

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JULHO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CAMPUS DE JABOTICABAL

**Nutrição e crescimento inicial de cana-de-açúcar
fertilizada com concentrado de vinhaça biodigerida em
condições de vaso.**

KAMILLA ORTEGA
Engenheira Agrônoma

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL

2011

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JULHO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CAMPUS DE JABOTICABAL

**Nutrição e crescimento inicial de cana-de-açúcar
fertilizada com concentrado de vinhaça biodigerida em
condições de vaso**

KAMILLA ORTEGA

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).

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL

Setembro - 2011

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

KAMILLA ORTEGA – nascida em 7 de outubro de 1982 em São Carlos. Em março de 2004 ingressou no curso de Engenharia Agrônômica na UNESP- Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – campus de Jaboticabal, onde foi bolsista PIBIC de 2007 a 2008, trabalhando com tratamento de águas residuárias de suinocultura em reatores UASB, no departamento de Engenharia Rural. Obteve o título de Engenheira Agrônoma em dezembro de 2008. Em março de 2009 ingressou no Mestrado em Agronomia pelo programa de Produção Vegetal da UNESP - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – campus de Jaboticabal, obtendo o título de mestre em setembro de 2011.

O QUE SABEMOS É UMA GOTA; O QUE IGNORAMOS É UM OCEANO!

(ISAAC NEWTON)

Aos meus pais,

Maria Santana M. Ortega e José Carlos Ortega

DEDICO

A toda minha família pela compreensão e incentivo

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

A Deus, por iluminar minha caminhada, meus estudos, minha família e por dar força em todos os momentos difíceis que passei.

Aos meus pais Maria Santana M. Ortega e José Carlos Ortega, por sempre estarem ao meu lado me apoiando, e incentivando minha vida profissional.

Ao meu irmão Igor e sua esposa Kelli e ao meu Irmão Ivan e sua namorada Elizangela, pelo apoio, amizade e pelos momentos de descontração.

A meu sobrinho Yuri, um agradecimento especial, por proporcionar tanta alegria e por ser uma pessoa tão meiga e carinhosa.

A meu namorado André pela compreensão, pelo carinho, incentivo e ajuda nos momentos difíceis.

A meu professor orientador Jairo Osvaldo Cazetta, por sempre me ajudar, apoiar e entender minhas dificuldades e meus problemas pessoais.

As amigas Marcela Simões Flório Ferreira e Gabriela Milani Manzi, pela estadia, incentivo, pelo apoio nos momentos difíceis e pelos momentos de descontração.

A meus amigos do laboratório Aloísio, Elen, Juliana, Leandro, Raquel e Terezinha, obrigada pelos momentos de descontração, pela ajuda e incentivo.

Ao técnico de laboratório José Carlos pela ajuda com as análises, pelo apoio e incentivo.

Aos coordenadores do programa de pós-graduação em Agronomia - Produção Vegetal.

A capes pela concessão de bolsa.

A UNESP e ao programa de Pós-graduação em Agronomia (Produção Vegetal).

A BPI – Biotechnical Processes International, pelo fornecimento das vinhaças necessárias à realização desta dissertação.

Sumário

RESUMO	vii
ABSTRACT	viii
1. INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1. Vinhaça <i>in natura</i>	3
2.2. Biodigestão anaeróbia da vinhaça <i>In Natura</i>	5
2.3. Concentração da vinhaça.....	7
2.4 Adubação da cana-planta	8
2.5 Solos	12
3. MATERIAL E MÉTODOS	14
4.0. RESULTADOS E DISCUSSÃO	18
4.1. Dados biométricos e matéria seca das plantas de cana-de-açúcar.....	18
4.2. Teor de macronutrientes e micronutrientes nas folhas diagnóstica da cana-de-açúcar.....	28
4.3. Acúmulo de macronutrientes e micronutrientes na parte aérea da cana-de-açúcar.....	39
CONCLUSÕES	51
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51

Nutrição e crescimento inicial de cana-de-açúcar fertilizada com concentrado de vinhaça biodigerida.

RESUMO - Com o objetivo de estudar o comportamento do concentrado de vinhaça biodigerida (CVB) em relação à vinhaça *in natura* (VN), no crescimento e na nutrição de plantas de cana-de-açúcar, foi desenvolvido um experimento em vasos contendo a combinação de dois solos (latossolo e argissolo), com dois níveis de fertilidade (sem e com a correção da fertilidade) e com quatro tratamentos qualitativos em relação ao K (sem adição de K; com VN na dose de 100 m³ ha⁻¹, com CVB ou KCl em dose de K igual à da VN). Os resultados revelaram que houve comportamento similar entre as vinhaças, tanto na ausência como na presença da correção da fertilidade do solo, sendo que para o concentrado de vinhaça biodigerida os valores tenderam a serem inferiores. O latossolo na ausência da correção da fertilidade induziu maiores resultados para crescimento e nutrição das plantas, em relação ao argissolo, por ter fertilidade original melhor. Porém na presença da correção da fertilidade o latossolo induziu menores resultados. A correção da fertilidade do solo é fundamental para se obter melhores respostas para o crescimento e nutrição da planta de cana-de-açúcar, assim tanto o latossolo quanto o argissolo, bem manejados, podem proporcionar bons resultados.

Termos de indexação: Adubação potássica, vinhoto, biodigestão anaeróbia, Latossolo, Argissolo.

Initial growth of sugar cane plants fertilized with concentrated of biodigested vinasse.

SUMMARY - In order to study the effect of concentrated of biodigested vinasse (CVB) compared to in natura vinasse (VN) on the growth and nutrition of sugar cane plants, an experiment was conducted in pots containing a combination of two soils (Oxisol and Ultisol) with two fertility levels (with and without fertility correction) and with four qualitative treatments related to K (control = without addition of K; with VN in a dose of $100 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$; with CVB or KCl at a dose of K equal to the VN). The results showed that with soil fertility correction, the CVB had similar behavior regarding to plant height, stem diameter, internodes number, leaf area, K and Mg content, and accumulation of P. The VN promoted higher values for P content, and accumulation of Cu and K, N, Ca, S and Cu. In the absence of soil fertility correction, CVB was similar to overall plant growth and accumulation of K, N, Ca, S and Cu; the highest values for VN on K content and higher values for CVB regarding to Mg, P and Cu content, and accumulation of P. In the Oxisol, both vinasses induced similar values for content of K, S, Cu and Mn, and accumulation of S, N, Ca, Mg, Mn and Zn. In the Ultisol vinasses had similar values for content of Mg, Cu and Mn, and Ca, Mg, Mn and Zn accumulation. The highest values of K and S levels, and S and N accumulation were found when plants were fertilized with VN. Both vinasses showed better results of K, Mg and Cu content in the Oxisol. The VN had similar behavior on both soils for S content, and induced higher values for Zn accumulation in Ultisol. The CVB induced higher values for S content and accumulation of Mg in both tested soils.

Index Terms: potassium fertilization, vinasse, anaerobic digestion, Oxisol, Ultisol

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, a cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) é uma das melhores opções de fonte de energia renovável, apresentando grande importância no cenário agrícola brasileiro (MAULE et al., 2001).

A produção de cana-de-açúcar em 2010 no Brasil foi de 642 milhões de toneladas, com uma produção de etanol de aproximadamente 28,1 bilhões de litros (AGRIANUAL, 2011). Levando em consideração que as indústrias produzem cerca de 10 litros de vinhaça por litro de álcool (MARQUES, 2006), pode-se estimar uma produção anual de aproximadamente 280 bilhões de litros de vinhaça.

A vinhaça possui alto conteúdo de matéria orgânica e nutrientes minerais, especialmente potássio. Por isso esse resíduo é utilizado na fertilização em algumas áreas de canaviais, em substituição total ou parcial à adubação potássica mineral. As doses das vinhaças podem ser recomendadas de acordo com o teor de potássio contido na vinhaça e na recomendação da adubação potássica, para cada solo (SPIRONELLO et al., 1996). Estudos sobre utilização racional de resíduos na agricultura são fundamentais para minimizar o problema de geração de resíduos pelas indústrias, a poluição das águas subterrâneas e diminuição de importação de adubos (ROSSETO et al., 2008).

Os benefícios gerados na aplicação da vinhaça como a capacidade em fornecer potássio e melhorar as propriedades físicas e químicas do solo, recomendam o uso da vinhaça. Porém o aspecto econômico do seu transporte e aplicação em locais distantes das usinas ainda é bastante limitante (MARQUES et al., 2008). Locais com mais de 35 km de distância das usinas, já passam a ser um problema, com maiores gastos com combustível (CASAGRANDE, 2007). A concentração da vinhaça é uma alternativa para diminuir os custos com o transporte (FREIRE et al., 2000), mas exige gasto extra de energia da indústria.

O sistema de concentração da vinhaça é ainda pouco utilizado, provavelmente devido ao alto custo de implantação do concentrador de vinhaça, que é um equipamento feito todo de aço inoxidável, com alto custo de aquisição e altos gastos com energia para a concentração (ALBERS, 2007).

A biodigestão da vinhaça é uma alternativa interessante, pois o biogás produzido apresenta considerável potencial energético e é um combustível renovável e disponível (SZYMANSKI, 2010). Seu poder calorífico pode ser usado para a concentração da própria vinhaça biodigerida para diminuir o volume a ser transportado. Desse modo seria uma possível solução para problemas com a gestão da vinhaça no Brasil (SALOMON, 2009).

Para a aplicação da vinhaça deve-se levar em consideração o tipo e condições do solo, ou seja, conteúdo de matéria orgânica, classe textural, existência de vinhaça residual, profundidade do lençol freático, proximidade de nascentes e intensidade de atividade vegetal na área. Os solos apresentam diferentes capacidades de retenção de elementos orgânicos e inorgânicos. A retenção e a movimentação de elementos solúveis são determinadas pela textura e porosidade do solo e pela característica de cada superfície coloidal, a qual influenciará na solubilidade e troca de íons por processos de adsorção/dessorção, devido a complexação e reação redox dos elementos ativos na solução do solo, sendo que essas propriedades são fortemente influenciadas pela quantidade de matéria orgânica existente e pela drenagem do solo (SILVA et al., 2007).

Levando em conta o exposto, foi desenvolvido esse trabalho com o objetivo de avaliar o efeito do concentrado de vinhaça biodigerida no crescimento inicial e nutrição da planta de cana-de-açúcar em comparação com a vinhaça in natura, com a adubação potássica mineral (KCl) em dois tipos de solos.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Vinhaça *In natura*

A vinhaça é um resíduo líquido resultante do processamento do álcool, sendo o principal subproduto da indústria sucroalcooleira, pela grande quantidade produzida. Dentre os principais elementos químicos componentes da vinhaça tem-se o potássio, o nitrogênio e matéria orgânica (LYRA et al., 2003).

As características físicas e químicas da vinhaça são variáveis, ROSSETO et al. (2008) citam que um levantamento realizado em 28 usinas do estado de São Paulo observaram os seguintes resultados: pH 4,15; temperatura 89,16°C; demanda bioquímica de oxigênio (DBO) 16949,76 mg L⁻¹; demanda química de oxigênio (DQO) 28450,0 mg L⁻¹; sólidos totais 25154,62 mg L⁻¹; cálcio 515,25 mg L⁻¹ (CaO); cloreto 1218,91 mg L⁻¹ (Cl), ; cobre 1,20 mg L⁻¹ (CuO); ferro 25,17 mg L⁻¹ (Fe₂O₃); fósforo total 60,41 mg L⁻¹ (P₂O₅); magnésio 225,64 mg L⁻¹ (MgO); manganês 4,82 mg L⁻¹ (MnO); nitrogênio total 356,63 mg L⁻¹ (N); nitrogênio amoniacal 10,94 mg L⁻¹ (N); potássio total 2034,89 mg L⁻¹ (K₂O); sódio 51,55 mg L⁻¹ (Na); sulfato 1537,66 mg L⁻¹ (SO₄); sulfito 35,90 mg L⁻¹ (SO₄); zinco 1,7 mg L⁻¹ (ZnO).

Segundo GLÓRIA e ORLANDO FILHO (1984) essa variação da composição da vinhaça de cana-de-açúcar ocorre porque ela é dependente da composição do vinho utilizado, e este da natureza e composição da matéria-prima, do sistema usado no preparo do mosto, do método de fermentação adotado e do sistema de condução da fermentação alcoólica, da raça de levedura utilizada, do tipo de aparelho destilatório empregado, da maneira de destilação e do tipo de flegma separado

Quando depositada no solo, a vinhaça pode promover melhoria em sua fertilidade, porém, as quantidades não devem ultrapassar sua capacidade de retenção de íons, isto é, as doses a serem aplicadas devem ser calculadas de acordo com as características de cada solo, uma vez que este possui quantidades desbalanceadas de elementos minerais e orgânicos, podendo ocorrer a lixiviação de vários desses íons, sobretudo do nitrato e do potássio (SILVA et al., 2007).

PASSARIN et al. (2007) utilizando doses de vinhaça de 0; 150; 300; 450 e 600 m³ ha⁻¹ por dois anos seguidos em uma área de cana-de-açúcar com latossolo vermelho distroférico típico e textura muito argilosa, verificaram que as diferentes doses de vinhaça não promoveram aumentos significativos nos índices de agregação do solo para as profundidades de 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm. Isso provavelmente se deve ao tempo de contato da vinhaça com o solo e a quantidade e as espécies de microrganismos que podem não ter sido suficientes para ocorrência das interações necessárias entre os fatores bióticos e a realização de uma atividade biológica capaz de promover melhorias na estabilidade dos agregados.

LYRA et al. (2003) trabalharam em uma área de 12 ha com três tipos de solos (Espodossolo ferro cárbico (textura arenosa), Gleissolo háplico tb (textura argilosa) e Gleissolo háplico tb (textura muito argilosa)), fertirrigada com vinhaça, na qual foram instalados 30 poços de monitoramento com profundidade de 3 m, para avaliar a qualidade da água do lençol freático, concluindo que o poder de remoção do solo nas condições estudadas, para as variáveis DBO e DQO, foi satisfatória, indicando a eficiência da redução desses parâmetros.

Os efeitos da aplicação da vinhaça sobre a elevação do pH do solo são decorrentes da oxidação da matéria orgânica, provocada pela população microbiana que ataca a matéria orgânica e decompondo-a parcialmente, diminui a acidez do solo (SILVA et al., 1999).

Utilizando colunas de PVC 20 cm x 110 cm, para reproduzir o perfil do solo e irrigando com vinhaça, BRITO e ROLIM (2005) observaram que a elevação do pH ocorreu em todas as camadas, não obedecendo a preferência por nenhuma profundidade, o que demonstra que houve efeito da vinhaça aplicada no solo em toda coluna, isso pode ser devido ao solo usado ser extremamente arenoso o que provavelmente facilitou a percolação do resíduo ao longo de toda a coluna de solo.

PENATTI e FORTI (1997) citado por VITTI et al. (2008) observaram em dezenas de ensaios que a complementação de nitrogênio fertilizante aplicado após a adição de vinhaça, apresentava melhor retorno econômico.

Segundo PAULINO et al. (2002), a aplicação de doses elevadas de vinhaça não são recomendadas, pois verificaram que a aplicação de 600 m³ ha⁻¹ de vinhaça além de

aumentar os custos de produção com maiores gastos com máquinas, mão-de-obra e combustível, resultaria em produções agrícola e industrial inferiores às doses de até 400 m³ ha⁻¹.

A produtividade de colmos da cana-de-açúcar pode aumentar com dose de vinhaça de até 300 m³ ha⁻¹. Porém aumentos adicionais na dose de vinhaça, podem provocar redução, embora não significativa, na produtividade da cana (MEDINA et al., 2002).

Segundo FREITAS et al. (2010) enquanto a vinhaça aumentou o teor de potássio em amostras de latossolo, cultivado com cana-de-açúcar na cidade de São Roque do Canaã-ES, quando comparados com as amostras sem adição de vinhaça, os teores de fósforo, magnésio e a acidez trocável, praticamente não foram alterados.

Utilizando doses de vinhaça comparadas a doses de fertilizantes minerais, RODRIGUEZ (2000) verificou que a aplicação de 50 m³ha⁻¹ de vinhaça em cana soca substitui 55% do N, 72% do P₂O₅ e 100% do K₂O que seria utilizado como fertilização mineral.

2.2. Biodigestão anaeróbia da vinhaça *in natura*

Dentre as formas alternativas de conversão da biomassa em energia secundária, destaca-se a biodigestão anaeróbia de resíduos (agroindustriais, domésticos, etc.), o que permite o seu aproveitamento sob a forma de biogás (metano). Na verdade, a produção de metano é apenas uma das vantagens da biodigestão anaeróbia, cuja finalidade maior é o tratamento de efluentes. As vantagens são: alta redução de DBO, produção de biofertilizante, pequena produção de lodo, baixos custos operacionais e de investimento (POMPERMAYER, 2003).

A biodigestão anaeróbia da vinhaça é uma alternativa pouco utilizada e estudada. Existem muitos estudos, inclusive no Brasil, os quais abordam a aplicação da tecnologia de tratamento de efluentes similares à vinhaça, com o emprego de biodigestores de elevada eficiência, para tratar efluentes produzidos em altas vazões, com elevadas concentrações de carga orgânica, com reduzido tempo de detenção

hidráulica. Existem muitas plantas operando nestas condições, porém apenas uma com vinhaça (instalada na Usina São Martinho, em Pradópolis – SP). Até o ano de 2007 a não aplicação do processo no tratamento da vinhaça é devido ao seu alto custo de investimento e de operação (LUCAS JR, 2007), que deve ser reduzido com o desenvolvimento dessa tecnologia.

A temperatura inicial de aproximadamente 85°C da vinhaça, torna-se interessante para o processamento da biodigestão, pois é mais fácil e menos oneroso reduzir a temperatura para valores menores que gastar energia para aquecimento. (CORTEZ *et al.*, 2007). Os microorganismos presentes na biodigestão, assim como os demais seres vivos, necessitam de condições adequadas ao seu desenvolvimento, por isso a importância da manutenção do pH do meio numa faixa tolerável. Admite-se que esta faixa se encontre entre 6 e 8, sendo considerado ótimo de 7 a 7,2. Dessa forma adiciona-se hidróxido de sódio ou de cálcio ou bicarbonato de sódio para manter o pH da vinhaça nas condições adequadas para a digestão (GRACIANO, 2007; PINTO, 1999).

O sódio contido na vinhaça biodigerida pode causar efeitos prejudiciais à planta de cana-de-açúcar. Segundo MEDEIROS (2011) plantas de cana-de-açúcar cultivadas em vasos e irrigadas com solução salina (NaCl), apresentaram, a partir de 75 mM de NaCl, redução significativa no número de folhas (52%) e na biomassa fresca (60%) em relação a um tratamento controle. Na maior concentração salina (100 mM de NaCl), essas reduções aumentaram para 68% e 79%, respectivamente. Outra mudança morfológica observada foi à redução do crescimento da parte aérea. O aumento da salinidade na solução de rega, na concentração de 100 mM, resultou numa redução (50%) da altura das plantas.

SANTANA *et al.* (2007) testaram efeitos da concentração de sal na água de irrigação, de cana de açúcar em fase inicial de crescimento. Com o aumento da salinidade da água de irrigação, foi constatado uma redução linear da evapotranspiração da cana-de-açúcar, sendo esta uma resposta independente da classe textural do solo, porém uma maior redução foi verificada em solos arenosos.

Sabe-se que a vinhaça produzida a partir de uma tonelada de cana moída (1 m³) após passar pelo processo de biodigestão, pode produzir cerca de 7,2 kg de

metano com poder calorífico de 50 MJ.kg^{-1} . Logo, obtém-se um total de 100 kWh.t^{-1} cana (SOUZA et al., 2007).

Através da biodigestão da vinhaça obtém-se $0,30$ litros de CH_4g^{-1} de DQO consumida, sendo que a proporção de CH_4 no biogás é de 55 a 65%, sendo o restante composto por CO_2 e outros gases menos concentrados (GRANATO et al., 2002).

Quando submetido a um processo de purificação, o poder calorífico do biogás, produzido através da vinhaça, pode se aproximar ao observado para o gás natural, com a vantagem do biogás ser um combustível renovável e disponível (SZYMANSKI et al., 2010).

2.3. Concentração da vinhaça

A concentração da vinhaça é feita geralmente por evaporação, o que reduz seu volume consideravelmente. A vinhaça concentrada pode ser usada como ração animal, como fertilizante, onde mantém as características minerais da vinhaça "in natura", pode ser queimada em caldeiras especiais gerando energia e diminuir a captação de água da usina, se o condensado retirado da evaporação for tratado e reutilizado no processo. O alto custo energético da concentração da vinhaça, independente do processo, é talvez a sua principal restrição (ALBERS, 2007), porém, a energia gerada na biodigestão anaeróbia pode ser utilizada para compensar esse gasto de energia.

Os primeiros registros sobre concentração de vinhaça aparecem em 1954, quando a empresa austríaca Vogelbusch instalou um primeiro concentrador usando evaporadores inclinados tipo termo-sifão. Logo depois a mesma empresa desenvolveu o evaporador tipo película fina, no qual o líquido a evaporar escorre com alta velocidade pelas paredes internas dos tubos do trocador, reduzindo o seu tempo de permanência em contato com o vapor de aquecimento e evitando as incrustações. Esse tipo de evaporador se revelou logo como o mais indicado para lidar com líquidos com alto teor de sais incrustantes, como a vinhaça (BIASE, 2007).

A produção média de vinhaça na usina Cerradinho-SP, em 2008 foi de $240 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$, dos quais $100 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$ foram para a concentração e $140 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$ para o tanque "in natura". A vinhaça de entrada no concentrador, a uma vazão de $100 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$, registrou 6 Kg m^{-3} de

potássio e $0,9 \text{ Kg m}^{-3}$ de nitrogênio. Na saída, a vazão da vinhaça concentrada foi de $22 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, com $30,7 \text{ Kg m}^{-3}$ de potássio e $4,2 \text{ Kg m}^{-3}$ de nitrogênio. Além de permitir ganho de tempo e redução de gastos, a vinhaça concentrada aplicada como fertilizante nos canaviais reduz a possibilidade de contaminação em regiões onde o lençol freático é próximo à superfície, pois tendo pelo menos 5 vezes mais potássio do que a vinhaça "in natura" e 4,5 vezes mais nitrogênio, pode ser aplicada em volume reduzido, o que evita a percolação (CAROLO, 2009).

Quando se faz a evaporação, retira-se grande quantidade de água da vinhaça, o que é chamado de condensado. Esta água pode ser reaproveitada no processo da usina, reduzindo-se a captação de água dos rios. Esse condensado poderia ser retornado à diluição do mel na fermentação, à embebição da moenda e para outros fins dependendo do tratamento biológico realizado, necessitando da realização de estudos de viabilidade técnica e econômica (ALBERS, 2007).

2.4. Adubação de cana planta

O K destaca-se dentre os nutrientes usados na adubação da cana-de-açúcar, pois este é o nutriente exportado em maior quantidade por essa cultura, além de influenciar na sua qualidade. Um princípio normalmente usado para orientar a recomendação de adubação potássica na cultura da cana-de-açúcar é a avaliação da disponibilidade desse nutriente no solo. Normalmente, são determinados os teores considerados trocáveis no solo, e as interpretações dessas análises são baseadas em faixas de fertilidade, admitindo-se valores mínimos críticos, abaixo dos quais o desenvolvimento vegetal é limitado (ORLANDO FILHO et al., 1996). O nível crítico de K no solo é de $2,1 \text{ mmol} \cdot \text{dm}^{-3}$ (RAIJ, 1974).

As concentrações de K no solo (textura arenosa) que recebeu vinhaça em doses equivalentes a 0, 500 e $1000 \text{ m}^3 \text{ há}^{-1}$ obtiveram um acréscimo considerável nas camadas de zero a 100 cm de profundidade (BRITO e ROLIM, 2005).

Devido à dinâmica das reações de troca iônica nos solos, é importante considerar as inter-relações entre K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} , pois o excesso de um poderá

prejudicar os processos de adsorção do outro e, conseqüentemente, prejudicar o crescimento das plantas (ORLANDO FILHO et al., 1996).

A absorção preferencial do potássio pelas plantas decorre do fato deste ser um íon monovalente com menor raio de hidratação comparado aos íons Ca e Mg. Doses elevadas de potássio causam decréscimo nos teores de Ca e Mg foliar, podendo até provocar queda da produção, assim como a relação K/Ca baixa também pode gerar perdas na produção (PRADO, 2008).

Apesar de não fazer parte de nenhum composto orgânico presente na planta o potássio é ativador de aproximadamente 60 enzimas, o que direta ou indiretamente afeta o metabolismo da planta. Sendo assim, os mais evidentes efeitos da falta do potássio são: redução na síntese e translocação de açúcares; problemas na abertura e fechamento dos estômatos e na regulação osmótica. Na cana-de-açúcar a deficiência de potássio diminui o movimento dos açúcares das folhas para o colmo (MALAVOLTA, 2006), o que afeta o rendimento da cultura.

O nitrogênio contribui com 1%, em média, na massa seca total da cana-de-açúcar. Porém, seu papel é tão importante quanto ao do carbono, hidrogênio e oxigênio que constituem juntos mais de 90% da matéria seca. No solo, o nitrogênio disponível às plantas é suprido pela mineralização da matéria orgânica, fixação biológica e adição de fertilizantes nitrogenados (CARNEIRO et al., 1995).

FRANCO et al. (2008) utilizando três doses de N: 40, 80 e 120 kg há⁻¹, na forma de uréia, em cana-de-açúcar, observou que recuperação de N-uréia pela cana-planta (planta toda) foi na média dos experimentos de 30, 30 e 21 %, respectivamente. A menor recuperação do N-uréia nas maiores doses deveu-se às perdas de N do sistema solo-planta. Essas perdas podem ter ocorrido por lixiviação de NO³⁻, desnitrificação, volatilização de amônia do fertilizante e por perdas naturais de N pela folhagem da cultura durante o processo de maturação. A distribuição do N proveniente do fertilizante nas diversas partes da planta não variou com a dose de N, sendo em média de 50 % nos colmos, 22% nas folhas secas, 20 % nos ponteiros e 8 % nas raízes.

No estado de São Paulo usualmente a recomendação de adubação para a cultura de cana-de-açúcar segue o proposto no Boletim técnico 100 do IAC (SPIRONELLO et al., 1996), conforme o apresentado nas Tabelas 1 e 2.

Segundo Spironello et al. (1996), dependendo da meta da produtividade da cultura, recomenda-se aplicar 30 a 60 Kg ha^{-1} de N, além da dosagem indicada na Tabela 1, em cobertura, 30 a 60 dias após o plantio ou após o final das chuvas. Em solos arenosos indica-se parcelar a dose de K $_2$ O, aplicando até 100 Kg ha^{-1} de K $_2$ O no plantio e o restante em cobertura junto com o N.

TABELA 1. Recomendação de adubação nitrogenada e fosfatada para cana-planta.

Produtividade Esperada (tha $^{-1}$)	Nitrogênio N (Kg ha^{-1})	P resina (mg dm^{-3})			
		0 – 6	7 – 15	16 – 40	>40
< 100	30	180	100	60	40
100 – 150	30	180	120	80	60
>150	30	*	140	100	80

Fonte: Spironello et al.(1996).

* não é possível obter a produtividade dessa classe, com teor muito baixo de P no solo.

TABELA 2. Recomendação da adubação potássica para a cana-planta.

Produtividade Esperada (tha $^{-1}$)	K $^{+}$ trocável (mmol $_c$ dm $^{-3}$)				
	0 – 0,7	0,8 – 1,5	1,6 – 3,0	3,1 – 6,0	>6,0
< 100	100	80	40	40	0
100 – 150	150	120	80	60	0
>150	200	160	120	80	0

Fonte: Spironello et al. (1996).

Os teores de macronutrientes e micronutrientes, considerados adequados, na matéria seca da folha +3 de cana-planta, com 4 a 6 meses de idade estão dispostos na Tabela 3.

MALAVOLTA et al. (1997) define o nível crítico fisiológico econômico de nutrientes como faixa de teores do elemento na folha abaixo da qual a colheita é reduzida e acima da qual a adubação não é mais econômica, ou seja, não adianta colocar adubo adicional, pois o aumento na colheita é mínimo, não pagando esse gasto com mais adubo.

TABELA 3. Teores de macronutrientes e micronutrientes considerados adequados na matéria seca da folha +3 da cana-planta, com 4 a 6 meses de idade.

Elemento	Cana-de-açúcar
	gKg ⁻¹
N	19-21
P	2,0-2,4
K	11-13
Ca	8-10
Mg	2-3
S	2-3
	Mgkg ⁻¹
Cu	8-10
Mn	100-250
Zn	25-50

Fonte: Malavolta et al. (1997)

UCHOA et al. (2009), estudando a resposta de cana-planta a adubação potássica, verificaram que nas diversas variedades estudadas houve respostas às doses aplicadas. A dose de máxima eficiência econômica variou de 94 a 165 kg ha⁻¹ de K₂O e proporcionaram incrementos entre 55 e 186% na produtividade de colmo respectivamente.

As respostas de cana-planta ao potássio, nitrogênio e fósforo foram testadas por ALVERAZ et al. (1991) em seis ensaios, realizados em locais onde se iniciava o cultivo da cana-de-açúcar. Verificaram que a planta respondeu em 4 ensaios ao nitrogênio, 5 para o fósforo e apenas 3 ao potássio, indicando uma menor resposta de cana planta ao potássio.

Os efeitos da calagem e da adubação potássica na cana-de-açúcar foram estudados por ROSSETTO et al. (2004). Conduzindo seis experimentos, avaliaram a

cana-planta em três experimentos e soqueiras em dois deles. A resposta da cana ao potássio foi de natureza linear e significativa em sete das dez avaliações, tanto na cana-planta como em soqueiras, porém em um dos experimentos, cujo teor de K no solo era baixo, não se observou resposta da cana-planta ao potássio.

Segundo MENDES et al. (2010) a máxima absorção de nutrientes pela cana-de-açúcar se dá no período de 220 a 352 dias após plantio. O acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio obedece a seguinte ordem decrescente: K, N e P, sendo as quantidades extraídas superiores as adicionadas via fertilizante.

2.5. Solos

O território brasileiro é caracterizado por uma grande diversidade de “tipos” de solos, condicionados pelas diferentes formas e tipos de relevo, clima, material de origem, vegetação e organismos associados. Nas paisagens brasileiras observa-se várias classes de solos, porém, as grandes abrangências são dos Latossolos com 38,73% e dos Argissolos com 19,98%. Na região Sudeste o latossolo predomina com 56,30% e argissolo 20,68% (MACHADO et al., 2011).

Os latossolos são profundos (normalmente superiores a 2 m), horizontes B muito espesso (> 50 cm) com seqüência de horizontes A, B e C pouco diferenciados; as cores variam de vermelhas muito escuras a amareladas. A sílica (SiO₂) e as bases trocáveis (em particular Ca, Mg e K) são removidas do sistema, levando ao enriquecimento com óxidos de ferro e de alumínio que são agentes agregantes, dando à massa do solo aspecto maciço poroso, apresentam estrutura granular muito pequena, são macios quando secos e altamente friáveis quando úmidos. São solos com alta permeabilidade à água. Os latossolos são muito intemperizados, com pequena reserva de nutrientes para as plantas (SOUZA et al., 2011).

Os argissolos são solos com horizonte A ou E (horizonte de perda de argila, ferro ou matéria orgânica, de coloração clara) seguido de horizonte B textural, com nítida diferença entre os horizontes. Apresentam horizonte B de cor avermelhada até amarelada e teores de óxidos de ferro inferiores a 15%. Podem ser eutróficos, distróficos ou álicos. Têm profundidade variadas e ampla variabilidade de classes

texturais. Os solos distróficos e álicos, além da limitação da fertilidade, podem ainda apresentar problemas com a eficiência da adubação e da calagem se estiverem localizados em relevos de ondulosos a forte-ondulosos. Nos solos eutróficos, não existe limitação quanto a fertilidade. Entretanto, a retirada constante de nutrientes pelas plantas cultivadas, e a erosão nas áreas mais declivosas podem reduzir a disponibilidade de nutrientes (SOUZA et al., 2011).

A capacidade de retenção de água de um solo é bastante variada dependendo do tipo e quantidade de porosidade do mesmo. Já a drenagem é função da porosidade e altura do lençol freático (MAULE et al., 2001).

3. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado no período de novembro de 2009 a março de 2010, em casa de vegetação na UNESP - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, –

Campus Jaboticabal - Departamento de Tecnologia, cujas coordenadas geográficas são 21°15'22" Sul, 48°18'58" Oeste e altitude de 575 metros.

O experimento constou de 16 tratamentos, correspondendo a um esquema fatorial 2x2x4, (solos X níveis de fertilidade X tratamentos qualitativos em relação ao K), com 4 repetições, totalizando 64 unidades experimentais, dispostas no delineamento inteiramente casualizado. Foram testados, portanto dois tipos de solo, dois níveis de fertilidade e quatro tratamentos qualitativos em relação ao K. Como está apresentado na Tabela 4. Dentre os solos utilizados, um deles foi o Latossolo Vermelho-Escuro eutrófico, coletado na UNESP - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, em Jaboticabal-SP e o outro Argissolo Vermelho Amarelo distrófico, coletado em encosta de barranco na cidade de Monte Alto-SP. Os dois níveis de fertilidade do solo estudados foram denominados de "com" e "sem" a correção da fertilidade. Por correção da fertilidade, subentende-se calagem mais a aplicação de fósforo e nitrogênio. Os tratamentos qualitativos em relação ao potássio foram: 1) sem adição de potássio; 2) com vinhaça in natura dose de 100 m³ ha⁻¹ (equivalente a 400 kg ha⁻¹ de potássio); 3) com concentrado de vinhaça biodigerida (equivalente a 400 kg ha⁻¹ de potássio) 4) com KCl (equivalente a 400 kg ha⁻¹ de potássio).

As unidades experimentais corresponderam a vasos contendo 33 cm de diâmetro e um volume de 20 dm³ de solo.

O latossolo e o argissolo utilizados foram passados em peneira de malha de 4 mm. Uma amostra de cada solo foi submetida a análise química, que foram realizadas no laboratório de solos e adubos da UNESP, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Jaboticabal, e os resultados estão apresentados na Tabela 5.

TABELA 4. Tipos de solos, níveis da correção da fertilidade do solo e tratamentos qualitativos em relação ao potássio.

Solo	Níveis de fertilidade do solo	Tratamentos qualitativos
------	-------------------------------	--------------------------

		(Calagem + aplicação de fósforo e nitrogênio)	em relação ao potássio
Latossolo	Sem	Sem	Sem Vinhaça <i>in-natura</i> Concentrado de vinhaça biodigeriada KCl
			Com
	Com	Sem	Sem Vinhaça <i>in-natura</i> Concentrado de vinhaça biodigeriada KCl
			Com
Argissolo	Sem	Sem	Sem Vinhaça <i>in-natura</i> Concentrado de vinhaça biodigeriada KCl
			Com
	Com	Sem	Sem Vinhaça <i>in-natura</i> Concentrado de vinhaça biodigeriada KCl
			Com

TABELA 5. Análise Química dos solos.

Amostra	pH em CaCl ₂	MO gdm ⁻³	P Resina Mgdm ⁻³	K	Ca	Mg	H+Al	SB	T	V
Argissolo	4,7	13	4	1,9	12	7	28	20,9	48,9	43
Latossolo	5,1	15	12	1,8	22	9	31	32,8	63,8	51

Para os tratamentos que receberam a correção da fertilidade, os solos foram adicionados de calcário (PRNT: 125% CaO: 58,5%, MgO: 9,0% e PN: 127%) e incubados com umidade em torno de 60% da capacidade de campo. As doses de calcário foram calculadas para elevar o pH dos solos a 5,8 e que foram determinadas

em um ensaio preliminar onde cada solo foi incubado com doses crescentes de calcário e posteriormente obtidas as curvas Dose aplicadas X pH.

As mudas de cana de açúcar (RB 86 7515) foram preparadas em recipientes com 500 cm³ de areia, a partir de minitoletes com 5 cm de comprimento e contendo 1 gema (Figura 1), sendo conduzida por um período de aproximadamente 40 dias.



Figura 1. Mudanças de cana de açúcar preparadas a partir de minitoletes plantados em recipientes de 500 m³ contendo areia lavada.

Três semanas após a calagem, foi aplicado e incorporado o fósforo (na forma de superfosfato triplo) na dose de 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (SPIRONELLO et al., 1996) e as mudas mais uniformes foram escolhidas e plantada uma muda por vaso.

Vinte dias após o plantio das mudas nos vasos, o nitrogênio (na forma de sulfato de amônio) foi aplicado nos devidos tratamentos, na dose de 30 kg ha⁻¹ de nitrogênio (SPIRONELLO et al., 1996). Neste mesmo momento também foram aplicados os tratamentos qualitativos em relação ao potássio.

A vinhaça in natura e o concentrado de vinhaça biodigerida, possuíam pH a 25° C igual a 4,4 e 9,3 teor de matéria orgânica de 13,32 e 48,25 g L⁻¹, nitrogênio de 0,23 e 0,92 g L⁻¹, potássio de 4,0 e 17,0 g L⁻¹ e sódio de 0,1 e 15 g L⁻¹, respectivamente.

Após a aplicação dos tratamentos qualitativos em relação ao potássio, o experimento foi conduzido por um período de 120 dias, (Figura 2) quando as plantas

foram avaliadas quanto a: altura de plantas, a medida foi feita do nível do solo até a folha + 1 (primeira folha com bainha visível), com fita métrica; diâmetro do terço médio dos colmos, medida por meio de um paquímetro na altura de 1/3 do comprimento do colmo; comprimento do colmo, medida realizada do nível do solo até folha +3 (terceira folha contando a partir da +1); número de entrenós e área foliar segundo metodologia descrita por Hermann & Câmara (1999): $AF = C \times L \times 0,75 \times (N + 2)$, em que C é o comprimento da folha +3, L é a largura da folha +3, 0,75 é o fator de correção para área foliar da cultura, e N é o número de folhas abertas com pelo menos 20% de área verde.

A seguir as plantas foram cortadas rente ao solo e separadas em colmo, folhas diagnósticas que são as folhas +3, sendo a folha +1 a primeira com bainha visível (RAIJ et al., 1996), folhas verdes e folhas secas, que foram secas em estufa de circulação forçada de ar, a 60-70°C, até peso constante para a determinação da matéria seca. A análise foliar para determinação de macronutrientes e micronutrientes, foram realizadas de acordo com a metodologia descrita por MALAVOLTA (2006). Para a análise de teor de macronutrientes e micronutrientes foi utilizada a folha diagnóstica toda e sem descartar a nervura como indicado por RAIJ et al. (1996), por ser um experimento de vaso com uma planta por vaso o material que sobraria usando o terço médio e descartando a nervura seria insuficiente para as análises.



Figura 2. Aspecto geral da casa de vegetação e do experimento em vasos, quando as plantas estavam com 90 dias após o transplântio.

Os resultados foram submetidos à análise de variância (teste F), no esquema fatorial de 2x2x4 (solos x correções x tratamentos) e as médias comparadas pelo Teste de Tukey a nível de 5% de probabilidade, usando o programa estatístico AgroEstat-Sistema para Análises Estatísticas de Ensaio Agrônômicos (BARBOSA e MALDONADO JR, 2010).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Avaliações biométricas e de matéria seca das plantas de cana-de-açúcar.

Todas as variáveis de crescimento das plantas tiveram influência ($p < 0,01$) dos efeitos das interações entre solo e correção da fertilidade do solo, bem como da interação entre correção da fertilidade do solo e tratamentos qualitativos em relação ao potássio. A interação entre solo e tratamentos qualitativos em relação ao potássio foi significativa ($p < 0,01$) apenas para área foliar. Os coeficientes de variação para os dados de crescimento da planta foram menores que 15% (Tabela 6) e para matéria seca (Tabela 7) abaixo de 20%, o que indica uma boa precisão do experimento.

TABELA 6. Valores do teste F da análise de variância para efeitos principais e Interações para dados de crescimento de plantas.

Causas de variação	Altura	Diâmetro de colmo	Comprimento de colmo	Número de entrenós	Área Foliar
Efeito Solo (A)	0,95 ^{NS}	4,39*	4,39*	2,08 ^{NS}	17,65**
Efeito Correção da fertilidade do solo (B)	166,18 **	34,98**	34,98**	129,26**	117,90**
Efeito tratamentos qualitativos em relação a potássio (C)	2,93 *	4,11*	4,11*	2,69 ^{NS}	4,22*
Interação AxB	25,27 **	7,30**	7,30**	21,56**	26,74**
Interação AxC	1,16 ^{NS}	1,46 ^{NS}	1,46 ^{NS}	2,56 ^{NS}	6,90**
Interação BxC	5,22 **	10,10**	10,10**	6,25 **	21,02**
Interação AxBxC	2,21 ^{NS}	0,58 ^{NS}	0,58 ^{NS}	0,85 ^{NS}	2,53 ^{NS}
Coefficiente de variação	9,9692	12,3057	8,9546	11,1269	12,6575

** significativo a 1% de probabilidade; * significativo a 5% de probabilidade; NS: não significativo.

A interação entre solo e correção da fertilidade do solo foi significativa para folhas verdes e colmos ($p < 0,01$) e também para folhas secas ($p < 0,05$). Houve interação significativa entre solo e tratamentos qualitativos em relação ao potássio para folhas verdes e colmos ($p < 0,01$). Ocorreu também interação significativa ($p < 0,01$) entre correção da fertilidade do solo e tratamentos qualitativos em relação ao potássio para, folhas verdes e colmos (Tabela 7).

TABELA 7. Valores do teste F da análise de variância para efeitos principais e interações para matéria seca das plantas.

Causas de variação	Colmos	Folhas verdes	Folhas secas
--------------------	--------	---------------	--------------

Efeito Solo (A)	5,31*	5,39*	2,81 ^{NS}
Efeito Correção da fertilidade do solo (B)	171,48**	89,43**	13,11**
Efeito tratamentos qualitativos em relação a potássio (C)	3,50*	1,55 ^{NS}	0,61 ^{NS}
Interação AxB	24,29**	9,08**	6,62*
Interação AxC	5,02**	7,11**	0,21 ^{NS}
Interação BxC	8,87**	9,92**	0,44 ^{NS}
Interação AxBxC	2,82*	2,33 ^{NS}	0,60 ^{NS}
Coefficiente de variação	19,0597	14,12	17,2901

** significativo a 1% de probabilidade; * significativo a 5% de probabilidade ($p < 0,05$); NS: não significativo.

A correção da fertilidade do solo, no geral, induziu maiores valores para alturas das plantas, diâmetro de colmos, comprimento de colmos, número de entrenós, área foliar e matéria seca de folhas verdes (Tabela 8), o que era esperado, pois os solos originais apresentavam baixo pH e baixa quantidade de nutrientes necessários para o desenvolvimento das plantas (Tabela 5) quando comparados aos limites apresentados por RAIJ et al. (2001).

Na ausência da correção da fertilidade do solo, todas as plantas ficaram menores e, nessa situação, o latossolo induziu maiores valores para todas as variáveis de crescimento da planta estudadas em comparação com o argissolo. Quando realizada a correção da fertilidade, no argissolo, as plantas tiveram alturas e número de entrenós significativamente superiores que os das que estavam em latossolo. Porém para diâmetro de colmos, comprimento de colmos e área foliar os valores não diferiram entre os solos (Tabela 8).

TABELA 8. Interações entre correção da fertilidade do solo e tipos de solos, para altura das plantas, diâmetro e comprimento de colmos, número de entrenós e área foliar.

Correção da fertilidade do solo	Solo	
	Latossolo	Argissolo
	----- Altura das plantas (m) -----	
Com	1,7806 B a	1,9425 A a
Sem	1,4662 A b	1,2262 B b
	----- diâmetro de colmos (cm) -----	
Com	2,5365 A a	2,5812 A a
Sem	2,3056 A b	1,9594 B b
	----- comprimento de colmos (cm) -----	
Com	1,4906 A a	1,5731 A a
Sem	1,2362 A b	0,9637 B b
	----- número de entrenós -----	
Com	7,8125 B a	8,4375 A a
Sem	6,5000 A b	5,3125 B b
	----- Área Foliar cm ² -----	
Com	6806,2673 A a	6987,0291 A a
Sem	5747,1633 A b	4001,6325 B b

Médias seguidas por letras minúsculas iguais, nas colunas, não diferem entre si pelo teste Tukey, (5%); Médias seguidas por letras maiúsculas iguais, nas linhas, não diferem entre si pelo teste Tukey, (5%).

Na ausência da correção da fertilidade, os tratamentos qualitativos em relação ao potássio, para altura das plantas e número de entrenós, não diferiram entre si (Tabela 9).

TABELA 9. Interações entre correção da fertilidade do solo e tratamentos qualitativos em relação ao potássio, para altura das plantas, diâmetro e comprimento de colmos, número de entrenós e área foliar.

Correção da Fertilidade do solo	Tratamentos qualitativos em relação ao potássio			
	Vinhaça in natura	Concentrado de vinhaça biodigerida	KCl	Sem adição de K
	----- altura das plantas m -----			
Com	1,8737 AB a	1,6750 B a	2,0012 A a	1,8962 A a

Sem	1,4000 A b	1,4000 A b	1,3662 A b	1,2187 A b
----- diâmetro de colmos cm -----				
Com	2,5750 AB a	2,2500 B a	2,7000 A a	2,7125 A a
Sem	2,2750 A b	2,2875 A a	2,3125 A b	1,6550 B b
----- comprimento de colmos cm -----				
Com	1,5725 A a	1,3800 B a	1,5612 A a	1,6137 A a
Sem	1,0812 AB b	1,1787 A b	1,1275 AB b	1,0125 B b
----- número de entrenós -----				
Com	7,8750 B a	7,3750 B a	8,1250 AB a	9,1250 A a
Sem	5,5000 A b	6,3750 A b	6,0000 A b	5,7500 A b
----- Área Foliar -----				
Com	7060,389 A a	5332,330 B a	7227,145 A a	7966,729 A a
Sem	5383,571 A b	5356,052 A a	4899,649 A b	3858,319 B b

Médias seguidas por letras minúsculas iguais, nas colunas, não diferem entre si pelo teste Tukey, (5%); Médias seguidas por letras maiúsculas iguais, nas linhas, não diferem entre si pelo teste Tukey (5%).

Para comprimento de colmos, diâmetro de colmos e área foliar, o concentrado de vinhaça biodigerida, na ausência da correção da fertilidade, não diferiu de vinhaça in natura (Tabela 9).

Na presença da correção da fertilidade, vinhaça in natura, KCl e sem adição de potássio foram os que induziram os maiores valores de comprimento de colmo, enquanto o concentrado de vinhaça biodigerida os menores (Tabela 9).

Na Tabela 9 observa-se que na presença da correção da fertilidade, o concentrado de vinhaça biodigerida proporcionou plantas com alturas e diâmetros de colmos semelhantes à vinhaça in natura, diferindo de KCl e sem adição de potássio que induziram maiores valores. RAMOS et al. (2008), também encontraram resultados positivos e negativos nas plantas quando aplicaram vinhaça em girassol, mamona e amendoim em vasos, pois concluíram que a vinhaça proporcionou maior vigor às

plantas de mamona, mas prejudicou a emergência de plântulas de girassol e de amendoim.

Dentro de cada tratamento qualitativo em relação ao potássio, sempre que realizada a correção da fertilidade do solo, a altura das plantas, o comprimento dos colmos e o número de entrenós das plantas, foram superiores (Tabela 9). TORO (1996) em experimento com doses de vinhaça e uso de fertilizantes minerais, também concluiu que com o uso da vinhaça como fertilizante, retornos crescentes foram obtidos para cana-de-açúcar sem adubação mineral, embora a suplementação mineral é necessário para alcançar uma maior produção.

O tratamento com concentrado de vinhaça biodigerida não teve diferença nos valores de diâmetros e área foliar, quando aplicado nos solos com ou sem a correção da fertilidade, enquanto os outros tratamentos tiveram valores maiores apenas quando aplicados com a correção da fertilidade do solo (Tabela 8). TASSO JUNIOR et al. (2007) e NOGUEIRA et al. (2007) também verificaram que existe a necessidade da complementação da vinhaça com N, para obter desempenhos comparáveis à fertilização mineral.

Na presença da correção da fertilidade, o tratamento sem adição de potássio foi o que induziu os maiores valores para número de entrenós; a vinhaça in natura e o concentrado de vinhaça biodigerida os valores menores enquanto que o KCl os intermediários. Porém, para área foliar, apenas o tratamento com concentrado de vinhaça biodigerida induziu os menores valores, enquanto os outros tratamentos induziram valores superiores, e semelhantes entre si (Tabela 9).

Para matéria seca de folhas verdes e área foliar, no latossolo, o concentrado de vinhaça biodigerida não diferiu dos demais tratamentos. No argissolo, o concentrado de vinhaça biodigerida induziu os menores valores para área foliar, porém para matéria seca de folhas verdes, no mesmo solo, esse tratamento não diferiu de KCl. Portanto, a vinhaça in natura e o sem adição de potássio proporcionaram maiores valores para essa variável (Tabela 10).

TABELA 10. Interação entre tipos de solos e tratamentos qualitativos em relação ao potássio para médias de área foliar e matéria seca de folhas verdes e colmos.

Solo	Tratamentos qualitativos em relação ao potássio			
	Vinhaça in natura	Concentrado de vinhaça biodigerida	KCl	Sem adição de K
----- Área Foliar cm ² -----				
Latossolo	6694,14 A a	6312,08 AB a	6411,13 AB a	5689,52 B a
Argissolo	5749,82 A b	4376,30 B b	5715,67 A a	6135,53 A a
----- Folhas Verdes g -----				
Latossolo	58,9987 A a	65,2662 A a	67,1600 A a	56,6687 A a
Argissolo	59,5650 A a	47,1225 B b	57,7700 AB b	64,0962 A a
----- Colmos g -----				
Latossolo	107,619 AB a	102,792 AB a	121,9650 A a	90,8075 B a
Argissolo	99,6425 A a	73,7412 B b	96,9287 AB b	108,8425 A a

Médias seguidas por letras minúsculas iguais, nas colunas, não diferem entre si pelo teste Tukey (5%); Médias seguidas por letras maiúsculas iguais, nas linhas, não diferem entre si pelo teste Tukey (5%).

Apenas quando aplicados a vinhaça in natura e o concentrado de vinhaça biodigerida o latossolo obteve maiores valores que o argissolo para área foliar, porém, com KCl e em sem adição de potássio os solos não diferiram entre si (Tabela 10).

Para matéria seca de folhas verdes, na aplicação de vinhaça in natura e do sem adição de potássio, não houve diferenças entre os solos, porém com KCl e concentrado de vinhaça biodigerida o latossolo induziu valores superiores (Tabela 10).

Para matéria seca de colmos, em latossolo, a vinhaça *in natura*, o concentrado de vinhaça biodigerida e o KCl induziram valores semelhantes, sendo que o tratamento sem adição de potássio foi o que induziu menores valores. Em argissolo a vinhaça *in natura*, o KCl e o sem adição de potássio, levaram a valores semelhantes de matéria seca de colmos (Tabela 10).

Para os tratamentos com vinhaça *in natura* e sem adição de potássio, os solos tiveram valores semelhantes, porém nos tratamentos com concentrado de vinhaça

biodigerida e KCl o latossolo induziu valores superiores ao argissolo para matéria seca de colmos (Tabela 10).

Na presença da correção da fertilidade, a matéria seca de folhas verdes não diferiu entre os solos, Porém, na ausência, o latossolo induziu maiores valores. Isso pode estar relacionado às diferenças na fertilidade, na capacidade de retenção de elementos orgânicos e textura dos solos (Silva et al., 2007), pois o latossolo, nesse caso, apresentava maior fertilidade que o argissolo (Tabela 5). Na presença da correção da fertilidade ambos solos apresentaram maiores valores e isso mascarou o efeito isolado do solo (Tabela 11).

Os valores de matéria seca de colmos, na presença da correção da fertilidade foram semelhantes para os dois solos. Na menor fertilidade o latossolo induziu maiores valores em relação ao argissolo, como discutido para matéria seca de folhas verdes. O argissolo, na ausência da correção da fertilidade, induziu menores valores comparados com o mesmo solo na presença da correção, porém o latossolo nessa mesma situação induziu valores semelhantes nos dois casos (Tabela 11)

Na ausência da correção da fertilidade, os valores de matéria seca de folhas secas não diferenciaram de um solo para o outro. O latossolo, na presença da correção da fertilidade, proporcionou valores inferiores ao argissolo, para matéria seca de folhas secas (Tabela 11). Portanto, pode-se dizer que as plantas que estavam em latossolo estavam mais bem nutridas, pois a baixa quantidade de folhas secas indica que as plantas estavam nutricionalmente melhores.

TABELA 11. Interação entre tipos de solo e correção da fertilidade do solo para matéria seca de folhas verdes, colmos e folhas secas.

Correção da fertilidade do solo	Solo	
	Latossolo	Argissolo
	----- Folhas Verdes g -----	
Com	68,8019 A a	70,2550 A a
Sem	55,2450 A b	44,0219 B b

	----- Colmos g -----	
Com	125,3087 A a	137,8556 A a
Sem	86,28310 A b	51,72190 B b
	----- Folhas secas g -----	
Com	20,2669 B a	24,0425 A a
Sem	19,3369 A a	18,5412 A b

Médias seguidas por letras minúsculas iguais, nas colunas, não diferem entre si pelo teste Tukey, (5%); Médias seguidas por letras maiúsculas iguais, nas linhas, não diferem entre si pelo teste Tukey, (5%).

Para latossolo a correção da fertilidade não influenciou os valores de matéria seca de folhas secas, porém em argissolo a presença da correção proporcionou valores mais elevados (Tabela 11).

Na presença da correção da fertilidade o concentrado de vinhaça biodigerida promoveu valores semelhantes aos da vinhaça in natura, para matéria seca de folhas verdes. Na ausência, esse tratamento induziu valores semelhantes à vinhaça in natura e KCl (Tabela 12). Apenas para o concentrado de vinhaça biodigerida a correção da fertilidade não promoveu diferença, sendo que nos demais tratamentos a correção induziu valores mais elevados. Para RESENDE et al. (2006) a aplicação de $80\text{m}^3\text{ha}^{-1}$ de vinhaça, na primeira safra da cana-de-açúcar, também proporcionou incremento na matéria seca, observando que a produção aumentou em 25%. Outros autores como TANG et al. (2006), também comprovaram os benefícios da vinhaça e concluíram que a vinhaça associada a fertilizantes minerais gera benefícios à cultura da cana-de-açúcar, pois aumentam a taxa de crescimento da planta, que acaba refletindo no rendimento de açúcar por tonelada de cana produzida.

TABELA 12. Interação entre correção da fertilidade do solo e tratamentos qualitativos em relação ao potássio para matéria seca de folhas verdes.

Correção da Fertilidade do solo	Tratamentos qualitativos em relação ao potássio
---------------------------------	---

	Vinhaça in natura	Concentrado de vinhaça biodigerida	KCl	Sem adição de K
----- Folha Verdes g -----				
Com	68,8237 AB a	57,9062 B a	73,1025 A a	78,2812 A a
Sem	49,7400 AB b	54,4825 A a	51,8275 AB b	42,4837 B b
----- Colmos g -----				
Com	135,8237 A a	99,7950 B a	145,7737 A a	144,9362 A a
Sem	71,4375 A b	76,7386 A b	73,1200 A b	54,7137 A b

Médias seguidas por letras minúsculas iguais, nas colunas, não diferem entre si pelo teste Tukey, (5%) ; Médias seguidas por letras maiúsculas iguais, nas linhas, não diferem entre si pelo teste Tukey, (5%).

Na presença da correção da fertilidade, os valores para matéria seca de colmos foram semelhantes para vinhaça *in natura*, KCl e sem adição de potássio, sendo o concentrado de vinhaça biodigerida o tratamento que induziu os menores valores. Os valores para matéria seca de colmos, na ausência da correção da fertilidade, foram semelhantes em todos os tratamentos (Tabela 12).

Todos os tratamentos, quando na presença da correção da fertilidade, induziram valores superiores comparados com a ausência da correção.

Não foi possível isolar claramente os efeitos de cada fator em uma interação tripla. Como no caso da matéria seca de colmos, por isso são discutidas as interações duplas separadamente. (Tabela 7).

4.2. Teor de macronutrientes e micronutrientes nas folhas diagnóstica da cana-de-açúcar.

A interação entre solo e correção da fertilidade do solo foi significativa para K, P ($p < 0,01$) e S ($p < 0,05$). Houve interação significativa entre solo e tratamentos qualitativos em relação ao potássio apenas para K ($p < 0,01$) e S ($p < 0,05$). Ocorreu ainda

interação significativa ($p < 0,01$) entre correção da fertilidade do solo e tratamentos qualitativos em relação ao potássio para K, P, Ca, Mg, S e N ($p < 0,05$) (Tabela 13).

TABELA 13. Valores do teste F da análise de variância para efeitos principais e Interações para teor de macronutrientes na folha diagnóstica.

Causas de variação	K	N	P	Ca	Mg	S
Efeito Solo (A)	179,87**	4,08*	18,39**	11,90 **	12,71**	9,89**
Efeito Correção da fertilidade do solo (B)	0,87 ^{NS}	6,85*	239,26**	39,58**	10,24**	26,57**
Efeito tratamentos qualitativos em relação a potássio (C)	15,12**	6,61*	3,32*	14,08**	8,23**	10,82**
Interação AxB	96,71**	0,21 ^{NS}	31,02**	0,66 ^{NS}	3,69 ^{NS}	5,57*
Interação AxC	21,98**	1,87 ^{NS}	0,54 ^{NS}	1,62 ^{NS}	1,46 ^{NS}	4,00*
Interação BxC	11,84**	3,52*	8,58**	5,24**	5,85**	6,41**
Interação AxBxC	7,72**	0,62 ^{NS}	0,81 ^{NS}	0,93 ^{NS}	0,63 ^{NS}	3,39*
Coefficiente de variação	8,48	7,52	9,46	13,65	10,43	15,62

** significativo a 1% de probabilidade; * significativo a 5% de probabilidade; NS: não significativo.

A interação entre solo e correção da fertilidade do solo foi significativa para Mn ($p < 0,01$) e também para Cu ($p < 0,05$). Houve interação significativa entre solo e tratamentos qualitativos em relação ao potássio para Mn ($p < 0,01$) e Cu ($p < 0,05$), bem como entre correção da fertilidade do solo e tratamentos qualitativos em relação ao potássio para Zn e Cu ($p < 0,05$) (Tabela 14).

TABELA 14. Valores do teste F da análise de variância para efeitos principais e Interações para teor de micronutrientes na parte aérea da planta.

Causas de variação	Mn	Cu	Zn
Efeito Solo (A)	8,13**	0,20 ^{NS}	0,13 ^{NS}
Efeito Correção da fertilidade do solo (B)	42,58**	0,00 ^{NS}	0,64 ^{NS}

Efeito tratamentos qualitativos em relação a potássio (C)	16,30**	0,60 ^{NS}	7,23**
Interação AxB	4,63*	12,80**	1,92 ^{NS}
Interação AxC	3,54**	8,33**	0,70 ^{NS}
Interação BxC	0,87 ^{NS}	16,93*	10,61 **
Interação AxBxC	5,26**	4,40**	1,18 ^{NS}
Coeficiente de variação	16, 44	16,41	14,78

** significativo a 1% de probabilidade; * significativo a 5% de probabilidade; NS: não significativo.

Para teor de potássio na presença da correção da fertilidade, os tratamentos vinhaça in natura, concentrado de vinhaça biodigerida e KCl induziram valores semelhantes entre si. O tratamento sem adição de potássio foi o que induziu os menores valores para esse fator. Na ausência da correção da fertilidade a vinhaça in natura promoveu os maiores valores para teor de potássio e os tratamentos com concentrado de vinhaça biodigerida, KCl e sem adição de potássio, valores menores porém semelhantes entre si (Tabela 15).

TABELA 15. Interação entre correção da fertilidade do solo e tratamentos qualitativos em relação ao potássio para teores de macronutrientes em folhas diagnósticas (folhas +3).

Correção da Fertilidade do solo	Tratamentos qualitativos em relação ao potássio			
	Vinhaça in natura	Concentrado de Vinhaça biodigerida	KCl	Sem adição de K
	----- Potássio g kg ⁻¹ -----			
Com	14,725 A b	15,012 A a	14,887 A a	11,675 B b
Sem	16,600 A a	13,675 B b	13,212 B b	13,937 B a
	-----Nitrogênio g kg ⁻¹ -----			

Com	10,2833 AB a	9,2938 B a	10,6569 A a	11,0410 A a
Sem	9,6859 A a	9,5591 A a	10,4254 A a	9,6213 A b
----- Fósforo g kg ⁻¹ -----				
Com	1,0717 AB a	0,9405 C a	0,9626 BC a	1,0775 A a
Sem	0,6905 B b	0,8548 A b	0,7223 B b	0,7921 AB b
----- Enxofre g kg ⁻¹ -----				
Com	0,6995 B a	0,6051B a	0,6451 B a	0,9173 A a
Sem	0,6573 A a	0,5485 A a	0,5395 A b	0,5973 A b
----- Cálcio g kg ⁻¹ -----				
Com	2,8120 BC a	2,4000 C a	3,0870 B a	3,6870 A a
Sem	2,4120 A b	2,3250 A a	2,2370 A b	2,6870 A b
----- Magnésio g kg ⁻¹ -----				
Com	1,3000 B a	1,2370 B a	1,3120 B a	1,6120 A a
Sem	1,2250 A a	1,3250 A a	1,175 0A b	1,3000 A b

Médias seguidas por letras minúsculas iguais, nas colunas, não diferem entre si pelo teste Tukey (5%) ; Médias seguidas por letras maiúsculas iguais, nas linhas, não diferem entre si pelo teste Tukey (5%).

Os tratamentos com concentrado de vinhaça biodigerida e KCl induziram valores maiores quando na presença da correção da fertilidade, enquanto a vinhaça in natura e o sem adição de potássio induziram valores superiores quando na ausência da correção da fertilidade (Tabela 15).

Para teor de nitrogênio em folhas diagnósticas na presença da correção da fertilidade o tratamento com concentrado de vinhaça biodigerida foi o que promoveu os menores valores, porém não diferiu de vinhaça in natura. O sem adição de K e o KCl induziram os maiores valores para teor de nitrogênio nesse caso. Na ausência da correção da fertilidade os tratamentos induziram valores semelhantes para teor de nitrogênio (Tabela 15).

No tratamento sem adição de potássio, os teores de nitrogênio nas folhas diagnósticas, na presença da correção da fertilidade, são maiores quando comparados

com a ausência da correção. Porém os demais tratamentos tanto na ausência quanto na presença da correção induziram valores semelhantes para teores de nitrogênio (Tabela 15), assim observa-se que o nitrogênio presente nas vinhaças não incrementa significativamente o nitrogênio do solo absorvido pelas plantas.

Na presença da correção da fertilidade, os tratamentos vinhaça in natura e sem adição de K foram os que promoveram maiores teores de fósforo, o KCl induziu valores semelhantes ao da vinhaça in natura enquanto o concentrado de vinhaça biodigerida foi semelhante ao KCl. Na ausência da correção da fertilidade, o concentrado de vinhaça biodigerida e sem adição de K promoveram valores maiores e semelhantes entre si, porém vinhaça in natura e o KCl induziram valores semelhantes ao tratamento sem adição de K (Tabela 15).

Em todos os tratamentos observou-se que a presença da correção da fertilidade induziu maiores valores de teor de fósforo em folhas diagnósticas, o que era esperado devido a adição do fósforo aos tratamentos com correção da fertilidade (Tabela 15).

Para teor de enxofre em folhas diagnósticas, na presença da correção da fertilidade, o tratamento sem adição de potássio induziu valor superior, aos demais tratamentos, que foram semelhantes entre si. Na ausência da correção da fertilidade os quatro tratamentos qualitativos promoveram valores semelhantes para teor de enxofre (Tabela 15).

Os tratamentos com vinhaça in natura e concentrado de vinhaça biodigerida, tanto na presença quanto na ausência da correção da fertilidade, induziram valores semelhantes para teor de enxofre em folhas diagnósticas. Porém, o KCl e o sem adição de potássio, quando na presença da correção da fertilidade, promoveram valores superiores, comparados com a ausência da correção (Tabela 15).

Para teor de cálcio em folhas diagnósticas, na presença da correção da fertilidade, o tratamento sem adição de potássio induziu os maiores valores, pois com menor quantidade de potássio no solo diminui as possibilidades de potássio inibir a absorção de cálcio (PRADO, 2008). A vinhaça in natura e o KCl promoveram valores intermediários e o concentrado de vinhaça biodigerida valores inferiores. Na ausência da correção da fertilidade os tratamentos induziram valores semelhantes para o teor de

cálcio (Tabela 15), já que todos os tratamentos possuíam quantidades semelhantes de potássio no solo.

Apenas para o tratamento com concentrado de vinhaça biodigerida a presença ou não da correção da fertilidade não influenciou nos valores de teor de cálcio na folha diagnóstica, nos demais tratamentos sempre na presença da correção da fertilidade induziu maiores valores, (Tabela 15).

O teor de magnésio, tanto na presença com na ausência da correção da fertilidade, seguiu o mesmo padrão do teor de enxofre nas folhas diagnósticas (Tabela 15).

Para teor de enxofre em folhas diagnósticas, na presença da correção da fertilidade os dois solos induziram valores semelhantes. Na ausência da correção o latossolo promove valores superiores ao argissolo. O mesmo padrão de resultados se observa para teor de fósforo (Tabela 16). Fósforo e enxofre são aplicados na correção da fertilidade, portanto os solos que receberam esse tratamento induzem valores semelhantes para teor de enxofre e fosforo, no caso do solo na ausência da correção o latossolo, por possuir fertilidade original maior que o argissolo (Tabela 5), induz maiores valores para enxofre e fósforo.

TABELA 16. Interação entre correção da fertilidade do solo e tipos de solo para teor de macronutrientes em folhas diagnósticas.

Correção da fertilidade do solo	Solo	
	Latossolo	Argissolo
	----- Potássio g kg ⁻¹ -----	
Com	14,919 A b	13,794 B a
Sem	17,556 A a	10,594 B b
	-----Enxofre g kg ⁻¹ -----	
Com	0,7268 A a	0,7068 A a
Sem	0,6557 A a	0,5157 B b
	----- Fósforo g kg ⁻¹ -----	

Com	0,9996 A a	1,0266 A a
Sem	0,8686 A b	0,6613 B b
----- Cobre mg kg ⁻¹ -----		
Com	3,6875 A a	3,1250 B b
Sem	3,1875 B b	3,6250 A a
----- Manganês mg kg ⁻¹ -----		
Com	53,5625 A b	55,3750 B b
Sem	64,8750 A a	77,8125 B a

Médias seguidas por letras minúsculas iguais, nas colunas, não diferem entre si pelo teste Tukey (5%); Médias seguidas por letras maiúsculas iguais, nas linhas, não diferem entre si pelo teste Tukey, (5%).

O latossolo, induziu valores semelhantes, para teor de enxofre, tanto na ausência quanto na presença da correção da fertilidade, portanto, dentro do latossolo percebe-se que o enxofre já era suficiente mesmo na ausência da correção, observando-se porém que para o argissolo ocorre o contrario pois induziu maiores valores, quando na presença da correção da fertilidade, indicando não ser suficiente a quantidade de enxofre original desse solo. Enquanto para o teor de fósforo nos dois solos, a presença da correção da fertilidade induziu maiores valores em relação a ausência (Tabela 16), portanto, mesmo o latossolo tendo originalmente mais fósforo que o argissolo (Tabela 5), esse provavelmente não estava na forma disponível para a planta.

Na presença da correção da fertilidade o latossolo induziu maiores valores para teor de cobre em folhas diagnósticas quando comparado a argissolo. Sem a correção da fertilidade observou-se o contrario (Tabela 16).

Em latossolo a vinhaça in natura, o concentrado de vinhaça biodigerida e o KCl induziram valores semelhantes para teor de potássio em folhas diagnosticas, como era de se esperar o sem adição de potássio induziu os menores valores. Em argissolo a vinhaça in natura e o sem adição de potássio induziram valores superiores, KCl valores intermediários e o concentrado de vinhaça biodigerida valores inferiores para teor de

potássio (Tabela 17), o sódio presente no concentrado de vinhaça biodigerida e o cloreto presente no KCl, provavelmente proporcionaram uma maior salinidade ao argissolo, que já possuía uma menor fertilidade e maior acidez que o latossolo, isso pode ter agravado a disponibilidade de Ca e Mg interferindo assim na absorção de K (ORLANDO FILHO., et al 1996).

Apenas no tratamento sem adição de potássio os solos induziram valores semelhantes para teor de potássio, nos demais o latossolo sempre induziu valores superiores para esse nutriente (Tabela 17), segundo ROSETTO et al. (2004) quando o teor de potássio no solo é baixo, a resposta a adubação potássica é menor, como os dois solos possuíam valores médios para K (Tabela 5), e o tratamento em questão não recebeu potássio, eles induziram valores menores e semelhantes entre si.

Para teor de enxofre em folhas diagnósticas, em latossolo, o tratamento sem adição de potássio induziu os maiores valores, sendo que os demais tratamentos induziram valores inferiores, porém semelhantes entre si. Em argissolo, a vinhaça in natura e o sem adição de potássio promoveram os maiores valores, o KCl valores intermediários e o concentrado de vinhaça biodigerida valores inferiores para teor de enxofre (Tabela 17).

TABELA 17. Interação entre tratamentos qualitativos em relação ao potássio e tipos de solos para teor macronutrientes em folhas diagnósticas.

Solo	Tratamentos qualitativos em relação ao potássio			
	Vinhaça in natura	Concentrado de vinhaça biodigerida	KCl	Sem adição de potássio
----- Potássio g kg ⁻¹ -----				
Latossolo	18,087 A a	17,437 Aa	16,675 Aa	12,750 B a
Argissolo	13,237 A b	11,250 C b	11,425 BC b	12,862 AB a
----- Enxofre g kg ⁻¹ -----				
Latossolo	0,6595 B a	0,6740 B a	0,6107 B a	0,8207 A a
Argissolo	0,6973 A a	0,4796 B b	0,5740 AB a	0,6940 A b

----- Cobre mg kg ⁻¹ -----				
Latossolo	3,8750 A a	3,7500 AB a	3,1250 BC b	3,0000 C a
Argissolo	3,0000 B b	3,1250 B b	3,8750 A a	3,5000 AB a
----- Manganês mg kg ⁻¹ -----				
Latossolo	53,62500 A a	59,8750 A a	66,7500 A b	56,6250 A b
Argissolo	56,5000 B a	53,5000 B a	89,1250 A a	67,2500 B a

Médias seguidas por letras minúsculas iguais, nas colunas, não diferem entre si pelo teste Tukey (5%); Médias seguidas por letras maiúsculas iguais, nas linhas, não diferem entre si pelo teste Tukey (5%).

Para teor de enxofre, em latossolo, o concentrado de vinhaça biodigerida e o sem adição de potássio induziram valores superiores ao argissolo, a vinhaça in natura e o KCl induziram valores semelhantes entre si nos dois solos (Tabela 17).

Em latossolo a vinhaça in natura induziu maiores valores para teor de cobre em folhas diagnósticas, o concentrado de vinhaça biodigerida e KCl valores intermediários e o sem adição de potássio os menores valores. Em argissolo o KCl promoveu os maiores valores para teor de cobre, o sem tratamento valores intermediários e vinhaça in natura e concentrado de vinhaça biodigerida valores inferiores porém semelhantes entre si. (Tabela 17).

O latossolo promoveu maiores valores para teor de cobre, quando comparados ao argissolo, na presença de vinhaça in natura e também concentrado de vinhaça biodigerida. O contrario se observou quando aplicou-se KCl, e no sem adição de potássio os solos induzem valores semelhantes (Tabela 17).

O teor de manganês nas folhas, quando em latossolo, foi semelhante para todos os tratamentos. Quando em argissolo o KCl induz maiores valores, os demais tratamentos valores inferiores, porém semelhantes entre si (Tabela 17).

Em latossolo e argissolo observa-se valores semelhantes para teor de manganês quando na presença dos tratamentos vinhaça in natura e concentrado de vinhaça biodigerida, enquanto o KCl e o sem adição de potássio induziram maiores valores em argissolo (Tabela 17).

Na presença da correção da fertilidade, os tratamentos vinhaça in natura e KCl induziram os maiores valores pra teor de cobre na folhas diagnósticas, o concentrado de vinhaça biodigerida e o sem adição de potássio, valores inferiores. Na ausência da correção o concentrado de vinhaça biodigerida induziu maiores valores sem adição de potássio e KCl valores intermediários e vinhaça in natura valores inferiores pra teor de cobre (Tabela 18).

A vinhaça in natura na presença da correção da fertilidade promoveu maiores valores para teor de cobre do que quando na ausência. O concentrado de vinhaça biodigerida e o sem adição de potássio induziram maiores valores quando na ausência da correção da fertilidade e o KCl induziu valores semelhantes tanto na ausência quanto na presença da correção (Tabela 18).

Na presença da correção da fertilidade o sem adição de potássio induziu maiores valores para teor de zinco em folhas diagnósticas, os demais tratamentos valores inferiores porém semelhantes entre si. Na ausência da correção da fertilidade, os tratamentos com concentrado de vinhaça biodigerida e o KCl induziram os maiores valores para teor de zinco, o sem adição de potássio valores intermediários e a vinhaça in natura valores inferiores (Tabela 18).

TABELA 18. Interação entre correção da fertilidade do solo e tratamentos qualitativos em relação ao potássio para teor de micronutrientes em folhas diagnósticas.

Correção da fertilidade do solo	Tratamentos qualitativos em relação ao potássio			
	Vinhaça in natura	Concentrado de vinhaça biodigerida	KCl	Sem adição de potássio
	----- Cobre mg kg ⁻¹ -----			
Com	4,1250 A a	2,8750 B b	3,7500 A a	2,8750 Bb
Sem	2,7500 C b	4,0000 A a	3,2500 BC a	3,6250 AB a
	----- Zinco g kg ⁻¹ -----			
Com	11,1250 B a	9,2500 B b	11,2500 B b	14,1250 A a

Sem	9,6250 B a	12,6250 A a	13,2500 A a	11,6250 AB b
-----	------------	-------------	-------------	--------------

Médias seguidas por letras minúsculas iguais, nas colunas, não diferem entre si pelo teste Tukey (5%); Médias seguidas por letras maiúsculas iguais, nas linhas, não diferem entre si pelo teste Tukey, (5%).

A vinhaça in natura induziu valores semelhantes para teor de zinco, tanto na ausência quanto na presença da correção da fertilidade. O concentrado de vinhaça biodigerida e o KCl induziram maiores valores para na ausência da correção da fertilidade. O sem adição de potássio promoveu melhores valores para teor de zinco na presença da correção (Tabela 18).

Os valores para teor de K estão razoavelmente semelhantes com os valores considerados adequados para cana-planta com 4 a 6 meses de idade de acordo com MALAVOLTA (1997), porém para o restante dos nutrientes avaliados esses valores estão um pouco abaixo dos valores citados por esse autor (Tabela 3).

Os valores para macronutrientes estão abaixo da faixa de valores considerada adequada por MALAVOLTA et al. (1997), isso provavelmente pode ter ocorrido devido à utilização da folha diagnostica inteira e com a nervura, e portanto não seguindo a metodologia de análise indicada por RAIJ et al. (1996) por ser experimento em vasos, e também provavelmente pela variedade utilizada nesse experimento ser diferente das variedades usadas pra definir esses valores de referência.

Os micronutrientes estão abaixo dos níveis adequados por MALAVOLTA et al. (1997), devido a calagem diminuir esses valores, pois quanto maior o pH do solo, menor será a disponibilidade dos micronutrientes na solução do solo.

4.3. Acúmulo de macronutrientes e micronutrientes na parte aérea da cana-de-açúcar.

Os acúmulos de K, P, Ca, Mg e S nas plantas tiveram influência altamente significativa ($p < 0,01$) e do N significativa a 5% de probabilidade dos efeitos das

interações entre solo e correção da fertilidade do solo, bem como da interação entre correção da fertilidade do solo e tratamentos qualitativos em relação ao potássio ($p < 0,01$). A interação entre solo e tratamentos qualitativos em relação ao potássio foi significativa ($p < 0,01$) apenas para acúmulo de N, Mg e S e também para acúmulo de Ca ($p < 0,05$). Quando houve interações tripas, essas foram discutidas através das interações duplas separadamente. Os coeficientes de variação para os acúmulos de macronutrientes das plantas foram menores que 21% (Tabela 19) e para micronutrientes (Tabela 20) abaixo de 25%, o que indica uma boa precisão do experimento.

A interação entre solo e correção da fertilidade do solo foi significativa apenas para acúmulo de Cu ($p < 0,01$). Houve interação significativa entre solo e tratamentos qualitativos em relação ao potássio para acúmulo de Mg ($p < 0,01$) e também de Zn ($p < 0,05$). Ocorreu interação significativa ($p < 0,01$) entre correção da fertilidade do solo e tratamentos qualitativos em relação ao potássio para acúmulo de Cu e Zn e de Mg ($p < 0,05$) (Tabela 20). Quando houve interações triplas essas foram discutidas através das interações duplas separadamente.

TABELA 19. Valores do teste F da análise de variância para efeitos principais e Interações para acúmulo de macronutrientes na parte aérea da planta.

Causas de variação	K	N	P	Ca	Mg	S
Efeito Solo (A)	0,60 ^{NS}	3,72 ^{NS}	10,20 ^{**}	16,32 ^{**}	0,06 ^{NS}	5,42 [*]
Efeito Correção da fertilidade do solo (B)	67,65 ^{**}	144,37 ^{**}	218,75 ^{**}	105,83 [*]	127,40 ^{**}	267,16 ^{**}

Efeito tratamentos qualitativos em relação a potássio (C)	43,04 **	4,03*	1,17 ^{NS}	18,41**	25,28**	27,66**
Interação AxB	9,59 **	6,39*	37,24**	10,54**	18,05**	45,96**
Interação AxC	1,87 ^{NS}	8,41**	0,95 ^{NS}	3,46 *	8,68**	5,00**
Interação BxC	6,12 **	12,56**	8,83**	18,11 **	33,94**	31,30**
Interação AxBxC	0,73 ^{NS}	4,76**	2,02 ^{NS}	3,32*	7,81 ^{NS}	8,58**
Coefficiente de variação	16,93	15,47	18,08	22,01	20,17	19,02

** significativo a 1% de probabilidade; * significativo a 5% de probabilidade; NS: não significativo

TABELA 20. Valores do teste F da análise de variância para efeitos principais e Interações para acúmulo de micronutrientes na parte aérea da planta.

Causas de variação	Fé	Mn	Cu	Zn
Efeito Solo (A)	50,91**	5,21*	20,50**	4,82*
Efeito Correção da fertilidade do solo (B)	0,37 ^{NS}	10,35**	14,46**	0,46 ^{NS}
Efeito tratamentos	0,16 ^{NS}	14,23**	0,22 ^{NS}	3,07*

qualitativos em

relação a

potássio (C

Interação AxB	1,15 ^{NS}	2,04 ^{NS}	8,61 ^{**}	0,32 ^{NS}
Interação AxC	0,73 ^{NS}	7,04 ^{**}	2,48 ^{NS}	2,95 [*]
Interação BxC	0,99 ^{NS}	3,04 [*]	7,65 ^{**}	7,06 ^{**}
Interação AxBxC	0,61 ^{NS}	6,02 ^{**}	4,99 ^{**}	4,33 ^{**}
Coefficiente de variação	46,05	17,73	24,85	20,23

** significativo a 1% de probabilidade; * significativo a 5% de probabilidade; NS: não significativo

Resultados semelhantes ao do potássio se observa para acúmulo de nitrogênio e cálcio (Tabela 21).

Tabela 21. Interação entre correção da fertilidade do solo e tipos de solos para acúmulo de macronutrientes na parte aérea da planta.

Correção da fertilidade do solo	Solo	
	Latossolo	Argissolo
	----- K g/vaso -----	
Com	2,7379 A a	2,9772 A a
Sem	2,2095 A b	1,8106 B b
	----- N g/vaso -----	
Com	0,9483 A a	0,9663 A a
Sem	0,6632 A b	0,5293 B b

----- P g/vaso -----		
Com	0,1295 B a	0,1430 A a
Sem	0,0894 A b	0,0465 B b
----- Ca g/vaso -----		
Com	0,7313 A a	0,7068 A a
Sem	0,5142 A b	0,2895 B b
----- Mg g/vaso -----		
Com	0,3475 B a	0,4069 A a
Sem	0,2433 A b	0,1768 B b
----- S g/vaso -----		
Com	0,2412 B a	0,3303 A a
Sem	0,1476 A b	0,1040 B b

Médias seguidas por letras minúsculas iguais, nas colunas, não diferem entre si pelo teste Tukey (5%); Médias seguidas por letras maiúsculas iguais, nas linhas, não diferem entre si pelo teste Tukey (5%).

O latossolo e o argissolo induziram valores semelhantes para acúmulo de potássio, quando na presença da correção da fertilidade. Na ausência da correção da fertilidade o latossolo promoveu valores maiores que o argissolo para K, N, P, Ca, Mg e S (Tabela 21), isso provavelmente porque além de possuir no solo originalmente mais nutrientes que o argissolo, as plantas no latossolo tiveram valores inferiores em altura e número de entrenós (Tabela 8), portanto cresceram menos e possivelmente concentraram mais os nutrientes do que as plantas que cresceram mais. Observa-se também que o acúmulo de N, P e S seguiu a ordem decrescente K, N e S (MENDES., et al 2010).

Na presença da correção da fertilidade, o argissolo induziu maiores valores para acúmulo de fósforo quando comparado ao latossolo. Na ausência da correção observa-se o contrario (Tabela 21).

Valores semelhantes aos de acúmulo de fósforo são encontrados para magnésio e enxofre (Tabela 21).

Em latossolo, todos os tratamentos induziram valores semelhantes para acúmulo de nitrogênio. Em argissolo a vinhaça in natura, o KCl e o sem adição de potássio induziram maiores valores e o concentrado de vinhaça biodigerida valores inferiores (Tabela 22), pois o sódio presente no concentrado de vinhaça biodigerida possivelmente causou efeitos negativos na absorção das plantas (MEDEIROS, 2011).

Apenas a vinhaça in natura promoveu valores semelhantes tanto para latossolo quanto para argissolo, os demais tratamentos o latossolo induziu maiores valores para acúmulo de nitrogênio. Em latossolo, o sem adição de potássio induziu os maiores valores para acúmulo de cálcio, o mesmo foi observado para Mg, e S. A vinhaça in natura e KCl induziu valores intermediários e concentrado de vinhaça biodigerida valores inferiores.

Em argissolo o sem adição de potássio promoveu os maiores valores para acúmulo de cálcio, os demais tratamentos valores inferiores, porém semelhantes entre si (Tabela 22), o fato do tratamento sem adição de potássio promover maior acúmulo de Ca, já era esperado, pois não contendo o K, as oportunidades de ocorrer interações entre esses nutrientes é menor (ORLANDO FILHO., et al 1996).

TABELA 22. Interação entre tipos de solos e tratamentos qualitativos em relação ao potássio para acúmulo de macronutrientes na parte aérea da planta.

Solo	Tratamentos qualitativos em relação ao potássio			
	Vinhaça in natura	Concentrado de vinhaça biodigerida	KCl	Sem adição de K
----- N g/vaso -----				
Latossolo	0,7797 A a	0,8136 A a	0,8941 A a	0,7357 A b
Argissolo	0,7771 A a	0,5687 B b	0,7529 A b	0,8925 A a
----- Ca g/vaso -----				
Latossolo	0,5689 AB a	0,5374 B a	0,6530 AB a	0,7316 A a
Argissolo	0,4531 B a	0,3437 B b	0,4306 B b	0,7652 A a

	----- Mg g/vaso -----			
Latossolo	0,2614 B a	0,2826 AB a	0,2915 AB a	0,3460 A b
Argissolo	0,2646 B a	0,2033 B b	0,2368 B a	0,4627 A a

	----- S g/vaso -----			
Latossolo	0,2053 AB b	0,1689 B a	0,1718 B a	0,2315 A b
Argissolo	0,2484 B a	0,1495 C a	0,1649 C a	0,3059 A a

Médias seguidas por letras minúsculas iguais, nas colunas, não diferem entre si pelo teste Tukey (5%); Médias seguidas por letras maiúsculas iguais, nas linhas, não diferem entre si pelo teste Tukey (5%).

A vinhaça in natura e o sem adição de potássio, induziram valores de acúmulo de Ca semelhantes nos dois tipos de solo, enquanto o concentrado de vinhaça biodigerida e o KCl promoveram melhores valores quando em latossolo (Tabela 22).

Em latossolo, o sem adição de potássio induziu os maiores valores para acúmulo de manganês, o concentrado de vinhaça biodigerida e o KCl valores intermediários e a vinhaça in natura valores inferiores. Em argissolo o sem adição de potássio induziu os maiores valores para acúmulo de manganês, os demais tratamentos valores inferiores, porém, semelhantes entre si (Tabela 22).

A vinhaça in natura e o KCl induziram valores semelhantes para acúmulo de magnésio, tanto em latossolo quanto em argissolo. O concentrado de vinhaça biodigerida promoveu maiores valores quando em latossolo e o sem adição de potássio quando em argissolo (Tabela 22).

Em latossolo o sem adição de potássio promoveu os maiores valores para acúmulo de enxofre, a vinhaça in natura valores intermediários e o concentrado de vinhaça biodigerida e o KCl valores inferiores. Em argissolo o sem adição de potássio também induziu os maiores valores, a vinhaça in natura valores intermediários e o concentrado de vinhaça biodigerida e o KCl valores inferiores (Tabela 22).

O concentrado de vinhaça biodigerida e o KCl induziram valores semelhantes tanto em latossolo quanto em argissolo para acúmulo de enxofre. A

vinhaça in natura e o sem adição de potássio promoveram maiores valores quando em argissolo (Tabela 22).

Na presença da correção da fertilidade a vinhaça in natura e o KCl promoveram maiores valores para acúmulo de potássio, o concentrado de vinhaça biodigerida valores intermediários e o sem adição de potássio valores inferiores. Na ausência da correção apenas o sem adição de potássio promoveu valores inferiores para acúmulo de potássio, sendo que os demais tratamentos induziram valores semelhantes e maiores (Tabela 23).

Tanto o latossolo quanto o argissolo, promovem maiores valores para acúmulo de potássio, quando na presença da correção da fertilidade (Tabela 23).

A vinhaça in natura, o KCl e o sem adição de potássio induziram maiores valores, para acúmulo de potássio, quando na presença da correção da fertilidade, porém o concentrado de vinhaça biodigerida promoveu valores semelhantes tanto na presença quanto na ausência da correção da fertilidade (Tabela 23).

TABELA 23. Interação entre correção da fertilidade do solo e tratamentos qualitativos em relação ao potássio para acúmulo de macronutrientes na parte aérea da plantas.

Correção da Fertilidade do solo	Tratamentos qualitativos em relação ao potássio			
	Vinhaça in natura	Concentrado de vinhaça biodigerida	KCl	Sem adição de K
	----- K g/vaso -----			
Com	3,4499 A a	2,5472 B a	3,6923 A a	1,7407 C a
Sem	2,3386 A b	2,1715 A a	2,2579 A b	1,2721 B b
	----- N g/vaso -----			
Com	0,9767 A a	0,7447 B a	0,9823 A a	1,1253 A a

Sem	0,5801 AB b	0,6376 AB a	0,6646 A b	0,5028 B b
----- P g/vaso -----				
Com	0,1477 A a	0,1238 A a	0,1253 A a	0,1482 A a
Sem	0,0628 B b	0,0898 A b	0,0662 AB b	0,0530 B b
----- Ca g/vaso -----				
Com	0,6432 B a	0,4692 C a	0,6741 B a	1,0897 A a
Sem	0,3789 A b	0,4118 A a	0,4096 A b	0,4071 A b
----- Mg g/vaso -----				
Com	0,3226 B a	0,2534 B a	0,3198 B a	0,6129 A a
Sem	0,2034 A b	0,2325 A a	0,2086 A b	0,1958 A b
----- S g/vaso -----				
Com	0,3034 B a	0,1927 C a	0,2205 C a	0,4264 A a
Sem	0,1503 A b	0,1258 A b	0,1161 A b	0,1109 A b

Médias seguidas por letras minúsculas iguais, nas colunas, não diferem entre si pelo teste Tukey (5%); Médias seguidas por letras maiúsculas iguais, nas linhas, não diferem entre si pelo teste Tukey (5%).

Os tratamentos vinhaça in natura, KCl e sem adição de potássio, na presença da correção da fertilidade, induziram maiores valores, para acúmulo de nitrogênio, do que o concentrado de vinhaça biodigerida. Na ausência da correção o KCl promoveu os maiores resultados, a vinhaça in natura e o concentrado de vinhaça biodigerida valores intermediários e o sem adição de potássio valores inferiores (Tabela 23).

A vinhaça in natura, o KCl e o sem adição de potássio induziram maiores valores, para acúmulo de nitrogênio, quando na presença da correção da fertilidade, porém o concentrado de vinhaça biodigerida promoveu valores semelhantes tanto na ausência quando na presença da correção (Tabela 23).

Todos os tratamentos induziram valores semelhantes, para acúmulo de fósforo, quando na presença da correção da fertilidade. Na ausência o concentrado de vinhaça biodigerida promoveu valores maiores, o KCl valores intermediários e a vinhaça in

natura e o sem adição de potássio valores inferiores e semelhantes entre si (Tabela 25).

Todos os tratamentos induziram maiores valores para acúmulo de fósforo, quando na presença da correção da fertilidade quando comparados com a ausência (Tabela 23).

O tratamento sem adição de potássio, na presença da correção da fertilidade, promoveu os maiores valores para acúmulo de cálcio, a vinhaça in natura e o KCL valores intermediários e o concentrado de vinhaça in natura valores inferiores. Na ausência da correção da fertilidade os tratamentos promoveram valores semelhantes entre si para acúmulo de cálcio. (Tabela 23).

Apenas o concentrado de vinhaça biodigerida promoveu valores semelhantes, tanto na presença quanto na ausência da correção da fertilidade, para acúmulo de cálcio, os demais tratamentos sempre que na presença da correção da fertilidade induziram maiores valores (Tabela 23).

O tratamento sem adição de potássio, na presença da correção da fertilidade, induziu os maiores valores para acúmulo de magnésio, os demais tratamentos valores inferiores, porém, semelhantes entre si. Na ausência da correção os tratamentos promoveram valores semelhantes. (Tabela 23).

Apenas o concentrado de vinhaça biodigerida promoveu valores semelhantes, tanto na presença quanto na ausência da correção da fertilidade, para acúmulo de cálcio, os demais tratamentos sempre que na presença da correção da fertilidade induziram maiores valores (Tabela 23).

Na presença da correção da fertilidade o sem adição de potássio promoveu os maiores valores para acúmulo de enxofre, a vinhaça in natura valores intermediários e o concentrado de vinhaça biodigerida e o KCl valores inferiores. Na ausência da correção os tratamentos induziram valores semelhantes para acúmulo de enxofre (Tabela 23).

Todos os tratamentos induziram maiores valores para acúmulo de enxofre na presença da correção da fertilidade (Tabela 23).

O fato do concentrado de vinhaça biodigerida induzir menores valores para acúmulo, na maioria dos macronutrientes, pode estar relacionado ao sódio presente na

composição dessa, a salinidade causa efeitos negativos e prejudica o crescimento das plantas (SANTANA., et al 2007).

Através da absorção de K, Ca e Mg observa-se que houve interação entre esses nutrientes, assim o acúmulo desses também é predicado, isso se verifica quando o tratamento sem adição de potássio induz maiores valores para acúmulo desses três macronutrientes (PRADO, 2008, ORLANDO FILHO., et al 1996).

O latossolo promoveu maiores valores para acúmulo de cobre em relação ao argissolo, ambos na presença da correção da fertilidade. Na ausência da correção os dois solos promoveram valores semelhantes (Tabela 24).

Na ausência da correção da fertilidade o latossolo induziu maiores valores quando comparado com a presença da correção. O argissolo induziu valores semelhantes tanto na ausência quanto na presença da correção (Tabela 24).

TABELA 24. Interação entre correção da fertilidade do solo e tipos de solos para acúmulo de Cu na parte aérea da plantas.

Correção da fertilidade do solo	Solo	
	Latossolo	Argissolo
	----- Cu mg/vaso -----	
Com	0,5928 A b	0,3892 B a
Sem	0,4090 A a	0,36555 A a

Médias seguidas por letras minúsculas iguais, nas colunas, não diferem entre si pelo teste Tukey (5%); Médias seguidas por letras maiúsculas iguais, nas linhas, não diferem entre si pelo teste Tukey (5%).

O tratamento sem adição de potássio, no latossolo, induziu os maiores valores para acúmulo de manganês, o concentrado de vinhaça biodigerida e o KCl valores intermediários e a vinhaça in natura valores inferiores. No argissolo o sem adição de potássio induziu os maiores valores para acúmulo de manganês, os demais tratamentos valores inferiores, porém, semelhantes entre si (Tabela 25).

TABELA 25. Interação entre tipos de solo e tratamentos qualitativos em relação ao potássio para acúmulo de micronutrientes na parte aérea da plantas.

Solo	Tratamentos qualitativos em relação ao potássio			
	Vinhaça in	Concentrado	KCl	Sem adição

	natura	de vinhaça biodigerida	de K	
----- Mn mg/vaso -----				
Latossolo	0,2614 B a	0,2826 AB a	0,2915 AB a	0,3460 A b
Argissolo	0,2646 B a	0,2033 B b	0,2368 B a	0,4627 A a
----- Zn mg/vaso -----				
Latossolo	1,5953 B b	1,7085 B a	2,2803 B a	1,6023 A b
Argissolo	2,0308 A a	1,9068 A a	2,0288 A a	2,0645 A a

Médias seguidas por letras minúsculas iguais, nas colunas, não diferem entre si pelo teste Tukey (5%); Médias seguidas por letras maiúsculas iguais, nas linhas, não diferem entre si pelo teste Tukey (5%).

O tratamento vinhaça in natura e o KCl induziram valores semelhantes para acúmulo de manganês tanto em latossolo quanto em argissolo. O sem adição de potássio e o concentrado de vinhaça biodigerida, induziram valores superiores quando em latossolo (Tabela 25).

O tratamento sem adição de potássio em latossolo promoveu maiores valores para acúmulo de zinco, os demais tratamentos valores inferiores porém semelhantes. Em argissolo os tratamentos promoveram valores semelhantes entre si (Tabela 25).

O concentrado de vinhaça biodigerida e o KCl promoveram valores semelhantes tanto em latossolo quanto em argissolo. A vinhaça in natura e o sem adição de potássio induziram maiores valores quando em argissolo (Tabela 25).

O KCl induziu maiores valores para acúmulo de manganês na presença da correção da fertilidade, o sem adição de potássio e a vinhaça in natura valores intermediários e o concentrado de vinhaça biodigerida valores inferiores. Na ausência da correção da fertilidade o sem adição de potássio promoveu os maiores valores para acúmulo de manganês, os demais tratamentos valores inferiores, porém, semelhantes entre si (Tabela 26).

TABELA 26. Interação entre correção da fertilidade do solo e tratamentos qualitativos em relação ao potássio para acúmulo de micronutrientes na parte aérea da plantas.

Correção da	Tratamentos qualitativos em relação ao potássio
-------------	---

Fertilidade do solo				
	Vinhaça in natura	Concentrado de vinhaça biodigerida	KCl	Sem adição de K
----- Mn mg/vaso -----				
Com	17,6191 BC a	15,1690 C a	23,2852 A a	21,4131 AB a
Sem	15,7443 B a	15,2996 B a	21,2106 B a	14,9162 A b
----- Cu mg/vaso -----				
Com	0,5592 A a	0,3755 B b	0,5026 AB a	0,5267 A a
Sem	0,3476 AB b	0,4880 A a	0,3894 AB b	0,3242 B b
----- Zn mg/vaso -----				
Com	1,7053 AB a	1,4881 B b	2,1579 Aa	2,1274 A a
Sem	1,9209 AB a	2,1272 A a	2,1512 A a	1,5394 B b

Médias seguidas por letras minúsculas iguais, nas colunas, não diferem entre si pelo teste Tukey (5%); Médias seguidas por letras maiúsculas iguais, nas linhas, não diferem entre si pelo teste Tukey (5%).

A vinhaça in natura, o concentrado de vinhaça biodigerida e o KCl induziram valores semelhantes tanto na ausência quanto na presença da correção da fertilidade, porém o sem adição de potássio induziu maiores valores quanto na presença da correção da fertilidade (Tabela 26).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para verificar o efeito das vinhaças foi idealizada a utilização de dois tipos distintos de solos com suas fertilidades originais. Porém, sabendo que não se espera que os agricultores cultivem a cana-de-açúcar sem corrigir a acidez e sem a adição de N e P, também foi decidido neste trabalho estudar se os prováveis efeitos da vinhaça permaneciam nos solos após a correção da fertilidade. Entretanto, os resultados indicaram que as interações desses fatores (solo e correção da fertilidade) provocaram respostas distintas em cada situação para uma série de variáveis, o que dificultou a interpretação dos dados de várias variáveis estudadas. Desse modo, levando em conta

cada combinação dos fatores podem ser tiradas conclusões específicas distintas, tais como: Na presença da correção da fertilidade do solo as vinhaças tiveram comportamentos parecidos para altura da planta, diâmetro do colmo, número de entrenós, área foliar, teor de K e Mg e acúmulo de P. A vinhaça in natura promoveu maiores teores de P e Cu e acúmulo de K, N, Ca, S e Cu.

Na ausência da correção as vinhaças tiveram comportamentos semelhantes para crescimento das plantas no geral e para acúmulo de K, N, Ca S e Cu. A vinhaça in natura maior teor de K e o concentrado de vinhaça biodigerida maiores teores de Mg, P, Cu e maior acúmulo de P.

No latossolo as vinhaças induziram valores semelhantes para teor de K, S, Cu e Mn e para acúmulo de S, N, Ca, Mg, Mn e Zn.

No argissolo as vinhaças induziram valores semelhantes para teor de Mg, Cu e Mn e para acúmulo de Ca, Mg, Mn e Zn. A vinhaça in natura promoveu maiores teores de K e S e acúmulo S e N

Quando comparando os dois solos as duas vinhaças induzem maiores teores de K, Cu e Mg no latossolo. A vinhaça in natura teve comportamento semelhante nos dois solos para teor de S e induziu maior acúmulo de Zn em argissolo

O concentrado de vinhaça biodigerida induziu maiores teores de S e acúmulo de Mg em latossolo.

O fato do concentrado de vinhaça biodigerida tender a induzir valores um pouco menores para resultados de matéria seca de colmos e acúmulo de potássio e nitrogênio, pode ter sido consequência da presença de concentração relativamente elevada de sódio no concentrado de vinhaça biodigerida, proveniente do hidróxido de sódio usado para neutralizar a vinhaça para favorecer a biodigestão. Tal elemento, somado à dose elevada de K (400 kg/ha K) aplicada com o equivalente a 100 m³/ha da vinhaça podem ter prejudicado o resultado da fertilização com K, pois nos casos de altura da planta, diâmetro de colmos, comprimento de colmos, número de entrenós, área foliar, matéria seca de folhas verdes e colmos, acúmulos e teores de nitrogênio e cálcio, foi observado que o tratamento sem adição de K proporcionou resultados semelhantes ou superiores aos demais. Portanto indica-se substituir o hidróxido de sódio por hidróxido de potássio, pois assim seria adicionado K ao invés de Na, pois o K

é um nutriente já existente na vinhaça e que é o mais absorvido pela cana-de-açúcar. Naturalmente, com essa elevação do teor de K na vinhaça biodigerida iria exigir a aplicação de um menor volume por unidade de área de solo para adicionar a mesma dose de K. Assim mesmo, a prática de se aplicar doses de vinhaça ao redor de 100 m³/ha, feita rotineiramente pelas, não seria adequada sem uma prévia determinação do seu teor de K, pois algumas vinhaças (especialmente as originadas de mosto misto) podem conter teores elevados que excedem em muito o recomendado para a adubação dessa cultura.

Como o experimento foi realizado em vasos onde não foi permitida a lixiviação, o efeito do excesso de eletrólitos pode ter ficado bastante significativo, fazendo mais evidentes os efeitos que, talvez, em campo não seriam tão aparentes, pois a chuvas ajudam a movimentar tanto o K como o Na no perfil do solo. Entretanto, uma resposta definitiva somente seria obtida no desenvolvimento de experimento similar, porém, nas reais condições do campo.

CONCLUSÕES

De forma geral, o concentrado de vinhaça biodigerida promoveu crescimento e nutrição das plantas similar ao da vinhaça *in natura*.

O concentrado de vinhaça biodigerida tendeu a induzir menor matéria seca de colmos, acúmulo de potássio e nitrogênio.

As vinhaças induziram melhores resultados para crescimento das plantas, quando houve a correção e a complementação da fertilidade do solo.

REFERÊNCIAS

AGRIANUAL. Anuário da agricultura brasileira. São Paulo: Instituto FNP, 2011

BARBOSA, J. C.; MALDONADO JR, W. AgroEstat Sistema para análises de ensaios agronômicos, versão 1.0, 2010.

ALBERS, M. Tratamento da vinhaça, concentração e outros. In WORKSHOP TECNOLÓGICO SOBRE VINHAÇA. Projeto programa de pesquisa em políticas

públicas. Jaboticabal, 2007. Disponível em:
<http://pt.scribd.com/doc/46651645/Workshop-Vinhaça>. Acesso em: 27 jul. 2011

ALVAREZ, R. et al. Adubação de cana de açúcar: XIV. Adubação NPK em latossolo roxo. *Bragantia*, Campinas v. 50, n. 2, p. 359-374, 1991.

BARBOSA, V, et al. Uso de vinhaça concentrada na adubação de soqueira de cana-de-açúcar. **STAB: Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 34, n. 6, p. 26-31, 2006.

BIASE, L. P. Aspectos gerais da concentração da vinhaça. WORKSHOP DE GESTÃO DE ENERGIA E RESÍDUOS NA AGROINDUSTRIA SUCROALCOOLEIRA, 2007. Pirassununga USP, Disponível em: < <http://www.fzea.usp.br/green/GERA/Luiz%20Paulo%20De%20Biase.doc>>. Acesso em 27 jul. 2011.

BRITO, F. L.; ROLIM, M. M. Comportamento do efluente e do solo fertirrigado com vinhaça. **Agropecuária Técnica**, Areia, v. 26, n. 1. p. 60–67, 2005

CAROLO, A. Usina cerradinho concentra vinhaça com sucesso. **Jornal cana tecnologia industrial**. Potirendaba, Jul. 2009. Disponível em: <<http://www.canaweb.com.br/pdf/187/%5Ctecindls.pdf>>. Acesso em: 27 jul. 2011.

CASAGRANDE, A. A. Métodos de Utilização e Aplicação de Vinhaça. In **workshop tecnológico sobre vinhaça**. 2007, Jaboticabal. Disponível em: <http://www.apta.sp.gov.br/cana/coletanea/Marcia_Mutton%5B1%5D.doc>. Acesso em: 27 jul. 2011.

CARNEIRO, A. E. V.; TRIVELIN, P. C. O.; VICTORIA, R. L. Utilização da reserva orgânica e de nitrogênio do tolete de plantio (colmo-semente) no desenvolvimento da cana-planta. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 52 n. 2, p. 199-2009. 1995.

CORTEZ, L. A. B., et al. Biodigestão de Efluentes. In: CORTEZ, L. A. B. LORA, E. S (Coord.) **Biomassa para Energia**. Campinas: Editora da UNICAMP, 2007. cap. 15.

FRANCO, H. C. J., et al Aproveitamento pela cana-de-açúcar da adubação nitrogenada de plantio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, número especial. 2008.

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

Freire, W. J.; Aguiar, M. A. Incorporação de vinhaça concentrada em dois solos distintos: Características químicas, físicas e mecânicas da mistura obtida. **Engenharia Agrícola**, v. 13, p. 85-96, 1993.

FREITAS, G., et al. Fertirrigação com vinhaça no município de São Roque de Canaã, ES. **Revista UNIARA**, Araraquara, v. 13, n. 1, 2010.

GRANATO, E. F.; SILVA, C. L. Geração de energia elétrica a partir do resíduo vinhaça. Anais 4. Encontro de. Energia no Meio Rural. 2002.

HERMANN, E. R. & CÂMARA, G. M. S. Um método simples para estimar a área foliar de cana-de-açúcar. **Revista da STAB**, Piracicaba, n. 17, 1999. p.32-34.

LYRA, M. R. C. C.; ROLIM, M. M.; SILVA, J. A. A. Toposseqüência de solos fertigados com vinhaça: contribuição para a qualidade das águas do lençol freático. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, Campina Grande v. 7 n. 3 . 2003.

LUCAS JR, J. Tratamento da vinhaça: biodigestão anaeróbia. IN WORKSHOP TECNOLÓGICO SOBRE VINHAÇA. 2007, Jaboticabal. Disponível em: <http://www.apta.sp.gov.br/cana/coletanea/Marcia_Mutton%5B1%5D.doc>. Acesso em: 27 jul. 2011.

GLÓRIA, N. A.; ORLANDO FILHO, J. Aplicação de vinhaça: um resumo e discussão sobre o que foi pesquisado. **Álcool e Açúcar**, v.4, n. 5, p 22-31, 1984.

GRACIANO, W. P. Delineamento das condições biológicas e físico-químicas para biodigestão de vinhaça. 2007 Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental) Universidade de Ribeirão Preto.

MACHADO, P. L. O. A.; SANTOS, H. G.; FIDALGO, E. C. C.; MADARI, B. E. Solo-Agência de informação Embrapa. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia4/AG01/arvore/AG01_2_2072004152820.html> Acesso em: 20 ag. de 2011.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: editora agronômica Ceres, 2006. 631 p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. de. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319 p.

MARQUES, M. O., et al. **Tecnologias na agroindústria canavieira**. Jaboticabal: FCAV, 2008. 319p.

MARQUES, M. O. **Aspectos técnicos e legais da produção, transporte e aplicação de vinhaça**. In: SEGATO, S. V., et al **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba, 2006. p. 369- 375.

MAULE, R. F.; MAZZA, J. A.; MARTHA JR G. B. Produtividade agrícola de cultivares de cana-de-açúcar em diferentes solos e épocas de colheita. **Scientia. Agrícola**, Piracicaba. v. 58 n. 2, 2001.

MEDEIROS, M. J. L., et al. Efeito da salinidade em plantas de cana-de-açúcar na fase inicial de crescimento. Disponível em:

<<http://www.eventosufrpe.com.br/jepex2009/cd/resumos/r0800-3.pdf>> acesso em 29/07 2011.

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** Londrina. v. 23, n. 2, p. 179–184, 2002.

MENDES, A. M. S., et al. Acúmulo de nutrientes pela cana-de-açúcar irrigada cultivada no Semiárido Tropical brasileiro. **FERTBIO** – Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Guarapari. 2010.

NOGUEIRA, T. A. R., et al. Nutrientes em cana-de-açúcar de 5º corte cultivada em solo tratado com lodo de esgoto e vinhaça por quatro anos consecutivos. **Revista de biologia e ciências da terra**. v. 7, n. 2, p.7-19, 2007.

ORLANDO FILHO, J. O., Relações K, Ca e Mg de solo areia quartzosa e produtividade da cana-de-açúcar. **STAB**, Piracicaba, v. 14, n. 5, p. 13-17, 1996.

PASSARIN, A. L., et al. Caracterização de agregados em um Latossolo Vermelho distroférico típico submetido a diferentes doses de vinhaça. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol. 31, n. 6, p.1255-1260. 2007.

PAULINO, A. F., et al. Produção agrícola e industrial de cana de açúcar submetida a doses de vinhaça. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 23, n. 2, p. 145-150, 2002

PINTO, C. P. Tecnologia da Digestão anaeróbia da vinhaça e desenvolvimento sustentável. Dissertação (Mestrado em planejamento de sistemas energéticos). Faculdade de Engenharia Mecânica, UNICAMP. Campinas, 1999.

POMPERMAYER, R. S.; PAULA JR, D. R. Estimativa do potencial brasileiro de produção de biogás através da biodigestão da vinhaça e comparação com outros energéticos. In: **Encontro de energia no meio rural**, An.3. 2003

PRADO, R. M., **Nutrição de plantas**. Jaboticabal: editora UNESP, 2008. 407 p.

RAIJ, J. C. A.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; **Análise Química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto agrônomo, 2001.

RAIJ, B. van. Calibração do potássio trocável em solos para feijão, algodão e cana-de-açúcar. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 26, n. 6, p. 575-576, 1974

RAIJ, B. van. et al. (Ed). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônomo & Fundação IAC, 1996. 285p.

RAMOS, N. P., et al. Efeito da vinhaça no desenvolvimento inicial de girassol, mamona e amendoim em casa de vegetação. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 3, p. 685-692, 2008.

RESENDE, A. S. de., et al. Long-term effects of pre-harvest burning and nitrogen and vinasse applications on yield of sugar cane and soil carbon and nitrogen stocks on a plantation in Pernambuco, N.E. Brazil. **Plant and Soil** p. 339–351, 2006.

RODRIGUEZ, J. G. O. Effects of vinasse on sugarcane (*Saccharum officinarum*) productivity. **Revista de la facultad agronomia Luz**, Venezuela v. 17, p 318-326, 2000.

ROSSETTO, R., et al. **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2008. p. 289-312.

ROSSETTO, R., et al. Calagem para a cana-de-açúcar e sua interação com a adubação potássica. **Bragantia**, Campinas v. 64, n. 1, 2004.

SANTANA, M. J., et al. Efeitos da salinidade da água de irrigação na brotação e desenvolvimento inicial da cana-de-açúcar (*Saccharum ssp*) e em solos com diferentes níveis de textura. **Ciência Agrotécnica**, Lavras v. 31, n. 5, p. 1470-1476, 2007.

SALOMON, K. R.; LORA, E. E. S. Estimate of the electric energy generating potential for different sources of biogas in Brazil. **Biomass and bioenergy** v. 33 p.101-107, 2009.

SILVA, M. A. S.; GRIEBELER N. P.; BORGES L. C. Uso de vinhaça e impactos nas propriedades do solo e lençol freático. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v. 11, n. 1, p.108–114, 2007.

SILVA, V. M.; et al. Mineralização e volatilização do nitrogênio da vinhaça-¹⁵n na presença ou não de uréia e de palha de cana-de-açúcar Scientia agrícola, Piracicaba vol. 56 n. 1, 1999.

SOUZA, D. M. G.; LOBATO, E. Agencia de informações Embrapa – Latossolos. Disponível em <
http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia16/AG01/arvore/AG01_96_10112005101956.html>. Acesso em 27 jul de 2011.

SPIRONELLO, A., et al. Cana-de-açúcar. In RAIJ, B. van., et al. **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. 2. ed. Campina: Instituto Agrônômico; Fundação IAC, 1996. p. 237-239.

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

TANG, QI-ZHAN., et al. Effect of liquid fertilizer made from sugar mill based distillery effluent on sugarcane. **Sugar Tech**, v. 8, p. 303-305, 2006.

TASSO JR, L. C.; et al. Produtividade e qualidade de cana-de-açúcar cultivada em solo tratado com lodo de esgoto, vinhaça e adubos minerais. **Engenharia. Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 1, p. 276-283, 2007.

SOUZA, R. M. et al. TERMO DE REFERÊNCIA – TR8. Geração de Eletricidade a partir de Biomassa e Biogás. Consultoria Andrade & Canellas. 2007.

TORO, J. M. G. EFECTO DE LA APLICACIÓN DE VINAZA EN LA PRODUCCIÓN Y CALIDAD DE LA CAÑA DE AZÚCAR. **Caña de Azúcar**, v. 14 n. 1 p. 15-34. 1996.

UCHÔA, S. C. P., et al. Resposta de seis variedades de cana-de-açúcar a doses de potássio em ecossistema de cerrado de Roraima. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 40, n. 4, p. 505-513, 2009.

VITTI, A. C., et al. Potássio In CASAGRANDE, A. A. et al **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agronômico, 2008. p. 289-312.