertilidade do solo e sustentabilidade ao processo produtivo (ROSSETO et al., 2008 b).

Dentre os nutrientes, o potássio é o mais absorvido pela cana-de-açúcar. A maior parte do potássio absorvido pela cultura retorna ao sistema produtivo pela aplicação de resíduos, principalmente a vinhaça, como fertilizante (ROSSETO et al., 2008).

Brito et al. (2005) verificaram que a aplicação de doses crescentes de vinhaça aumentam a concentração de K trocável em diferentes tipos de solos, e em solos argilosos este aumento ocorre principalmente nas camadas mais superficiais. No entanto, tanto o excesso como a falta deste nutriente pode diminuir a qualidade da matéria prima, influenciando o teor de sacarose (Pol) e de fibra industrial da cana-de-açúcar Moura et al., 2005.

Pesquisas realizadas com diferentes variedades de cana-de-açúcar mostram que a aplicação excessiva da vinhaça pode atrasar a maturação, reduzir o teor de sacarose e de fibras e promover o acúmulo de cinzas no caldo prejudicando a matéria prima, principalmente para a produção de açúcar (ROSSETO et al. (2008).

Paulino et al. (2002), avaliando em campo a influência de doses de vinhaça nas produções agrícola e industrial da cana-de-açúcar, concluíram que as doses 300 e 450 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, geraram os melhores índices de produtividades agrícola e industrial para a cultura.

Em estudos com doses de vinhaça (150, 300, 450 e 600 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> e testemunha) no enraizamento e produtividade de cana cultivar RB 785148, Medina et al. (2002) verificaram que, independentemente da dose, a aplicação de vinhaça aumenta a produtividade. Entretanto, as doses de 300 e 450 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> proporcionaram produtividades significativamente maiores que a testemunha, sendo a dose de 300 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> a mais econômica.

Contudo, Spironello et al. (1997) relatam que a dose de vinhaça a ser aplicada no canavial pode variar de 60 a 250 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, dependendo da sua concentração de K<sub>2</sub>O. Korndörfer et al. (1999) afirmam que a quantidade de vinhaça a ser aplicada depende da CTC potencial do solo, da capacidade de extração da cana-de-açúcar e do teor de K<sub>2</sub>O da vinhaça, conforme regulamentado pela CETESB (2006), e por isso recomendam que seja calculada pela fórmula a seguir, mas ressaltam que a quantidade não deve ultrapassar 700 kg/ha de K<sub>2</sub>O para solos em que a CTC seja maior que 15 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>.

$$\text{Dose de vinhaça} = (\text{CTC} \times 94) + 185 / \text{Teor de K}_2\text{O da vinhaça (kg m}^{-3}\text{)}$$

Onde: CTC x 94 = capacidade de retenção de K (5 a 6% da CTC)

185 = capacidade de extração da cana (K<sub>2</sub>O, em kg ha<sup>-1</sup>)

Em vista das diferentes doses de vinhaça recomendadas pelos autores citados, fica demonstrado o quanto é necessário estudar a esse respeito, especialmente se tratando do concentrado de vinhaça biodigerida.

## REFERÊNCIAS

ALONSO, O. Estratégia para melhorar a qualidade da cana-de-açúcar para a indústria. In: SEGATO, S. V.; PINTO, A. S.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J. C. M. **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba, 2006.

ALVAREZ, R; WUTKE, A. C. P; ARRUDA, H. V; RAIJ, B. V; GOMES, A. C; ZINK, F. **Adubação da cana-de-açúcar : XIV. Adubação NPK em Latossolo roxo**. *Bragantia* [online]. 1991, vol.50, n.2, pp. 359-374. ISSN 0006-8705.

BEBÉ ,F. V; ROLIM, M. M; PEDROSA, E. M. R; GEORGE B. SILVA, G. B; OLIVEIRA, V. S. Avaliação de solos sob diferentes períodos de aplicação com vinhaça. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.13, n.6, p.781–787, 2009.

BRITO, F. L.; ROLIM, M. M.; PEDROSA, E. M. R. Teores de potássio e sódio no lixiviado e em solos após a aplicação de vinhaça. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.9, (Suplemento), p.52-56, 2005

CANELLAS, L. P; VELLOSO, A. C. X; MARCIANO, C. R; RAMALHO, J. F. G. P; RUMJANEK, V. M; REZENDE, C. E; SANTOS, G. A. Propriedades químicas de um cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhico e adição de vinhaça por longo tempo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.27, p.935-944, 2003.

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo. **Vinhaça – critérios e procedimentos para aplicação no solo agrícola**. **Norma Técnica P4.231**, 2006 disponível em:< <http://www.ambientenet.eng.br/TEXTOS/VINHA%C3%87A.pdf> > Acesso em 2012.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra Brasileira; Cana-de-açúcar, safra 2012/2013**. Segundo levantamento: agosto 2012. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 20 SET. 2012.

CORTEZ, L. A. B.; SILVA, A. ; LUCAS JUNIOR, J. de ; JORDAN, R. A.; CASTRO, L. R. de. Cap. 15: Biodigestão de Efluentes. In: CORTEZ, L. A. B. (Coord.) ; LORA, E. S. (Coord.) **Biomassa para Energia**. Campinas: Editora da UNICAMP, 2007.

FREIRE, W. J.; CORTÊZ, L. A. B. **Vinhaça de cana-de-açúcar**. Guaíba: Agropecuária, 2000. 203p.

GIACHINI, C. F; FERRAZ, M. V. Benefícios da utilização de vinhaça em terras de plantio de cana-de-açúcar - revisão de literatura. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**. Ano VII, nº15, 2009.

GOMES, M. T. M.S.; EÇA, K. S.; VIOTTO, L. A. Concentração da vinhaça por microfiltração seguida de nano filtração com membranas. **Pesquisa agropecuária brasileira**. Brasília, v.46, n.6, p.633-638, jun. 2011

KORNDÖRFER, G. H.; RIBEIRO, A. C.; ANDRADE, L. A. B. Cana- de-acúcar. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V, V. H. **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais, 5º aproximação**. 20º Ed. Viçosa, 1999.

LUZ, T. P. A.; BONAN, L. F. B.; PASSOLONGO, R.; RAMOS, R. A. V. Avaliação termodinâmica e termoeconômica do aproveitamento energético da vinhaça num sistema de cogeração de energia de uma usina sucroalcooleira. **9th Brazilian Conference on Dynamics Control and their Applications**. Serra Negra- SP, 2010

MARQUES, M. O. Aspectos técnicos e legais da produção, transporte e aplicação de vinhaça. IN: SEGATO, S. V.; PINTO, A. S.; JANDIROBA, E.; NÓBREGA, J. C. M. **Atualização em produção de Cana-de-açúcar**. 415 p. Piracicaba, 2006.

MEDINA, C. C; NEVES, C. S. V. J; FONSECA, I. C. B; TORRETI, A. F. Crescimento radicular e produtividade de cana-de-açúcar em função de doses de vinhaça em fertirrigação. **Semina: Ciências Agrárias**.v. 23, n. 2, p. 179-184, 2002.

MOURA, M. V. P. S.; FARIAS, C. H. A.; AZEVEDO, C. A. V.; NETO, J. D.; AZEVEDO, H. M.; PORDEUS, R. V. Doses de adubação nitrogenada e potássica em cobertura na cultura da cana-de-açúcar, primeira soca, com e sem irrigação. **Ciência agrotecnologia**. 2005, vol.29, n.4, pp. 753-760.

PAULINO, A. F.; MEDINA, C. C; ROBAINA, C. R. P; LAURANI, R. A. Produções agrícola e industrial de cana-de-açúcar submetida a doses de vinhaça. **Semina: Ciências Agrárias**. v. 23, n. 2, p. 145-150, 2002.

PRADO, R. M.; FERNANDES, F. M.; NATALE, W. Calcário e escória de siderurgia avaliados por análise foliar, acúmulo, e exportação de macronutrientes em cana-de-açúcar. **Scientia Agricola**. v.59, n.1, p.129-135, Piracicaba, 2002

ROCHA, M. H. Uso da análise do ciclo de vida para a comparação do desempenho ambiental de quatro alternativas para tratamento da vinhaça. **Dissertação**. Universidade federal de Itajubá - Instituto de engenharia mecânica. Itajubá, 2009. 263p.

ROLIM, M. M. Avaliação físico-mecânica do material solo-vinhaça concentrada e sua utilização para fins de fabricação de tijolos. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Economia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1996. 90p.

ROSSETTO, R.; DIAS, F.L.F.; VITTI, A.C.; TAVARES, S. Potássio In: DINARDO-MIRANDA, L.L.; VASCONCELOS, A.C.M. de; LANDELL, M.G. A. **Cana-de-açúcar**. Campinas, Instituto Agrônômico, v.1, p. 289-312. 2008.

ROSSETTO, R.; DIAS, F.L.F.; VITTI, A.C.; Fertilidade do solo, nutrição e adubação In: DINARDO-MIRANDA, L.L.; VASCONCELOS, A.C.M. de; LANDELL, M.G. A. **Cana-de-açúcar**. Campinas, Instituto Agrônômico, v.1, p. 221-238. 2008 b.

SCHULTZ, N.; LIMA, E.; PEREIRA, M. G.; ZONTA, E. Efeito residual da adubação na cana-planta e da adubação nitrogenada e potássica na cana-soca colhidas com e sem a queima da palhada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.34, p.811-820, 2010.

SILVA, A. Vinhaça concentrada de cana-de-açúcar: monitoramento das propriedades químicas do solo e mineralização líquida de nitrogênio. **Tese**. Universidade de São Paulo – Centro de energia nuclear na agricultura. Piracicaba, 2012 107p.

SILVA, M. A.; CATO, S. C.; COSTA, A. G. F. Produtividade e qualidade tecnológica da soqueira de cana-de-açúcar submetida à aplicação de biorregulador e fertilizantes líquidos. **Ciência Rural**, v.40, n.4, p.774-780, Santa Maria, 2010.

SILVA, V. L. Estudo econômico das diferentes formas de transporte de vinhaça em fertirrigação na cana-de-açúcar. **Tese**. Universidade Estadual Paulista “Julio De Mesquita Filho” - UNESP/FCAV, Jaboticabal-SP, 2009. 54 p.

SOUZA, Z. M.; PAIXÃO, A. C. S.; PRADO, R. M.; CESARIN, L. G.; SOUZA, S. R. Manejo de palhada de cana colhida sem queima, produtividade do canavial e qualidade do caldo. **Ciência Rural**, v35, n.5, p.1062-1068. Santa Maria, 2005

SPIRONELLO, A.; RAIJ, B. van; PENATTI, C. P.; CANTARELLA, H.; MORELLI, J. L.; ORLANDO FILHO, J.; LANDELL, M. G. A.; TOSSETO, R. Cana-de-açúcar. In RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2ed, Campinas:IAC, Boletim Técnico n.100, 1997. 285p., p.237-239.

SZYMANSKI, M. S. E.; BALBINOT, R.; NAGEL, W. Biodigestão anaeróbia da vinhaça: aproveitamento energético do biogás e obtenção de créditos de carbono – estudo de caso. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 31, n. 4, p. 901-912, 2010.

## CAPÍTULO 2 – USO DO CONCENTRADO DE VINHAÇA BIODIGERIDA: EFEITOS NO SUBSTRATO E EM MUDAS DE CANA-DE-AÇÚCAR

**RESUMO** - A biodigestão e concentração da vinhaça é uma opção para seu melhor aproveitamento. Entretanto, o subproduto obtido é distinto da vinhaça original tradicionalmente usada na fertirrigação da cana-de-açúcar. Portanto, o objetivo deste trabalho foi comparar o efeito do Concentrado de vinhaça biodigerida (CVB) com a vinhaça *in natura* (VIN) e com o KCl como fertilizante no plantio de cana-de-açúcar, na presença e ausência de adubação nitrogenada. Os tratamentos constaram de três fontes de potássio: vinhaça *in natura* (VIN), CVB e KCl na dose de 450 kg de K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> cada; um tratamento controle (sem aplicação de K) e 2 níveis de nitrogênio (0 e 30 kg ha<sup>-1</sup>) em esquema fatorial 4 X 2 com 4 repetições no delineamento inteiramente casualizado. Utilizou-se mudas de cana-de-açúcar produzidas a partir de míni toletes de 5 cm de comprimento, contendo uma gema. As mudas foram transplantadas em vasos de 18 L contendo uma mistura de areia e Latossolo vermelho eutrófico (2:1). Após 60 dias em casa de vegetação foram avaliadas a altura das plantas, a área foliar, a massa seca da parte aérea, a massa seca do sistema radicular e a massa seca total, bem como os teores foliares e o acúmulo de macronutrientes e micronutrientes e o acúmulo de Na. Também foram avaliadas as alterações nas características químicas do substrato. O uso do Concentrado de vinhaça biodigerida (CVB) como fertilizante no plantio de cana-de-açúcar, apresentou resultados semelhantes aos da vinhaça *in natura* (VIN) e do KCl tanto na ausência como na presença de N.

**Palavras-Chave** - Cana-planta. Biodigestão. Vinhoto.

## USE OF CONCENTRATED BIODIGESTED VINASSE: EFFECTS IN THE SUBSTRATE AND SUGARCANE'S NUTRITION

**Abstract** - The biodigestion and concentration of vinasse is an option for its best use. However, the product obtained is different from the original vinasse traditionally used in sugarcane fertilization. Therefore, the objective of this study was to compare the effect of concentrated biodigested vinasse (CBV) with other potassium fertilizers in plants of sugarcane in the presence and absence of nitrogen fertilizer. Treatments consisted of three sources of potassium: CBV, *in natura* vinasse (INV) and KCl at a dose of 450 kg K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> each; one control treatment (no K application) and two nitrogen levels (0 and 30 kg ha<sup>-1</sup>) in 4 X 2 factorial design with four replications in completely randomized design. Seedlings of sugarcane produced from mini cuttings of 5 cm long containing one sprout were used. The seedlings were transplanted into 18 L pots containing a mixture of sand and oxisol (2:1). After treatment application, plants were maintained for 60 days in a greenhouse. At the end of the experiment, plant height, leaf area, dry mass of leaves, dry mass of roots and total dry mass, Na accumulation, macronutrients and micronutrients contents and accumulation and changes in chemical characteristics of the substrate were evaluated. The application of concentrated biodigested vinasse (CBV) like fertilizer in sugarcane showed similar results to the *in natura* vinasse (INV) and KCl, in the presence or absence of N.

**Key words** – Sugarcane. Biodigestion. Stillage.

## Introdução

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar e o segundo maior produtor de etanol. Para a safra 2012/2013 a produção de etanol foi estimada em 23.491.182,6 bilhões de litros (CONAB, 2012). Para cada litro de etanol são produzidos em média de 12 a 15 litros de vinhaça (MARQUES, 2006).

A vinhaça possui alta concentração de matéria orgânica e nutrientes, principalmente K. Sua utilização para fertirrigação foi normatizada pela CETESB (2006) e é muito comum nas regiões canavieiras, apresentando resultados positivos à fertilidade do solo, como o aumento da matéria orgânica, do pH e dos teores de potássio, cálcio e magnésio trocáveis (BEBÉ et al., 2009; BRITTO et al., 2009). Entretanto, devido ao elevado conteúdo de água, sua aplicação em áreas distantes das destilarias é limitada pelo alto custo do transporte.

A concentração da vinhaça possibilita seu transporte, mas exige elevado gasto de energia. A possibilidade da utilização da vinhaça como matéria prima para produção de biogás foi relatada por Marques (2006) e a energia produzida pode ser utilizada para sua concentração, originando o Concentrado de vinhaça biodigerida (CVB), possibilitando o transporte e utilização da vinhaça a maiores distâncias.

Entretanto, a biodigestão e concentração da vinhaça, além de reduzir o conteúdo de água e matéria orgânica, pode alterar o conteúdo de nutrientes. Na maioria das vezes o pH do material no biodigestor é elevado pela adição de hidróxido ou bicarbonato de sódio. Nestes casos o CVB passa a ter elevada concentração de Na.

Uma questão a ser respondida é se estas mudanças no CVB podem influenciar o seu uso como fertilizante e se a aplicação de nitrogênio afeta os seus efeitos, portanto o objetivo deste trabalho é comparar o CVB com a vinhaça *in natura* (VIN) e o KCl como fertilizante na cultura da cana-de-açúcar em estágio inicial de desenvolvimento, na ausência e na presença de adubação nitrogenada.

## Material e métodos

O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Departamento de Tecnologia da UNESP-FCAV. Foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 4 x 2. Os tratamentos constaram de fontes de potássio (KCl, vinhaça *in natura* (VIN), CVB, equivalente a 450 kg de K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>) e uma testemunha (sem aplicação de K) e 2 níveis de nitrogênio (0 e 30 kg ha<sup>-1</sup>) com 4 repetições, totalizando 32 unidades experimentais.

Foram utilizadas mudas de cana-de-açúcar cultivar IACSP93-3046, obtidas pelo plantio de minitoletes de 5cm de comprimento, contendo 1 gema, em copos descartáveis com 500 cm<sup>3</sup> de areia. Essas mudas foram conduzidas por 60 dias em casa de vegetação.

Antes do transplântio, o substrato foi preparado misturando (2:1) areia fina e Latossolo vermelho eutrófico (pH em CaCl = 5,1; MO = 15 g dm<sup>-3</sup>; P resina = 12 mg dm<sup>-3</sup>; K = 1,8, Ca = 22, Mg = 9, H+Al = 31, SB = 32,8, T= 63,8 (mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) e V = 51%). O solo recebeu a aplicação de calcário (PRNT 132) para atingir 60 % da saturação por bases. Após 60 dias da aplicação do calcário o solo foi passado em peneira de 4mm de malha e misturado com a areia. As características do substrato final foram: pH em CaCl = 5,7; MO = 4 g dm<sup>-3</sup>; P resina = 12 mg dm<sup>-3</sup>; K = 0,9, Ca = 16, Mg = 7, H+Al = 11, SB = 23,9, T= 34,9 (mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) e V = 68%.

Feita a mistura, o substrato foi transferido para vasos plásticos de 18L. No momento do preenchimento dos vasos foi incorporado ao substrato: 14,06 g de superfosfato simples, equivalente a 180 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, e nos vasos correspondentes aos tratamentos com aplicação de nitrogênio foi incorporado 0,85g de ureia, equivalente a 30 kg ha<sup>-1</sup> de N (SPIRONELLO et al. 1997).

As mudas mais uniformes foram selecionadas para o transplântio. Os tratamentos correspondentes às fontes de potássio foram aplicados 10 dias após o transplântio das mudas, para garantir que estas já estivessem bem estabelecidas. A dose de potássio aplicada através da vinhaça foi de três vezes o recomendado para adubo mineral, seguindo a recomendação de Rossetto et al., (2008), totalizando 450 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O. Para atender esta recomendação, foram aplicados 2L de VIN; 0,196 L de CVB e 9,7g de KCl. O CVB original e o KCl, correspondentes a dose de K

recomendada, foram diluídos em 2L de água para igualar ao volume da VIN e evitar diferença de umidade entre os tratamentos entre os tratamentos.

O CVB e a VIN utilizadas foram de origens diferentes e as características quanto a concentração de nutrientes e pH estão apresentadas na tabela 1.

**Tabela 1.** Características da vinhaça *in natura* (VIN) e do concentrado de vinhaça biodigerida (CVB) original e diluído a partir da concentração de K para igualar a VIN. Jaboticabal-SP, 2012.

	pH	C	N	P	K	Ca	Mg	S	Na	Fe	Mn	Zn
		g dm <sup>-3</sup>								mg dm <sup>-3</sup>		
Vinhaça <i>in natura</i> (VIN)	4,00	18	0,14	0,05	2,30	0,34	0,17	0,04	0,10	22	9	3
Concentrado de vinhaça biodigerida (CVB)	8,80	15	1,48	1,19	23,75	3,54	1,25	0,98	14,58	475	0	71
CVB diluído (10,3 x)	7,8	1,46	0,14	0,11	2,30	0,34	0,12	0,09	1,41	46	0	6,9

Após a aplicação dos tratamentos as plantas foram conduzidas por 60 dias, efetuando regas diárias. A quantidade de água aplicada foi determinada por pesagem, corrigindo-se para aproximadamente 60% da capacidade de retenção de água do substrato.

Ao término da condução do experimento avaliou-se a altura das plantas, correspondente ao comprimento entre a superfície do solo até a inserção da folha +1 (BENINCASA, 2003); número (total) de folhas, incluindo as que senesceram, número de perfilhos e área foliar. A área foliar foi calculada através da fórmula:  $AF = C \times L \times 0,75 \times (N + 2)$ , utilizando-se o comprimento (C) e a maior largura (L) da folha +3, fator de forma 0,75, número de folhas totalmente abertas (N) com pelo menos 20% de área verde (folha 0 até folha +7) e fator de correção 2, conforme metodologia de Hermann & Câmara (1999).

Após estas avaliações, para o diagnóstico dos teores de nutrientes, a folha +1 foi retirada descartando a nervura central, como recomendado por Raij & Cantarella (1997), no entanto optou-se por não descartar as extremidades da folha devido a pouca quantidade de material vegetal. A seguir as plantas foram coletadas,

cortando-se o colmo rente ao solo com o auxílio de um estilete, lavadas em água corrente e depois guardadas em sacos de papel previamente identificados.

O substrato dos vasos foi virado sobre peneiras e homogeneizado, foi retirada uma amostra para análise de fertilidade (RAIJ et al., 2001) e o restante do substrato foi removido com jato d'água para obtenção do sistema radicular. O sistema radicular foi lavado novamente em água com detergente a base de Linear Alquil Benzeno Sulfonato de Sódio (0,01% v/v) e depois em água corrente e posteriormente acondicionado em sacos de papel identificados.

Todo material vegetal (folha +1, parte aérea e sistema radicular) foi submetido à secagem até peso constante em estufa com circulação forçada de ar, à temperatura de 60-70°C. Em seguida, tanto a parte aérea quanto o sistema radicular foram pesados, separadamente, em balança semi-analítica para determinação da massa seca de cada parte e a massa seca total por planta.

Para determinação dos teores e acúmulo de nutrientes, a folha +1, a parte aérea e sistema radicular, depois de secos em estufa, foram moídos, separadamente, em moinho do tipo Willey com peneira de malha de 20 mesh. O material moído foi submetido à digestão via úmida para determinação dos teores de nutrientes (sulfúrica para a determinação de N e nítrico-perclórica para determinação de K, P, S, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn e Cu) segundo EMBRAPA (2009).

Os resultados foram submetidos à análise de variância pelo teste F e as médias dos tratamentos comparadas pelo teste de Tukey (5% de probabilidade) segundo indicações de Banzato & Kronka (2006).

## **Resultados e discussão**

### **Alterações nas características do substrato**

Os efeitos observados no substrato ao término do experimento foram diferenças no pH, acidez potencial (H+Al) e capacidade de troca catiônica (T), devido à aplicação das fontes de K, e diferenças na matéria orgânica (MO), soma de bases (SB) e T, em função da aplicação de nitrogênio (Tabela 2).

**Tabela 2:** Efeito das fontes de potássio e dos níveis de nitrogênio no pH (CaCl), MO (g dm<sup>-3</sup>), H+Al, SB e T (mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) do substrato. Jaboticabal-SP, 2012.

Fontes de K	pH	MO	H+Al	SB	T
KCl	5,8 c	4,00 a	12,75 a	24,3 a	37,1 a
V IN	6,1 ab	4,12 a	10,87 bc	24,5 a	35,3 a
CVB	6,3 a	4,00 a	10,00 c	21,6 a	31,6 b
Controle	5,9 bc	3,75 a	12,00 ab	22,9 a	34,9 ab
Teste F	10,79**	0,58 <sup>ns</sup>	6,85**	2,51 <sup>ns</sup>	5,70**
DMS	0,21	0,81	1,81	3,35	3,74
Nitrogênio	pH	MO	H+Al	SB	T
30 kg ha <sup>-1</sup>	6,0 a	4,19 a	11,00 a	22,4 b	33,4 b
0 kg ha <sup>-1</sup>	6,0 a	3,75 b	11,81 a	24,3 a	36,1 a
Teste F	0,12 <sup>ns</sup>	4,45*	3,07 <sup>ns</sup>	4,85*	7,97**
DMS	0,11	0,43	0,96	1,77	1,98
Teste F (F. de K x N)	0,71 <sup>ns</sup>	0,58 <sup>ns</sup>	0,74 <sup>ns</sup>	1,12 <sup>ns</sup>	0,89 <sup>ns</sup>
CV (%)	2,5	14,8	11,5	10,4	7,8

<sup>ns</sup> = não significativo; \*\*, \*significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente.

Médias seguidas pela mesma letra, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A aplicação do CVB e da VIN promoveu elevação do pH do substrato. O aumento no pH pela aplicação de vinhaça *in natura* foi relatado por Bebé et al. (2009) e por Britto et al. (2009). Ao mesmo tempo, o substrato que recebeu aplicação de CVB ou VIN apresentou menor concentração de H+Al.

A elevação do pH e redução de H+Al pela aplicação de vinhaça é atribuída ao seu conteúdo de MO, que possui potencial redutor (BRITTO et al., 2009). Apesar de o CVB apresentar menor concentração de MO quando comparado a VIN, este possui pH acima de 7,0 e dessa forma pode contribuir para elevação do pH do substrato.

O menor valor de T com a aplicação do CVB é consequência da menor concentração de H+Al e menor SB neste tratamento (Tabela 2), pois o T é calculado pela soma desses parâmetros.

A maior concentração de MO no substrato foi obtida com a aplicação de nitrogênio. Isso pode ter ocorrido porque o nitrogênio mineral aplicado no solo passa rapidamente para forma orgânica devido à rápida incorporação pelos microorganismos (PRADO, 2009). Sabe-se que 95 a 98% do nitrogênio presente no solo

encontram-se na forma orgânica ligada ao carbono orgânico, portanto quando ocorre aumento no N-orgânico ocorre também aumento na concentração do C-orgânico (URQUIAGA et al., 2005).

A menor SB no substrato que recebeu a aplicação de nitrogênio pode ser reflexo da maior absorção de K, Ca e Mg, pois, as plantas que receberam a aplicação de N apresentaram maior acúmulo dessas bases. Em função da menor SB, os tratamentos com nitrogênio apresentaram menor T.

A saturação por bases (V%) não sofreu alterações pela aplicação dos tratamentos ( $p>0,05$ ), com média de 67,12%.

As concentrações de K, Ca e Mg no substrato foram influenciadas pelas fontes de K isoladamente (Tabela 3).

**Tabela 3:** Efeito das fontes de potássio e dos níveis de nitrogênio na concentração de K, Ca e Mg ( $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ ) no substrato. Jaboticabal-SP, 2012.

Fontes de K	K	Ca	Mg
KCl	5,2 a	13 ab	7 ab
V IN	4,7 a	13 ab	7 ab
CVB	4,3 a	11 b	6 b
Controle	0,6 b	15 a	8 a
Teste F	19,91**	5,09**	3,59*
DMS	1,84	2,31	1,53
Níveis de Nitrogênio	K	Ca	Mg
30 $\text{kg ha}^{-1}$	3,9 a	12 a	6 b
0 $\text{kg ha}^{-1}$	3,6 a	13 a	7 a
Teste F	0,39 <sup>ns</sup>	4,00 <sup>ns</sup>	6,51*
DMS	0,97	1,23	0,81
Teste F (F. de K x N)	1,30 <sup>ns</sup>	1,19 <sup>ns</sup>	0,88 <sup>ns</sup>
CV (%)	35,8	13,1	16,4

<sup>ns</sup> = não significativo; \*\*, \*significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente.

Médias seguidas pela mesma letra, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O substrato que recebeu a aplicação do CVB, VIN e KCl apresentou maior concentração de K que o tratamento controle.

As concentrações de Ca e de Mg no tratamento com CVB foram menores mas não diferiram das concentrações dos tratamentos com VIN e KCl. Essas menores

concentrações ocorreram porque, de modo geral, as plantas acumularam mais Ca e Mg nos tratamentos com as fontes de potássio do que no tratamento controle.

A concentração de Mg no substrato foi influenciada pela aplicação de nitrogênio (Tabela 3). A menor concentração de Mg foi observada no substrato que recebeu a aplicação de N, isto ocorreu porque neste tratamento ocorreu maior acúmulo deste nutriente pelas plantas. Franco et al. (2007) relataram que a aplicação de nitrogênio pode favorecer a absorção de macronutrientes pela cana-de-açúcar, por sinergismo ou pelo maior desenvolvimento do sistema radicular.

### Alterações no crescimento da cana-de-açúcar

O CVB não diferiu ( $p > 0,05$ ) das outras fontes de potássio para os parâmetros: altura de plantas, área foliar e massa seca da parte aérea mostrando ser possível sua utilização como fertilizante na cana-de-açúcar. A adição de nitrogênio, independente das fontes de K, pode incrementar esses parâmetros (Tabela 4).

**Tabela 4:** Efeito das fontes de K e dos níveis de nitrogênio na altura de plantas, área foliar e massa seca da parte aérea (PA) de cana-de-açúcar. Jaboticabal-SP, 2012.

Fontes de K	Altura (cm)	Área Foliar (m <sup>2</sup> vaso <sup>-1</sup> )	Massa Seca PA (g vaso <sup>-1</sup> )
KCl	30,06 a	0,12 a	13,47 a
V IN	31,39 a	0,13 a	15,00 a
CVB	31,84 a	0,15 a	15,23 a
Controle	30,94 a	0,17 a	14,44 a
Teste F	1,25 <sup>ns</sup>	1,56 <sup>ns</sup>	1,06 <sup>ns</sup>
DMS	2,64	0,07	2,96
Níveis de Nitrogênio	Altura (cm)	Área Foliar (m <sup>2</sup> vaso <sup>-1</sup> )	Massa Seca PA (g vaso <sup>-1</sup> )
30 kg ha <sup>-1</sup>	32,07 a	0,18 a	15,75 a
0 kg ha <sup>-1</sup>	30,04 b	0,11 b	13,32 b
Teste F	8,97**	13,59**	10,20**
DMS	1,395	0,037	1,568
Teste F (F. de K x N)	0,31 <sup>ns</sup>	0,16 <sup>ns</sup>	2,62 <sup>ns</sup>
CV (%)	6,16	35,16	14,79

<sup>ns</sup>, \*\* : não significativo e significativo a 1% de probabilidade, respectivamente.

Foi observado efeito da interação entre fontes de K e níveis de nitrogênio na massa seca do sistema radicular (MSR) e na massa seca total (MST) por vaso (Tabela 5).

**Tabela 5:** Efeito da interação entre fontes de potássio e níveis de nitrogênio na massa seca do sistema radicular (MSR) e massa seca total (MST) de plantas de cana-de-açúcar. Jaboticabal-SP, 2012.

Variáveis	Níveis de Nitrogênio	Fontes de K				Teste F	CV (%)
		Controle	KCl	V IN	CVB		
MSR (g)	30 kg ha <sup>-1</sup>	6,28 aA	6,30 aA	5,44 aAB	4,02 bB	4,68*	18,43
	0 kg ha <sup>-1</sup>	4,48 bA	4,75 bA	6,07 aA	5,66 aA	2,28 <sup>ns</sup>	
	Teste F	6,61*	4,9*	0,79 <sup>ns</sup>	5,49*	Teste F	CV (%)
MST (g)	30 kg ha <sup>-1</sup>	22,10 aA	23,46 aA	21,26 aA	18,25 aA	2,25 <sup>ns</sup>	14,76
	0 kg ha <sup>-1</sup>	15,59 bA	17,61 bA	20,72 aA	20,31 aA	2,69 <sup>ns</sup>	
	Teste F	9,8**	7,92**	0,06 <sup>ns</sup>	0,97 <sup>ns</sup>		

<sup>ns</sup> = não significativo; \*\*, \*significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente.

Letras minúsculas na vertical comparam níveis de nitrogênio e maiúsculas na horizontal comparam fontes de potássio.

Médias seguidas pela mesma letra, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Comparando as fontes de K na presença de nitrogênio, observa-se que o CVB apresentou MSR inferior quando aplicado junto com o adubo nitrogenado. Isso pode ter ocorrido devido à alta concentração de Na presente no CVB (Tabela 1) que em conjunto com o adubo nitrogenado pode ter provocado salinidade do ambiente radicular. Resultado semelhante foi observado por Santana et al. (2007), que obtiveram menor massa seca de raízes de cana-de-açúcar em fase inicial de desenvolvimento, quando cultivadas em solo arenoso e irrigadas com água com alto nível salino.

Na ausência de nitrogênio, o CVB não diferiu das outras fontes de K ( $p > 0,05$ ) quanto à produção de massa seca do sistema radicular.

Mesmo apresentando menor MSR na presença de N, o CVB não diferiu ( $p > 0,05$ ) dos demais tratamentos quanto à produção de MST por vaso, tanto na presença quanto na ausência de N, sugerindo a possibilidade de seu uso.

Os níveis de nitrogênio também não influenciaram a produção de MST das plantas que receberam CVB e VIN, mas a sua aplicação incrementou a MSR e a MST das plantas nos tratamentos KCl e controle.

O número de folhas e o número de perfilhos não foram influenciados significativamente pelos tratamentos ( $p>0,05$ ), com média de 16,5 folhas/vaso e 2,6 perfilhos/vaso.

### **Teores de macronutrientes na cana-de-açúcar**

Os teores de K, Ca, e S foram afetados pelas fontes de K, independente dos níveis de nitrogênio (Tabela 6).

O teor de K foi igual entre os tratamentos com CVB, VIN e KCl. Os tratamentos foram aplicados em quantidades equivalentes em K e, apesar de os nutrientes presentes nas vinhaças estarem em maior parte na forma orgânica (MARQUES, 2006), os resultados demonstram que a disponibilização do K para as plantas, tanto das vinhaças quanto do KCl, atenderam a demanda inicial da cultura.

Nos tratamentos com CVB e VIN ocorreram os menores teores foliares de Ca, possivelmente devido a uma competição entre cátions, como o Na, o Mg, além do K, presentes nas vinhaças, no momento da absorção (MALAVOLTA, 2006). Para o teor de S, o CVB não diferiu dos tratamentos com VIN e KCl, mas estes tratamentos apresentaram menores teores de S que a testemunha.

Os níveis de nitrogênio têm efeito, independente das fontes de K, nos teores foliares de N, Ca e S da cana-de-açúcar (Tabela 6). Maiores teores de N e S e menor teor de Ca foram observados com a aplicação do nitrogênio.

O efeito sinérgico entre N e S em plantas de cana-de-açúcar também foi observado por Franco et al. (2007) e explicado por Vitti et al. (2008) que atribuem ao fato de tanto o N quanto o S serem componentes de aminoácidos, dessa forma, o aumento no fornecimento de N implica numa maior utilização do S pela cultura.

**Tabela 6:** Efeito das fontes de potássio e dos níveis de nitrogênio nos teores foliares de K, N, Ca e S em cana-de-açúcar. Jaboticabal-SP, 2012.

Fontes de K	Teor de N (g kg <sup>-1</sup> )	Teor de K (g kg <sup>-1</sup> )	Teor de Ca (g kg <sup>-1</sup> )	Teor de S (g kg <sup>-1</sup> )
KCl	19,93 a	17,97 a b	5,00 a	2,39 b
V IN	20,02 a	19,39 a	3,90 b	2,42 b
CVB	20,60 a	19,06 a	3,96 b	2,56 b
Controle	20,95 a	16,75 b	4,46 a b	3,16 a
Teste F	0,32 <sup>ns</sup>	6,35 <sup>**</sup>	4,33 <sup>*</sup>	18,01 <sup>**</sup>
DMS	3,33	1,85	0,96	0,33
Níveis de Nitrogênio	Teor de N (g kg <sup>-1</sup> )	Teor de K (g kg <sup>-1</sup> )	Teor de Ca (g kg <sup>-1</sup> )	Teor de S (g kg <sup>-1</sup> )
30 kg ha <sup>-1</sup>	21,37 a	18,19	4,07 b	2,77 a
0 kg ha <sup>-1</sup>	19,38 b	18,39	4,59 a	2,49 b
Teste F	5,45 <sup>*</sup>	0,18 <sup>ns</sup>	4,34 <sup>*</sup>	11,10 <sup>**</sup>
DMS	1,76	0,98	0,51	0,17
Teste F (F. de K x N)	0,71 <sup>ns</sup>	1,22 <sup>ns</sup>	1,42 <sup>ns</sup>	1,14 <sup>ns</sup>
CV (%)	11,85	7,32	16,07	9,03

<sup>\*\*</sup>; <sup>\*</sup>significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente.

Médias seguidas pela mesma letra, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Não foi observada diferença significativa ( $p > 0,05$ ) nos teores de P e Mg, com média de 2,14 g kg<sup>-1</sup> e 1,64 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente. É importante lembrar que estes nutrientes foram adicionados igualmente em todos os tratamentos durante o preparo do substrato.

### Acúmulo de macronutrientes na cana-de-açúcar

O acúmulo de K foi influenciado tanto pelas fontes de K quanto pelos níveis de nitrogênio (Tabela 7), separadamente.

O CVB não diferiu da VIN e do KCl quanto ao acúmulo de K. Nos tratamentos com aplicação de nitrogênio foi observado o maior acúmulo de K. Dessa forma, é possível que a aplicação do adubo nitrogenado possa melhorar a absorção do K, pois, segundo Franco et al. (2007) o nitrogênio pode ter efeito sinérgico à absorção de macronutrientes pela cana-de-açúcar e aumentar o acúmulo destes nutrientes na planta.

**Tabela 7:** Efeito das fontes de potássio e dos níveis de nitrogênio no acúmulo de K em cana-de-açúcar. Jaboticabal-SP, 2012.

Fontes de K	Acúmulo de K (g planta <sup>-1</sup> )
KCl	0,50 a
V IN	0,53 a
CVB	0,45 a b
Controle	0,36 b
Teste F	7,81**
DMS	0,1
Níveis de Nitrogênio	Acúmulo de K (g planta <sup>-1</sup> )
30 kg ha <sup>-1</sup>	0,50 a
0 kg ha <sup>-1</sup>	0,42 b
Teste F	7,93**
DMS	0,02
Teste F (F. de K x N)	1,91 <sup>ns</sup>
CV (%)	15,9

\*\* significativo a 1% de probabilidade.

Médias seguidas pela mesma letra, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Foi observado efeito significativo ( $p < 0,05$ ) da interação entre as fontes de K e níveis de nitrogênio para o acúmulo de N, Ca, S e Mg (Tabela 8).

Para o acúmulo de N, as fontes de K não diferiram entre si na presença e na ausência de nitrogênio, no entanto, com a aplicação de nitrogênio o seu acúmulo foi maior nos tratamentos controle, KCl e CVB.

A adição de nitrogênio incrementou o acúmulo de Ca nos tratamentos controle e KCl. Na ausência de nitrogênio as fontes de K e controle não diferiram entre si ( $p > 0,05$ ) quanto ao acúmulo de Ca. O mesmo foi observado para o S, com incremento no acúmulo deste nutriente no tratamento controle na presença de N.

As fontes de K e o tratamento controle não diferiram entre si ( $p > 0,05$ ) quanto ao acúmulo de Mg na ausência e na presença de N, mas a aplicação de nitrogênio aumentou o acúmulo de Mg no tratamento controle.

Foi relatado por Franco et al. (2007) que a aplicação de N pode aumentar o acúmulo de macronutrientes na cana-de-açúcar por proporcionar melhor desenvolvimento radicular da planta e dessa forma aumentar o contato entre raiz e nutriente aumentando sua absorção, ou ainda, por sinergismo entre o N e outros nutrientes.

**Tabela 8:** Efeito da interação fontes de potássio e níveis de nitrogênio no acúmulo de N, Ca, S e Mg em cana-de-açúcar. Jaboticabal-SP, 2012.

Variáveis	Nitrogênio	Fontes de K				Teste F	CV%
		Controle	KCl	V IN	CVB		
Acúmulo de N (g planta <sup>-1</sup> )	30 kg ha <sup>-1</sup>	0,29 a A	0,30 aA	0,24 aA	0,26 aA	2,40 <sup>ns</sup>	15,25
	0 kg ha <sup>-1</sup>	0,15 b A	0,18 bA	0,22 aA	0,20 bA	2,89 <sup>ns</sup>	
Teste F		32,49**	26,01**	1,21 <sup>ns</sup>	5,29*	Teste F	
Acúmulo de Ca (g planta <sup>-1</sup> )	30 kg ha <sup>-1</sup>	0,09 a AB	0,11 aA	0,08 aB	0,08 aB	3,74*	17,59
	0 kg ha <sup>-1</sup>	0,06 bA	0,07 bA	0,07 aA	0,08 aA	2,22 <sup>ns</sup>	
Teste F		9,09 **	12,38**	0,25 <sup>ns</sup>	0,25 <sup>ns</sup>	Teste F	
Acúmulo de S (g planta <sup>-1</sup> )	30 kg ha <sup>-1</sup>	0,082 aA	0,062 aA	0,062 aA	0,057 aB	3,21*	20,31
	0 kg ha <sup>-1</sup>	0,045 bA	0,045 aA	0,065 aA	0,067aA	3,95 <sup>ns</sup>	
Teste F		18,37**	4,00 <sup>ns</sup>	0,08 <sup>ns</sup>	1,30 <sup>ns</sup>	Teste F	
Acúmulo de Mg (g planta <sup>-1</sup> )	30 kg ha <sup>-1</sup>	0,05 aA	0,04 aA	0,04 aA	0,04 aA	2,55 <sup>ns</sup>	19,5
	0 kg ha <sup>-1</sup>	0,03 bA	0,04 aA	0,04 aA	0,04 aA	2,09 <sup>ns</sup>	
Teste F		18,46**	0,18 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>		

<sup>ns</sup> = não significativo; \*\*, \*significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente.

Letras minúsculas na vertical comparam níveis de nitrogênio e maiúsculas na horizontal comparam fontes de potássio.

Médias seguidas pela mesma letra, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O acúmulo de P não foi influenciado pelos tratamentos ( $p > 0,05$ ), com média de 0,04g planta<sup>-1</sup>.

### Acúmulo de Na na cana-de-açúcar

Foi observado efeito significativo ( $p < 0,01$ ) da interação entre fontes de potássio e nitrogênio no acúmulo de Na (Tabela 9). O maior acúmulo de Na foi obtido com a aplicação do CVB na ausência de N. O maior acúmulo Na com aplicação do CVB ocorreu porque esta vinhaça apresenta alta concentração deste elemento em sua composição.

**Tabela 9:** Efeito da interação fontes de potássio e nitrogênio no acúmulo de Na em cana-de-açúcar. Jaboticabal-SP, 2012.

Variável	Nitrogênio	Fontes de K				Teste F	CV (%)
		Controle	KCl	VIN	CVB		
Acúmulo de Na (mg planta <sup>-1</sup> )	30 kg ha <sup>-1</sup>	0,26aAB	0,22aB	0,23aB	0,35bA	5,91**	20,32
	0 kg ha <sup>-1</sup>	0,15bB	0,15aB	0,14bB	0,48aA		
Teste F		10,31**	3,82 <sup>ns</sup>	7,04*	11,70**		

<sup>ns</sup> = não significativo; \*\*significativo a 1% de probabilidade.

Letras minúsculas na vertical comparam níveis de nitrogênio e maiúsculas na horizontal comparam fontes de potássio.

Médias seguidas pela mesma letra, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A presença de Na no CVB não causou prejuízos à cana-de-açúcar neste experimento, no entanto é necessário que o CVB seja testado em campo para aferir este efeito.

### Teores e acúmulo de micronutrientes na cana-de-açúcar

Os tratamentos não influenciaram significativamente ( $p > 0,05$ ) os teores de Zn (14 mg kg<sup>-1</sup>) e Fe (109 mg kg<sup>-1</sup>) e o acúmulo de Fe (52,63 mg planta<sup>-1</sup>).

Observou-se efeito significativo da interação entre fontes de K e níveis de nitrogênio no teor e acúmulo de Cu e no acúmulo de Mn (Tabela 10).

Comparando as fontes de potássio na presença de nitrogênio, a aplicação do CVB resultou no menor teor de Cu, no entanto, não diferiu do KCl e da VIN. Os níveis de nitrogênio não afetaram teor de Cu quando utilizado o CVB ou a VIN.

Para acúmulo de Cu, o CVB foi igual às demais fontes de K e não foi influenciado ( $p > 0,05$ ) pela aplicação de nitrogênio.

Entre as fontes de K, o maior acúmulo de Mn foi observado no tratamento com VIN. Tal fato pode ter ocorrido devido a VIN apresentar alta concentração de Mn em sua composição, dessa forma a aplicação da VIN pode ter acrescentado Mn ao substrato.

A aplicação de nitrogênio não afetou o acúmulo de Mn nas plantas que receberam o CVB e VIN e no controle.

**Tabela 10:** Efeito da interação entre fontes de potássio e níveis de nitrogênio no teor de Cu e no acúmulo de Cu e Mn em cana-de-açúcar. Jaboticabal-SP, 2012.

Variável	Nitrogênio	Fonte de K				Teste F	CV (%)
		Controle	KCl	VIN	CVB		
Teor de Cu (mg kg <sup>-1</sup> )	30 kg ha <sup>-1</sup>	7,75 aA	7,25 aAB	6,75 aAB	6,25 aB	5,00**	8,47
	0 kg ha <sup>-1</sup>	6,75 bA	6,25 bA	6,75 aA	6,75 aA	0,75 <sup>ns</sup>	
Teste F		6,0*	6,0*	0,0 <sup>ns</sup>	1,5 <sup>ns</sup>	Teste F	
Acúmulo de Cu (mg planta <sup>-1</sup> )	30 kg ha <sup>-1</sup>	0,31 aA	0,29 aA	0,29 aA	0,27 aA	0,44 <sup>ns</sup>	20,93
	0 kg ha <sup>-1</sup>	0,16 bB	0,23aAB	0,28 aA	0,27 aAB	3,60*	
Teste F		14,56**	2,33 <sup>ns</sup>	0,0 <sup>ns</sup>	0,0 <sup>ns</sup>	Teste F	
Acúmulo de Mn (mg planta <sup>-1</sup> )	30 kg ha <sup>-1</sup>	2,33 aB	2,95 aB	5,22 aA	2,42 aB	8,85**	30,68
	0 kg ha <sup>-1</sup>	1,24 aB	1,43 bB	6,33 aA	1,86 aB	28,33**	
Teste F		2,39 <sup>ns</sup>	5,55*	2,96 <sup>ns</sup>	0,77 <sup>ns</sup>		

<sup>ns</sup> = não significativo; \*\*, \*significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente.

Letras minúsculas na vertical comparam níveis de nitrogênio e maiúsculas na horizontal comparam fontes de potássio.

Médias seguidas pela mesma letra, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O teor de Mn foi influenciado pelas fontes de K e pelos níveis de nitrogênio separadamente (Tabela 11). O maior teor de Mn, assim como o acúmulo, foi observado no tratamento com VIN, o que pode ser justificado pelo maior conteúdo de Mn desta vinhaça.

A aplicação de nitrogênio incrementou o teor de Mn e o acúmulo de Zn nas plantas de cana-de-açúcar (Tabela 11). Franco et al. (2007) e Otto et al. (2009) relataram que aplicação de nitrogênio pode aumentar a superfície específica de raízes, refletindo em maior exploração do solo. Este benefício promove maior absorção de água e nutrientes.

**Tabela 11:** Efeito das fontes de potássio e dos níveis de nitrogênio no teor de Mn e no acúmulo de Zn em cana-de-açúcar. Jaboticabal-SP, 2012.

Fontes de K	Teor de Mn (mg kg <sup>-1</sup> )	Acúmulo de Zn (mg planta <sup>-1</sup> )
KCl	95,75 b	0,47 a
V IN	153,50 a	0,46 a
CVB	79,50 b	0,42 a
Controle	70,00 b	0,43 a
Teste F	13,12**	0,50 <sup>ns</sup>
DMS	40,31	0,13
Níveis de Nitrogênio	Teor de Mn (mg kg <sup>-1</sup> )	Acúmulo de Zn (mg planta <sup>-1</sup> )
30 kg ha <sup>-1</sup>	114,94 a	0,48 a
0 kg ha <sup>-1</sup>	84,44 b	0,40 b
Teste F	8,71**	4,95*
DMS	21,32	0,07
Teste F (F. de K x N)	2,00 <sup>ns</sup>	2,43 <sup>ns</sup>
CV (%)	29,31	22,02

\*\*; \*significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente.

Médias seguidas pela mesma letra, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Observando os resultados obtidos para teor e acúmulo de macronutrientes e micronutrientes, nota-se que a aplicação de nitrogênio teve efeito positivo ao teor de N, S, Cu, Mn e no acúmulo de K, N, S, Mg, Cu, Mn, e Zn.

## Conclusão

A aplicação do concentrado de vinhaça biodigerida (CVB), como fertilizante no plantio de cana-de-açúcar, apresentou resultados semelhantes aos da vinhaça *in natura* (VIN) e do KCl tanto na ausência quanto na presença de N para as características do substrato e nutrição da cana-de-açúcar, mostrando a possibilidade do seu uso.

## REFERÊNCIAS

BANZATO, D.A.; KRONKA, S.N. **Experimentação agrícola**. 4.ed, Jaboticabal: FUNEP, 2006. 247p.

BEBÉ, F. V.; ROLIM, M. M.; PEDROSA, E. M. R.; GEORGE B. SILVA, G. B.; OLIVEIRA, V. S. Avaliação de solos sob diferentes períodos de aplicação com vinhaça. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.13, n.6, p.781–787, 2009.

BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas (noções básicas)**. 2 ed. Jaboticabal: FUNEP, 2003. 41p.

BRITO, F. L.; ROLIM, M. M.; PEDROSA, E. M. R. Efeito da aplicação de vinhaça nas características químicas de solos da zona da mata de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. v. 4, n. 4, p. 456-462, 2009.

CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do Solo**. 1. ed. Viçosa: Sociedade brasileira de ciência do solo, 2007. cap. 10, p. 595-644.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Vinhaça – Critérios e procedimentos para aplicação no solo agrícola**. P4.231, 2006. disponível em: <<http://www.ambientenet.eng.br/TEXTOS/VINHA%C3%87A.pdf>> Acesso em 2012.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra Brasileira; Cana-de-açúcar, safra 2012/2013**. Segundo levantamento: agosto 2012. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 20 SET. 2012.

EMBRAPA- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2 ed. Brasil, 2009. 628p.

FRANCO, H. C. J.; BOLOGNA, I. R.; FARONI, C. E.; VITTI, A. C.; TRIVELIN, P. C. O. Acúmulo de macronutrientes em cana-de-açúcar em função da adubação nitrogenada e dos resíduos culturais incorporados ao solo no plantio. **Bragantia**, v.66, n.4, p.669-674, 2007.

FRANCO, H. C. J.; OTTO, R.; FARONI, C. E.; ANDRÉ CÉSAR VITTI, A. C.; TRIVELIN, P. C. O. Nitrogen in sugarcane derived from fertilizer under Brazilian field conditions. **Field Crops Research**, v. 121, p.29-41, 2011.

HERMANN, E. R.; CÂMARA, G. M. S. Um Método Simples para Estimar a Área Foliar da Cana-de-Açúcar. **STAB**. v.17, n.05, p.32-34, 1999.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. 1 ed. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 2006. 638 p.

MARQUES, M. O. Aspectos técnicos e legais da produção, transporte e aplicação de vinhaça. In: SEGATO, S. V.; PINTO, A. S.; JANDIROBA, E.; NÓBREGA, J. C. M. **Atualização em produção de Cana-de-Açúcar**. 1 ed. Piracicaba: ESALQ/USP, 2006. cap. 23, p. 369-375.

OTTO, R.; FRANCO, H. C. J. F.; FARONI, C. E.; VITTI, A. C.; TRIVELIN, P. C. O. Fitomassa de raízes e da parte aérea da cana-de-açúcar relacionada à adubação nitrogenada de plantio. **Pesquisa agropecuária brasileira**. v.44, n.4, p.398-405, 2009.

PRADO, R. M.; **500 Perguntas e respostas sobre nutrição de plantas**. 1 ed. Jaboticabal: FCAV/GENPLANT, 2009. 108 p.

RAIJ, B. V.; CANTARELLA, H. Outras culturas industriais. In: RAIJ, B. V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Boletim técnico 100. Recomendação de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. 2º Ed., Campinas: IAC, 1997. cap. 22, p. 233-244.

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

ROSSETTO, R.; DIAS, F.L.F.; VITTI, A.C.; TAVARES, S. Potássio. In: DINARDO-MIRANDA, L.L.; VASCONCELOS, A.C.M.; LANDELL, M.G.A. **Cana-de-açúcar**. 1.ed. Campinas: IAC, 2008. cap. 12, p.289-312.

SANTANA, M. J.; CARVALHO, J. A.; SOUZA, K. S.; SOUSA, A. M. G.; VASCONCELOS, C. L.; ANDRADE, L. A. B. Efeitos da salinidade da água de irrigação na brotação e desenvolvimento inicial da cana-de-açúcar (*saccharum* spp) e em solos com diferentes níveis texturais. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 5, p. 1470-1476, 2007.

SPIRONELLO, A.; RAIJ, B. van; PENATTI, C. P.; CANTARELLA, H.; MORELLI, J. L.; ORLANDO FILHO, J.; LANDELL, M. G. A.; TOSSETO, R. Cana-de-açúcar. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A.M.C. **Boletim Técnico 100 - Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2º Ed., Campinas: IAC, 1997. cap. 22.3 p. 237-239.

URQUIAGA, S.; JATALIA, C. P.; ZOTARELLI, L.; ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M. Manejo de sistemas agrícolas para sequestro de carbono no solo. In: AQUINO, A. M.; ASSIS, R. L. **Processos biológicos no sistema solo-planta**. 1. ed. Brasília: Embrapa informações tecnológicas, 2005. cap, 12, p. 323-342.

VITTI, A. C.; CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P. C. O.; BOLOGNA-CAMPBELL, I. Enxofre. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. **Cana-de-açúcar**. 1. ed. Campinas: IAC, 2008. cap. 14, p.323-330.

### **CAPÍTULO 3 - DOSES DO CONCENTRADO DE VINHAÇA BIODIGERIDA: EFEITOS NO SUBSTRATO E EM MUDAS DE CANA-DE-AÇÚCAR**

**RESUMO** – O concentrado de vinhaça biodigerida (CVB) é um produto obtido pela concentração da vinhaça após sua biodigestão. A produção do CVB pode viabilizar o transporte e uso da vinhaça a longas distâncias. No entanto, a composição do CVB é diferente da vinhaça *in natura* (VIN), comumente usada na fertilização da cana-de-açúcar. Por isso o objetivo deste trabalho foi avaliar a utilização do CVB, em diferentes doses, como fertilizante para a cana-de-açúcar, comparando-o com a vinhaça *in natura* (VIN) e com o KCl. Foram utilizadas mudas de cana-de-açúcar plantadas em vasos de 18 L com a mistura de areia e Latossolo (2:1). As mudas foram fertilizadas com CVB, VIN e KCl, em doses equivalentes a 60, 120, 240 e 480 kg ha<sup>-1</sup> de K e um tratamento controle (sem aplicação de K), perfazendo um esquema fatorial 3 x 4 + 1. Adotou-se o delineamento inteiramente casualizado com 4 repetições. As plantas foram mantidas em casa de vegetação por 60 dias, após este período as características químicas do substrato foram avaliadas, e as plantas foram retiradas e avaliadas quanto à altura, área foliar, massa seca da parte aérea, massa seca do sistema radicular e a massa seca total por vaso, bem como os teores foliares e o acúmulo de nutrientes e o acúmulo de Na. A aplicação do concentrado de vinhaça biodigerida (CVB) apresentou resultados semelhantes aos da vinhaça *in natura* (VIN) e KCl nas características do substrato e na nutrição da cana-de-açúcar.

**Palavras chave** – Cana planta, Fontes de potássio, Vinhaça.

## DOSES OF CONCENTRATED BIODIGESTED VINASSE: EFFECTS IN SUBSTRATE AND IN SEEDLINGS OF SUGAR CANE

**ABSTRACT** - The concentrated biodigested vinasse (CBV) is a product obtained by concentrating the vinasse after its digestion. The production of the CBV can facilitate the transport and use of vinasse at long distances. However, the composition of CBV is completely different than *in nature* vinasse (INV), used in the sugarcane fertilization. Therefore, the objective of this study was to evaluate the use of the CBV like fertilizer for sugarcane, comparing it with *in natura* vinasse (INV) and with KCl in different doses. We used seedlings of sugarcane planted in 18 L pots full by the mixture of sand and Oxisol (2:1). The seedlings were fertilized with CVB, VIN and KCl, at doses equivalent to 60, 120, 240 and 480 kg ha<sup>-1</sup> K and a control (no K application), making one factorial 3 x 4 + 1. The completely randomized design with four replications was used. The plants were kept in a greenhouse for 60 days, after this period the chemical characteristics of the substrate were evaluated, the plants were removed and the height, leaf area, leaves dry mass, root dry mass and total dry mass per pot were evaluated, as well as the foliar nutrient content and accumulation. We also evaluated the accumulation of Na. The application of concentrated biodigested vinasse (CBV) showed similar results to the *in natura* vinasse (INV) and KCl in the chemical characteristics of the substrate and sugarcane's nutrition.

**Key words** - Cane plant, Sources of potassium, Vinasse.

## Introdução

Atualmente, a redução da emissão dos gases de efeito estufa é uma preocupação mundial. Neste cenário, a substituição dos combustíveis fósseis por biocombustíveis tem aumentado a demanda pelo etanol.

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar e o segundo maior produtor mundial de etanol. A previsão do total de cana moída na safra 2012/13 é de 596,63 milhões de toneladas. Isto representa um aumento de 6,5% em relação à safra 2011/12. Aproximadamente 50% da cana-de-açúcar produzida no Brasil são destinados à produção de etanol (CONAB, 2012).

Para cada litro de etanol são produzidos em média de 12 a 15 litros de vinhaça (MARQUES, 2006). A vinhaça produzida é utilizada para fertirrigação dos canaviais, pois ela rica matéria orgânica e nutrientes, principalmente o potássio. Entretanto essa utilização é limitada às regiões próximas das destilarias, pois o elevado conteúdo de água da vinhaça inviabiliza economicamente o seu transporte a longas distâncias.

Como solução, algumas destilarias tem utilizado a vinhaça para produção de biogás. A energia produzida pode ser utilizada para concentração da vinhaça biodigerida originando o Concentrado de vinhaça biodigerida (CVB). Dessa forma, torna-se possível o transporte e utilização da vinhaça a maiores distâncias.

No entanto, a biodigestão e concentração da vinhaça muda sua composição. Além da redução da água e matéria orgânica, o conteúdo de nutrientes pode ser modificado e, na maioria das vezes, hidróxido de sódio é adicionado para elevar o pH no momento da biodigestão. Entretanto a possibilidade dessas mudanças comprometerem o uso do CVB como fertilizante e as consequências de seu uso contínuo não foram relatadas.

Por isso, este trabalho foi desenvolvido com objetivo de avaliar a utilização do CVB como fertilizante no cultivo de cana-de-açúcar, comparando-o com a vinhaça *in natura* (VIN) e com o KCl em diferentes doses.

## Material e métodos

O experimento foi conduzido na casa de vegetação do Departamento de Tecnologia da UNESP-FCAV. Foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 3 x 4 + 1 tratamento adicional com quatro repetições. Os tratamentos constaram de 3 fontes de potássio: CVB, vinhaça *in natura* (VIN) e KCl, em 4 doses equivalentes a: 60, 120, 240 e 480 kg ha<sup>-1</sup> de K. Foi aplicado um tratamento adicional correspondente ao controle (sem adição de K).

Como substrato foi preparada uma mistura (2:1) de areia fina e Latossolo vermelho eutrófico (pH em CaCl = 5,1; MO = 15 g dm<sup>-3</sup>; P resina = 12 mg dm<sup>-3</sup>; K = 1,8, Ca = 22, Mg = 9, H+Al = 31, SB = 32,8, T= 63,8 (mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) e V = 51%). O solo recebeu a aplicação de calcário (PRNT 132) para atingir 60 % da saturação por bases. Após 60 dias da aplicação do calcário o solo foi passado em peneira com malha de 4mm e misturado à areia. As características do substrato final foram: pH em CaCl = 5,7; MO = 4 g dm<sup>-3</sup>; P resina = 12 mg dm<sup>-3</sup>; K = 0,9, Ca = 16, Mg = 7, H+Al = 11, SB = 23,9, T= 34,9 (mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) e V = 68%.

Feita a mistura, o substrato foi transferido para vasos plásticos de 18L. Foi incorporado ao substrato de cada vaso 14,06 g de superfosfato simples, correspondendo a 180 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, e 0,85g de ureia equivalente a 30 kg ha<sup>-1</sup> de N, conforme recomendado por Spironello et al. (1997).

Foram utilizadas mudas de cana-de-açúcar cultivar IACSP93-3046, preparadas pelo plantio de minitoletes de 5cm de comprimento (contendo 1 gema) em copos descartáveis de 500 cm<sup>3</sup> contendo areia. Essas mudas foram conduzidas por 60 dias em casa de vegetação.

As mudas mais uniformes foram selecionadas para o transplântio nos vasos com o substrato. Os tratamentos foram aplicados 10 dias após o transplântio das mudas. Foram aplicadas 25, 50, 101 e 202 ml/vaso de CVB, 261, 522, 1,043 e 2,087 ml/vaso de VIN e 1,16, 2,29, 4,57 e 9,15 g/vaso de KCl, correspondendo à 60, 120, 240 e 480 kg ha<sup>-1</sup> de K, respectivamente. As doses foram diluídas para 2,1L em água para evitar a diferença de umidade entre os tratamentos. O CVB e a VIN utilizados foram de origens diferentes e as características quanto concentração de nutrientes e pH, estão apresentadas na tabela 1.

**Tabela 1.** Características da vinhaça *in natura* e do concentrado de vinhaça biodigerida original e diluído. Jaboticabal-SP, 2012.

	pH	C	N	P	K	Ca g dm <sup>-3</sup>	Mg	S	Na	Fe mg dm <sup>-3</sup>	Mn	Zn
Vinhaça <i>in natura</i> (VIN)	4,00	18	0,14	0,05	2,30	0,34	0,17	0,04	0,10	22	9	3
Concentrado de vinhaça biodigerida (CVB)	8,80	15	1,48	1,19	23,75	3,54	1,25	0,98	14,58	475	0	71
CVB diluído (10,3 x)	7,8	1,46	0,14	0,11	2,30	0,34	0,12	0,09	1,41	46	0	6,9

Após a aplicação dos tratamentos as plantas foram conduzidas por 60 dias em casa de vegetação. Foi realizada irrigação diária, corrigindo a umidade para aproximadamente 60% da capacidade de retenção de água do substrato, com base no método de pesagem.

Ao término da condução do experimento avaliou-se a altura das plantas, correspondente à distância entre a superfície do solo até a inserção da folha +1 (BENINCASA, 2003); número (total) de folhas, incluindo as que senesceram, número de perfilhos e área foliar. A área foliar foi calculada através da fórmula:  $AF = C \times L \times 0,75 \times (N + 2)$ , utilizando-se o comprimento (C) e a maior largura (L) da folha +3, fator de forma 0,75, número de folhas totalmente abertas (N) com pelo menos 20% de área verde e fator de correção 2, conforme metodologia de Hermann & Câmara (1999).

Após estas avaliações, para o diagnóstico dos teores de nutrientes, a folha +1 foi retirada descartando a nervura central, como recomendado por Raij & Cantarella (1997), no entanto optou-se por não descartar as extremidades da folha. A seguir as plantas foram coletadas cortando-se o colmo rente ao solo, lavadas em água corrente e depois guardadas em sacos de papel previamente identificados.

O substrato dos vasos foi virado sobre peneiras, retirou-se uma amostra representativa para análise de fertilidade (RAIJ et al., 2001) e o restante do substrato foi removido com jato d'água para a obtenção do sistema radicular. O sistema radicular foi lavado, novamente, em água com detergente a base de Linear Alquil

Benzeno Sulfonato de Sódio (0,01% v/v) e depois em água corrente. A seguir foi acondicionado em sacos de papel previamente identificados.

Todo material vegetal (folha +1, parte aérea e sistema radicular) foi submetido à secagem até peso constante em estufa com circulação forçada de ar, à temperatura de 60-70°C. Em seguida, tanto a parte aérea como o sistema radicular foram pesados, separadamente, em balança semi-analítica para determinação da massa seca da parte aérea e do sistema radicular e a massa seca total por planta.

Para determinação dos teores e acúmulo de nutrientes e Na, a folha +1, a parte aérea e sistema radicular, depois de secos em estufa, foram moídos, separadamente, em moinho do tipo Willey com peneira de malha de 20 mesh. O material moído foi submetido à digestão úmida para determinação dos teores de nutrientes (sulfúrica para a determinação de N e nítrico-perclórica para determinação de K, P, S, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu e Na) segundo EMBRAPA (2009).

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo teste F. As médias dos tratamentos qualitativos foram comparadas pelo teste de Tukey (5% de probabilidade) e as doses por regressão polinomial. A média do tratamento controle foi comparada as medias do fatorial por contraste. Foi utilizado o programa estatístico AgroEstat (BARBOSA & MALDONADO JR., 2011).

## **Resultados e discussão**

### **Alterações no substrato**

Foram observadas alterações no pH, MO, concentrações de P, Ca, H+Al e V% do substrato pela aplicação das fontes de K. As doses de K tiveram efeito significativo apenas no pH e na concentração de K do substrato. A média do tratamento controle foi menor que a média dos demais tratamentos no pH e concentração de K do substrato (Tabela 2).

**Tabela 2:** Efeito das fontes e doses de potássio e controle no pH (CaCl), MO (g dm<sup>-3</sup>), P (mg dm<sup>-3</sup>), K, Ca, H+Al (mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) e V% do substrato. Jaboticabal-SP, 2012.

Fonte de K	pH (ClCa)	MO	P	K	Ca	H+Al	V%
VIN	5,82 a	5,1 a	31,5 b	2,1 a	20,37 a	13,0 b	68 a
KCl	5,56 b	4,1 b	31,7 b	2,7 a	16,69 b	14,3 a	62 b
CVB	5,78 a	4,4 ab	39,8 a	2,0 a	17,94 ab	13,7 ab	64 b
Teste F	18,04**	4,45*	4,34*	1,49 <sup>ns</sup>	5,28**	3,68*	9,63**
Doses de K (kg ha <sup>-1</sup> )	pH (ClCa)	MO	P	K	Ca	H+Al	V%
60	5,66 b	4,7 a	33,2 ab	0,7 c	18 a	14 a	63 a
120	5,69 ab	4,4 a	39,2 a	1,3 bc	19 a	13 a	64 a
240	5,72 ab	4,6 a	36,6 ab	2,1 b	19 a	13 a	66 a
480	5,81 a	4,4 a	28,5 b	4,9 a	16 a	13 a	66 a
Teste F	2,93*	0,2 <sup>ns</sup>	3,10*	29,06**	2,76 <sup>ns</sup>	0,47 <sup>ns</sup>	2,17 <sup>ns</sup>
Controle	5,57	5,5	34,0	0,35	17,25	14,00	62,00
Teste F	4,62*	3,86 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	9,38**	0,41 <sup>ns</sup>	0,18 <sup>ns</sup>	2,73 <sup>ns</sup>
<sup>1</sup> Teste F (F x D)	1,79 <sup>ns</sup>	0,82 <sup>ns</sup>	0,83 <sup>ns</sup>	2,28 <sup>ns</sup>	0,62 <sup>ns</sup>	1,80 <sup>ns</sup>	0,6 <sup>ns</sup>
CV (%)	2	20	26	57	18	9	6

<sup>ns</sup> = não significativo; \*\*, \*significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente.

<sup>1</sup> = Teste F da interação entre Fontes de K e doses de K.

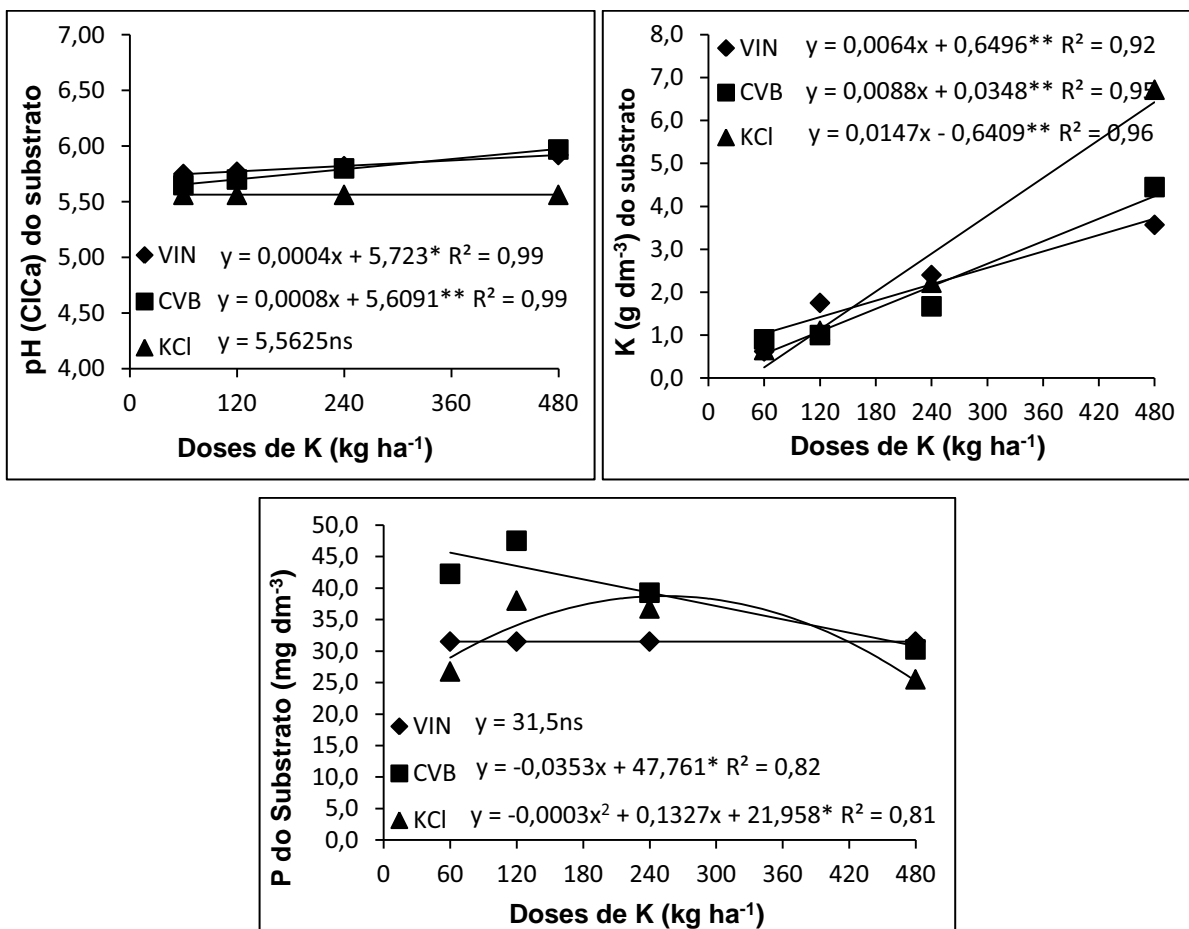
Médias seguidas pela mesma letra, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A elevação do pH do solo pela aplicação da vinhaça é relatado por Bebé et al. (2009) e por Britto et al. (2009) e foi observado neste experimento também pela aplicação do CVB (Figura 1). A aplicação de vinhaça pode promover elevação do pH do solo devido ao seu conteúdo de matéria orgânica (MO), que possui potencial redutor (BRITTO et al., 2009). Apesar de apresentar menor concentração de MO que a VIN o CVB possui pH acima de 7,0 (Tabela 1), devido à adição de hidróxido de sódio no momento da biodigestão, e por isso pode contribuir para elevação do pH do solo.

O teor de MO do substrato foi influenciado ( $p < 0,05$ ) apenas pelas fontes de potássio (Tabela 2). Maiores concentração de MO nos tratamentos que receberam as vinhaças eram esperadas, pois tanto a VIN quanto o CVB apresentam MO em sua composição.

As fontes e doses de K influenciaram a concentração de fósforo (P) no substrato (Tabela 2, Figura 1). A maior concentração de P foi observada no substrato que recebeu a aplicação de CVB. Isso ocorreu porque o CVB continha, em sua composição, maior concentração de P que os demais tratamentos (Tabela 1).

Devido ao tratamento controle não receber a aplicação de K, este apresentou a menor concentração do elemento, assim como o aumento das doses, independente da fonte, promoveu aumento na concentração de K no substrato (Tabela 2, Figura 1).



**Figura 1:** Efeito das doses de K no pH e concentração de K do substrato.  
<sup>ns</sup>, \*\*, \*, não significativo e significativo à 1 e 5% de probabilidade, respectivamente. Jaboticabal-SP, 2012.

As maiores concentrações de Ca foram observadas nos tratamentos com VIN e CVB (Tabela 2), pois a aplicação destes tratamentos pôde acrescentar Ca ao substrato devido às vinhaças conterem Ca em sua composição.

A aplicação do CVB e VIN foi significativa ( $p < 0,05$ ) para redução da concentração de  $H^+$  do substrato, pois a matéria orgânica presente nas vinhaças e o  $OH^-$  vindo da dissociação do hidróxido de sódio presente no CVB podem neutralizar o  $H^+$ .

Não houve efeito significativo ( $p > 0,05$ ) dos tratamentos na concentração de Mg, soma de bases (SB) e a capacidade de troca catiônica potencial (T) do substrato com médias de  $5,38 \text{ g dm}^{-3}$  de Mg,  $SB = 25,7 \text{ mmol/dm}^3$  e  $T = 39,5 \text{ mmol/dm}^3$ , respectivamente.

Apesar da SB e o T não terem sido influenciados pelos tratamentos, o V% diferiu em função das fontes de potássio (Tabela 2). O CVB e o KCl foram semelhantes quanto ao V%, entretanto a VIN apresentou o maior valor.

### **Alterações no crescimento da cana-de-açúcar**

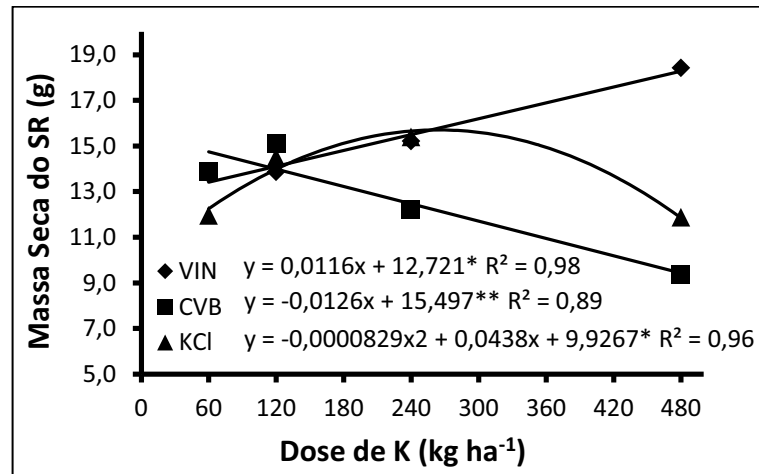
Comparando o desempenho do CVB com a VIN e o KCl na fertilização da cana-de-açúcar, foi observado que apesar das diferenças entre as fontes de K e das variadas doses utilizadas, estas não causaram efeito sobre o crescimento da cana-de-açúcar.

Não foi observada diferença significativa ( $p > 0,05$ ) entre os tratamentos para altura de plantas (média = 45,32 cm), número de folhas (16 folhas/vaso) e de perfilhos (3 perfilhos/vaso), área foliar ( $0,33 \text{ m}^2/\text{vaso}$ ), massa seca da parte aérea ( $27 \text{ g/vaso}$ ) e massa seca total de plantas ( $43,6 \text{ g/vaso}$ ).

Para a massa seca do sistema radicular (MSR), foi observado efeito da interação entre fontes de K e doses de K (Figura 2).

Com o aumento da dose de CVB e na maior dose de KCl foi observado redução na produção de MSR. Uma possível explicação seria a salinização do ambiente radicular provocada pela alta concentração de cátions, principalmente o Na, presente no CVB e o excesso de KCl na maior dose utilizada. Santana et al. (2007) também obtiveram menor produção de massa seca de raízes de cana-de-

açúcar em fase inicial de desenvolvimento, cultivadas em solo arenoso e irrigadas com água com alto nível salino.



**Figura 2:** Efeito da interação entre fontes de potássio e doses de potássio na produção de massa seca do sistema radicular da cana-de-açúcar. \*\*, \*significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente. Jaboticabal-SP, 2012.

Apesar do decréscimo na massa seca do sistema radicular, a produção de massa seca total por planta não foi prejudicada. Neste caso, o CVB pôde ser utilizado sem prejuízos à cultura, no entanto, são necessários estudos para testar o CVB em campo.

### Teores e acúmulo de macronutrientes na cana-de-açúcar

Como era esperado, o teor e o acúmulo de K nas plantas foram menores no tratamento controle (Tabela 3). As fontes de K não diferiram entre si quanto ao teor e acúmulo de K. Isso representa a possibilidade da utilização do CVB como fonte de K sem que haja alterações no fornecimento e aproveitamento deste nutriente pelas plantas.

O teor e o acúmulo de K também foram afetados pelas doses de K (Figura 3). O teor de K aumentou de forma linear com o aumento das doses deste nutriente independente da fonte utilizada. O acúmulo de K também aumentou de forma linear com o aumento das doses de VIN e KCl e de forma quadrática com as doses de

CVB. Possivelmente o excesso de CVB, sendo prejudicial ao sistema radicular, proporcionou menor absorção de K na maior dose aplicada.

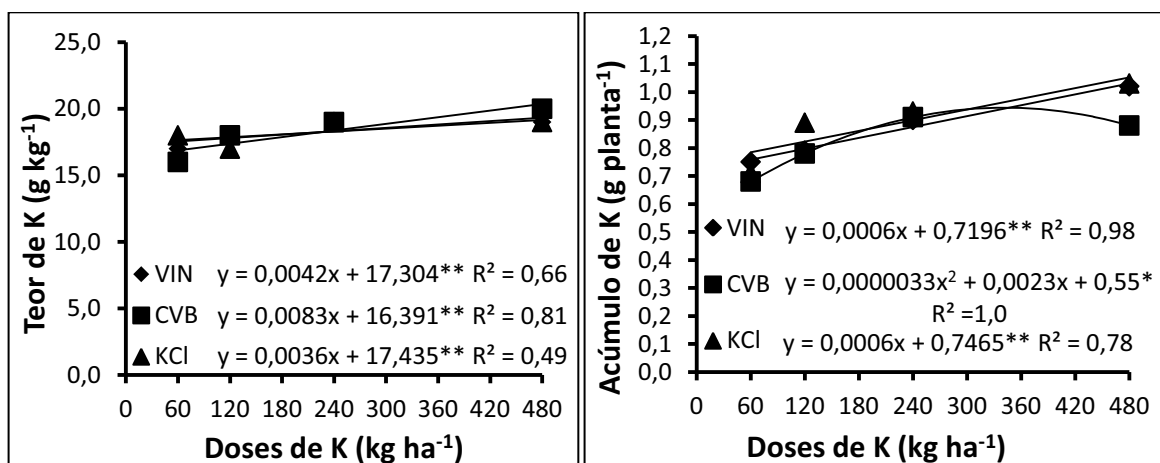
**Tabela 3:** Efeito das fontes e doses de potássio e controle no teor e acúmulo de potássio em cana-de-açúcar. Jaboticabal-SP, 2012.

Fonte de K	Teor de K (g kg <sup>-1</sup> )	Acúmulo de K (g planta <sup>-1</sup> )
VIN	18,57 a	0,89 a
KCl	18,29 a	0,86 a
CVB	18,56 a	0,81 a
Teste F	0,27 <sup>ns</sup>	0,09 <sup>ns</sup>
Doses de K (kg ha <sup>-1</sup> )	Teor de K (g kg <sup>-1</sup> )	Acúmulo de K (g planta <sup>-1</sup> )
60	17 c	0,7bc
120	18 bc	0,8 b
240	19 ab	0,9 ab
480	20 a	1,0 a
Teste F	11,11**	19,58**
Controle	14,77	0,55
Teste F	33,67 **	41,49 **
<sup>1</sup> Teste F (F x D)	1,17 <sup>ns</sup>	0,92 <sup>ns</sup>
CV (%)	6,73	10,8

<sup>ns</sup> = não significativo; \*\*significativo a 1% de probabilidade.

<sup>1</sup> = Teste F da interação entre Fontes de K e doses de K.

Médias seguidas pela mesma letra, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.



**Figura 3:** Efeito de doses de potássio no teor e acúmulo de K em cana-de-açúcar. <sup>ns</sup> = não significativo; \*\*, \* significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente. Jaboticabal-SP, 2012.

O teor e o acúmulo de N foram influenciados apenas pelas fontes de K (Tabela 4). O CVB mostrou resultado semelhante ao do KCl com maior teor e acúmulo de N.

**Tabela 4:** Efeito das fontes e doses de potássio e controle no teor e acúmulo de nitrogênio em cana-de-açúcar. Jaboticabal-SP, 2012.

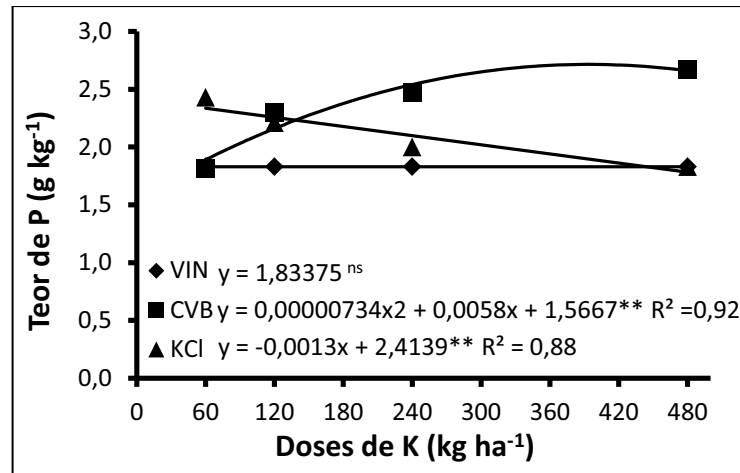
Fonte de K	Teor de N (g kg <sup>-1</sup> )	Acúmulo de N (g planta <sup>-1</sup> )
VIN	14,26 b	0,28 b
KCl	16,32 a	0,32 a
CVB	16,66 a	0,32 a
Teste F	8,10**	4,90*
Doses de K (kg ha <sup>-1</sup> )	Teor de N (g kg <sup>-1</sup> )	Acúmulo de N (g planta <sup>-1</sup> )
60	15,00 a	0,30 a
120	15,87 a	0,30 a
240	15,68 a	0,31 a
480	16,44 a	0,31 a
Teste F	1,28 <sup>ns</sup>	0,65 <sup>ns</sup>
Controle	13,99	0,30
Teste F	3,41 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>
<sup>1</sup> Teste F (F x D)	1,35 <sup>ns</sup>	1,11 <sup>ns</sup>
CV (%)	11,7	13,2

<sup>ns</sup> = não significativo; \*\*, \*significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente.

<sup>1</sup> = Teste F da interação entre Fontes de K e doses de K.

Médias seguidas pela mesma letra, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Foi observado efeito da interação entre fontes de K e doses de K no teor de P (Figura 4). O aumento no teor de P simultâneo ao aumento das doses de CVB ocorreu porque esta vinhaça apresenta maior concentração de P em sua concentração que a VIN. Não houve diferença entre os tratamentos para o acúmulo de P, com média de 0,06 g planta<sup>-1</sup>.



**Figura 4:** Efeito da interação entre fontes de potássio e doses de potássio no teor de P em cana-de-açúcar. <sup>ns</sup> = não significativo; <sup>\*\*</sup>significativo a 1% de probabilidade. Jaboticabal-SP, 2012.

Entre as fontes de K, o maior teor de enxofre foi observado no tratamento com o CVB (Tabela 5). Esta vinhaça apresentou maior concentração de enxofre em sua composição em relação a VIN (Tabela 1), contribuindo para aumentar o teor de S nas plantas que receberam aplicação de CVB. No entanto, não houve diferença para o acúmulo de S entre os tratamentos com o CVB ou o KCl.

As plantas apresentaram maior teor e acúmulo de S no tratamento controle. Foi relatado por Alvarez V. et al. (2007) que um dos processos que afeta a disponibilidade de S para as plantas é a adsorção do  $SO_4^{2-}$ . Os autores relatam que o efeito do cátion acompanhante pode influenciar a adsorção do  $SO_4^{2-}$ , onde a retenção dos sais da solução ocorre na seguinte ordem:  $CaSO_4 > K_2SO_4 > (NH_4)_2SO_4 > NaSO_4$ . Uma hipótese para o menor teor e acúmulo de S nas plantas que receberam as fontes de K seria a que os cátions presentes nestes tratamentos tenham influenciado o processo de adsorção do S e diminuído sua disponibilidade para as plantas.

**Tabela 5:** Efeito das fontes e doses de potássio e controle no teor e acúmulo de enxofre em cana-de-açúcar. Jaboticabal-SP, 2012.

Fonte de K	Teor de S (g kg <sup>-1</sup> )	Acúmulo de S (g planta <sup>-1</sup> )
VIN	1,01 b	0,07 a
KCl	1,02 b	0,05 b
CVB	1,21 a	0,06 b
Teste F	4,63 *	16,71**
Doses de K (kg ha <sup>-1</sup> )	Teor de S (g kg <sup>-1</sup> )	Acúmulo de S (g planta <sup>-1</sup> )
60	1,19 a	0,07 a
120	1,02 a	0,06 a
240	1,02 a	0,06 a
480	1,09 a	0,06 a
Teste F	1,69 <sup>ns</sup>	2,83 <sup>ns</sup>
Controle	1,72	0,08
Teste F	35,91**	23,16**
<sup>1</sup> Teste F (F x D)	0,70 <sup>ns</sup>	1,04 <sup>ns</sup>
CV (%)	18,19	14,5

\*\*; \*significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente.

<sup>1</sup> = Teste F da interação entre Fontes de K e doses de K.

Médias seguidas pela mesma letra, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O teor e o acúmulo de Ca não foram influenciados pelos tratamentos ( $p > 0,05$ ), com média de 2,74 g kg<sup>-1</sup> e 0,11 g planta<sup>-1</sup>, respectivamente.

O teor e acúmulo médio de Mg nas plantas do tratamento controle foram 1,6 mg kg<sup>-1</sup> e 0,09 mg planta<sup>-1</sup> respectivamente, enquanto que a média do fatorial foi de 1,3 mg kg<sup>-1</sup> para o teor e 0,07 mg planta<sup>-1</sup> para o acúmulo. Um fator que pode ter diminuído a absorção do Mg é a inibição competitiva pelo K (Malavolta, 2006). Há ainda, relatos de que menores teores de Mg podem ocorrer porque plantas bem nutridas com K crescem mais, promovendo efeito de diluição (ROSOLEM, 2005), mas para este experimento não foi observada diferença entre os tratamentos quanto à produção de massa seca total por planta.

## Teores de micronutrientes na cana-de-açúcar

O menor teor de Fe foi observado no tratamento com CVB (Tabela 6). Isso ocorre devido à elevação do pH. O Fe é o micronutriente mais sensível ao aumento do pH, sendo que sua disponibilidade decresce aproximadamente mil vezes para cada unidade de pH aumentada (ABREU et al., 2007). Também foi observado efeito das doses de K para o teor de Fe, com redução no teor de Fe com o aumento das doses de VIN (Figura 5).

**Tabela 6:** Efeito das fontes e doses de potássio e controle nos teores de ferro (Fe) e manganês (Mn) em cana-de-açúcar. Jaboticabal-SP, 2012.

Fonte de K	Teor de Fe (mg kg <sup>-1</sup> )	Teor de Mn (mg kg <sup>-1</sup> )
VIN	86,25 a	50,31 b
KCl	81,00 ab	69,75 a
CVB	69,87 b	55,19 b
Teste F	5,36 **	13,16 **
Doses de K (kg ha <sup>-1</sup> )	Teor de Fe (mg kg <sup>-1</sup> )	Teor de Mn (mg kg <sup>-1</sup> )
60	87,5 a	47,4 b
120	81,8 ab	54,2 b
240	76,1 ab	55,2 b
480	70,7 b	76,9 a
Teste F	3,01*	15,82**
Controle	70,25	44,75
Teste F	1,37 <sup>ns</sup>	5,54 *
<sup>1</sup> Teste F (F x D)	1,20 <sup>ns</sup>	2,21 <sup>ns</sup>
CV (%)	18,43	19,44

<sup>ns</sup> = não significativo; \*, \*\*significativo a 5 e a 1% de probabilidade respectivamente.

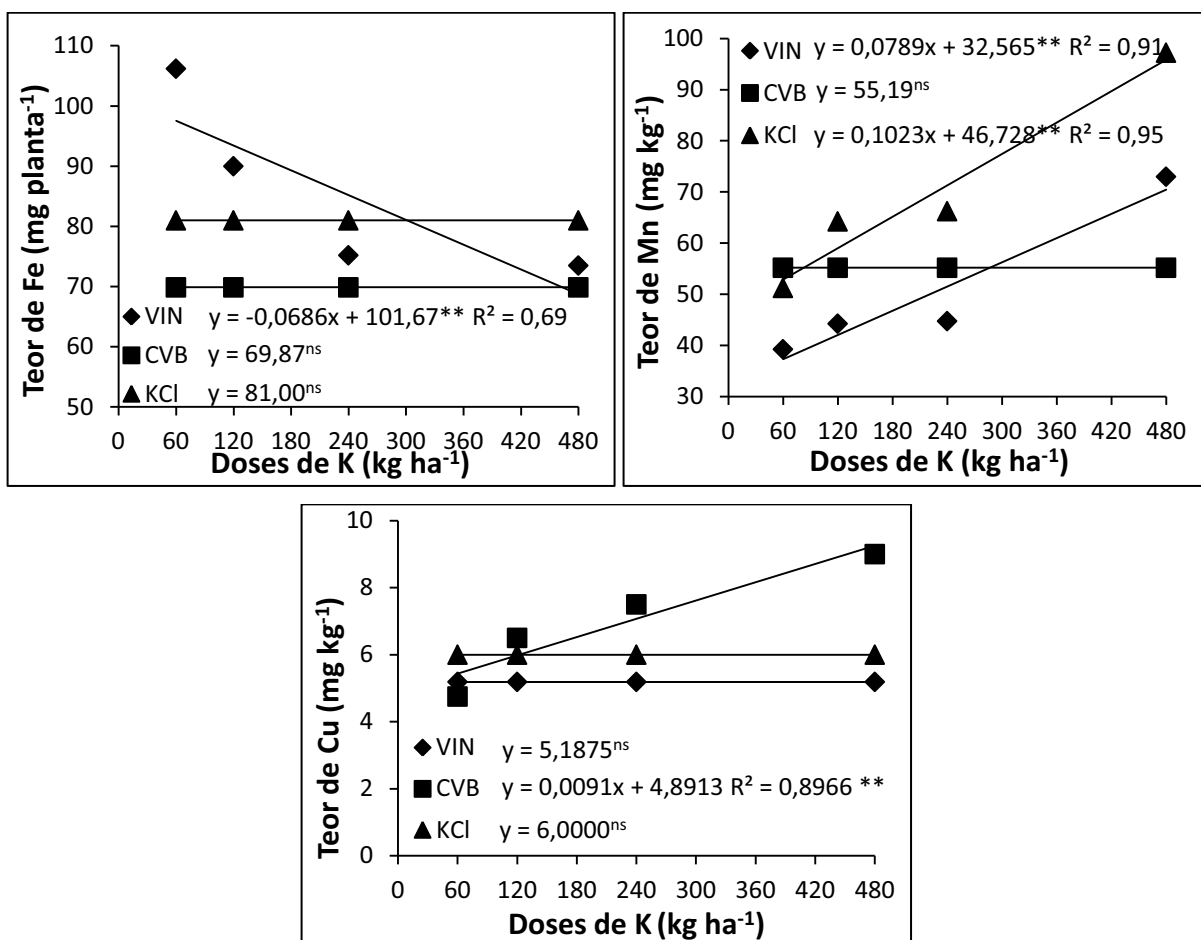
<sup>1</sup> = Teste F da interação entre Fontes de K e doses de K.

Médias seguidas pela mesma letra, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O teor de Mn diferiu entre as fontes de K, controle (Tabela 6) e doses de K (Figuras 5), separadamente. O CVB e a VIN apresentaram teores semelhantes de Mn e o tratamento controle apresentou a menor média comparada à média dos demais tratamentos. Com o aumento das doses da VIN e do KCl houve aumento linear no teor de Mn. Este aumento ocorreu porque a VIN apresenta Mn em sua

composição enquanto este micronutriente não foi detectado pela análise no CVB (Tabela 1) e o KCl também pode apresentar resíduos de micronutrientes em sua composição.

Para o teor de Cu foi observado efeito da interação entre as fontes de K e as doses aplicadas (Figura 5). O aumento nas doses do CVB promoveu aumento linear no teor de Cu nas plantas, entretanto a concentração de Cu, tanto no CVB quanto na VIN, não foi detectada pela análise. As doses de VIN e do KCl não foram significativas para o teor deste micronutriente.



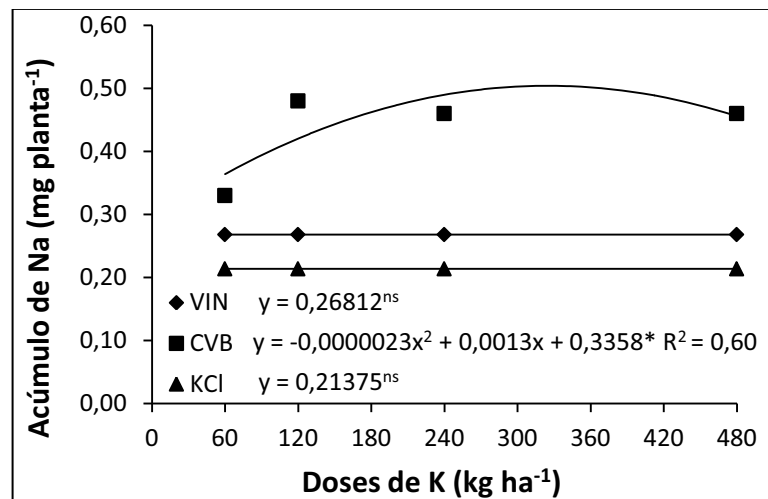
**Figura 5:** Efeito de doses de potássio no teor de Fe, Mn e da interação entre fontes e doses de K no teor de Cu em cana-de-açúcar. <sup>ns</sup> = não significativo; \*\* significativo 1% de probabilidade. Jaboticabal-SP, 2012.

Foi observada diferença no teor de Zn apenas no tratamento controle, com média de 13,25 mg kg<sup>-1</sup> enquanto a média do fatorial foi de 10,12 mg kg<sup>-1</sup>. Abreu et

al. (2007) relatam que além do aumento do pH, a aplicação de compostos orgânicos também podem diminuir a disponibilidade do Zn devido à formação de complexos estáveis entre ligantes orgânicos e este micronutriente.

### Acúmulo de Na na cana-de-açúcar

Foi observado efeito da interação entre as fontes e doses de K no acúmulo de Na (Figura 6). O acúmulo de Na aumentou de forma quadrática com o aumento das doses de CVB.



**Figura 6:** Efeito da interação entre doses e fontes de potássio no acúmulo de Na em cana-de-açúcar. <sup>ns</sup> = não significativo; \* significativo a 5% de probabilidade. Jaboticabal-SP, 2012.

O aumento e o maior acúmulo de Na no tratamento com CVB ocorreu porque esta vinhaça apresenta alta concentração de Na em sua composição, pois NaOH é adicionado ao material no biodigestor para a estabilização do pH. Neste experimento, o acréscimo de Na ao substrato não prejudicou a produção de massa seca e os aspectos nutricionais da cana-de-açúcar. No entanto, temos que considerar que são necessários estudos em campo para aferir o efeito da aplicação do CVB tanto no solo quanto nas plantas.

## Conclusão

A aplicação do concentrado de vinhaça biodigerida (CVB) em diferentes doses apresentou resultados semelhantes aos da vinhaça *in natura* (VIN) e KCl para as características químicas do substrato e nutrição da cana-de-açúcar demonstrando a possibilidade da sua utilização como fertilizante para esta cultura.

## REFERÊNCIAS

ALVAREZ V, V. H.; ROSCOE, R.; KURIHARA, C. H.; PEREIRA, N. F. Enxofre. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do Solo**. 1. ed. Viçosa: Sociedade brasileira de ciência do solo, 2007. cap. 11, p. 645-736.

ABREU, C. A.; LOPES, A. S.; SANTOS, G. C. G. Micronutrientes. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do Solo**. 1. ed. Viçosa: Sociedade brasileira de ciência do solo, 2007. cap. 11, p. 645-736.

BARBOSA, J. C.; MALDONADO JR, W. AgroEstat- Sistema para Análises Estatísticas de Ensaios Agronômicos. Versão 1.1, 2011.

BEBÉ ,F. V; ROLIM, M. M; PEDROSA, E. M. R; GEORGE B. SILVA, G. B; OLIVEIRA, V. S. Avaliação de solos sob diferentes períodos de aplicação com vinhaça. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.13, n.6, p.781–787, 2009.

BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas (noções básicas)**. 2 ed. Jaboticabal: FUNEP, 2003. 41p.

BRITO, F. L.; ROLIM, M. M.; PEDROSA, E. M. R. Efeito da aplicação de vinhaça nas características químicas de solos da zona da mata de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. v. 4, n. 4, p. 456-462, 2009.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra Brasileira; Cana-de-açúcar, safra 2012/2013**. Segundo levantamento: agosto 2012. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 20 SET. 2012.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2 ed. Brasil, 2009. 628p.

HERMANN, E. R.; CÂMARA, G. M. S. Um Método Simples para Estimar a Área Foliar da Cana-de-Açúcar. **STAB**. v.17, n.05, p.32-34, 1999.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. 1 ed. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 2006. 638 p.

MARQUES, M. O. Aspectos técnicos e legais da produção, transporte e aplicação de vinhaça. In: SEGATO, S. V.; PINTO, A. S.; JANDIROBA, E.; NÓBREGA, J. C. M. **Atualização em produção de Cana-de-Açúcar**. 1 ed. Piracicaba: ESALQ/USP, 2006. cap. 23, p. 369-375.

RAIJ, B. V.; CANTARELLA, H. Outras culturas industriais. In: RAIJ, B. V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Boletim técnico 100. Recomendação de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. 2º Ed., Campinas: IAC, 1997. cap. 22, p. 233-244.

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

ROSOLEM, C. A. Interação do potássio com outros íons. In: YAMADA, T & ROBERSTS, T. L. **Potássio na agricultura brasileira**. 1. ed. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 2005. cap.9, p. 239-260.

SANTANA, M. J.; CARVALHO, J. A.; SOUZA, K. S.; SOUSA, A. M. G.; VASCONCELOS, C. L.; ANDRADE, L. A. B. Efeitos da salinidade da água de irrigação na brotação e desenvolvimento inicial da cana-de-açúcar (*saccharum* spp) e em solos com diferentes níveis texturais. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 5, p. 1470-1476, 2007.

SPIRONELLO, A.; RAIJ, B. van; PENATTI, C. P.; CANTARELLA, H.; MORELLI, J. L.; ORLANDO FILHO, J.; LANDELL, M. G. A.; TOSSETO, R. Cana-de-açúcar. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A.M.C. **Boletim Técnico 100 - Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2º Ed., Campinas: IAC, 1997. cap. 22.3 p. 237-239.

## CAPÍTULO 4 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

O concentrado de vinhaça biodigerida (CVB) é o subproduto produzido pela biodigestão e posterior concentração da vinhaça. Sua composição é bem diferente da vinhaça *in natura* tradicionalmente utilizada como fertilizante na cultura da cana-de-açúcar. Além da menor quantidade de água, o CVB também possui menor concentração de matéria orgânica e maior concentração de sódio que a vinhaça *in natura*, sua aplicação deve ser localizada nas linhas de cultivo. Devido a estas diferenças, este subproduto não estava sendo bem aceito pelos produtores de cana-de-açúcar, temerosos com os possíveis efeitos de sua aplicação como fertilizante no solo.

Existem relatos de que processo de biodigestão e concentração da vinhaça preservam suas características de fertilizante. Porém estas informações são ainda escassas e inconsistentes. Por isso, este trabalho foi realizado com o objetivo de comparar os efeitos da aplicação do CVB como fertilizante com os efeitos da vinhaça *in natura* e KCl, que são tradicionalmente utilizados, sobre as características químicas do substrato e no crescimento e nutrição de cana-de-açúcar.

Este trabalho mostrou a possibilidade da utilização do CVB como fertilizante em mudas de cana-de-açúcar. Os resultados de sua aplicação foram similares aos da vinhaça *in natura* e do KCl tanto na presença quanto na ausência da adubação nitrogenada ou em diferentes doses. A fertilização com CVB proporcionou os mesmos benefícios para a fertilidade do substrato e nos aspectos nutricionais da cana-de-açúcar que a vinhaça *in natura* ou KCl.

Esses resultados mostram que provavelmente o CVB poderá ser utilizado em campo sem maiores preocupações, pois as condições controladas e o substrato arenoso utilizados neste experimento eram propícios para ressaltar as diferenças entre os tratamentos. Quando aplicado em campo, sob a influência das variações ambientais, é possível que as diferenças entre o CVB e a vinhaça *in natura* sejam ainda menores. No entanto, cabem ainda pesquisas que busquem esta comprovação.