UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP

CÂMPUS DE JABOTICABAL

VINHAÇA *IN NATURA* E BIODIGERIDA CONCENTRADA: EFEITOS NAS CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS E BIOQUÍMICAS DO SOLO E NO CRESCIMENTO INICIAL DA CANA-DE-AÇÚCAR

Terezinha Ferreira Xavier

Engenheira Agrônoma

2012

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP

CÂMPUS DE JABOTICABAL

VINHAÇA *IN NATURA* E BIODIGERIDA CONCENTRADA: EFEITOS NAS CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS E BIOQUÍMICAS DO SOLO E NO CRESCIMENTO INICIAL DA CANA-DE-AÇÚCAR

Terezinha Ferreira Xavier

Orientador: Prof. Dr. Jairo Osvaldo Cazetta

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para obtenção do título de Doutora em Agronomia (Ciência do Solo)

2012

Xavier, Terezinha Ferreira
X3v Vinhaça *in natura* e biodigerida concentrada: Efeitos nas características químicas e bioquímicas do solo e no crescimento inicial da cana-de-açúcar. / Terezinha Ferreira Xavier. – – Jaboticabal, 2012
xix, 66 f. ; 28 cm

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2012
Orientador: Jairo Osvaldo Cazetta
Banca examinadora: Samira Domingues Carlin Cavallari, Fábio Olivieri de Nóbile, Miguel Ângelo Mutton, Edson Luiz Mendes Coutinho
Bibliografia

1. Resíduo. 2. Biodigestão. 3. Respiração do solo. 4. Urease. 5. Palhada. I. Título. II. Jaboticabal - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 631.433.3:633.61

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

TEREZINHA FERREIRA XAVIER - nascida em 18 de março de 1980 em Adrianópolis Ceará. Em março de 2002 ingressou no curso de Engenharia Agronômica na Universidade Estadual do Piauí – UESPI, Câmpus de Parnaíba, onde foi bolsista PIBIC de 2005 a 2006, trabalhando com melhoramento de genótipo de soja. Obteve o título de Engenheira Agrônoma em Julho de 2006. Em março de 2007 ingressou no Mestrado em Agronomia pelo programa de Ciência do Solo da Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE, obtendo o título de mestre em fevereiro de 2009. Neste mesmo ano ingressou no Doutorado em Agronomia pelo programa Ciência do Solo da UNESP - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Câmpus de Jaboticabal. Tem como produção bibliográfica seis artigos em periódicos e 19 trabalhos apresentados em congresso. Atualmente é professora da componente curricular Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas no Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Roraima – Câmpus de Amajari.

Aos meus pais,

Antônio Portela Xavier e Lúcia Ferreira Xavier

DEDICO

As minhas irmãs Hélia, Roseane, Rosângela, Simone, Rute, e
Ao meu esposo André Suêldo pelo incentivo,

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

À Jeová minha fonte espiritual de ajuda, por me conceder sabedoria, e me guiar diante dos obstáculos.

Aos meus pais Antônio e Lúcia, e minhas irmãs Hélia, Roseane, Rosângela, Simone e Rute, que apesar da distancia sempre estiveram presente, me apoiando e incentivando, nos momentos difíceis e foram fonte de estimulo para conclusão deste trabalho.

Ao meu orientador Prof. Dr. Jairo Osvaldo Cazetta, pelo acolhimento na minha chegada em Jaboticabal, pelo estímulo e apoio despendido.

Ao técnico de laboratório José Carlos Freitas, pela ajuda concedida.

À amiga Uliana pela disposição em ajuda no momento mais difícil da estadia em Jaboticabal.

Ao André Suêldo pela amizade, companheirismo e conversas que ajudaram na minha formação tanto cientifica como pessoal no decorrer do curso.

À Universidade Estadual Paulista (UNESP) “Julio de Mesquita Filho” – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV) – Câmpus de Jaboticabal, ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Ciência do Solo), pela oportunidade.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro dos 18 primeiros meses.

À usina São Francisco e BPI – Biotechical Processes International, pelo fornecimento das vinhaças necessárias à realização deste trabalho.

E finalmente, a todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram na realização deste trabalho.

SUMÁRIO

Pag.

LISTA DE TABELAS ---------- vii

LISTA DE FIGURAS ---------- ix

RESUMO ---------- xi

ABSTRACT ---------- xiii

1. INTRODUÇÃO ---------- 15

2. REVISÃO DE LITERATURA ---------- 16

2.1. Aspectos Gerais ---------- 16

2.2. Características da vinhaça bruta ou *in natura* ---------- 17

2.3. O uso da vinhaça bruta como fertilizante ---------- 17

2.4. Uso da vinhaça concentrada sem prévia digestão ---------- 22

2.5. A biodigestão da vinhaça ---------- 22

3. MATERIAL E MÉTODOS ---------- 23

3.1. I Etapa: Experimento em condição de Laboratório ---------- 24

3.2. II Etapa: Experimento em casa de vegetação ---------- 25

3.3. III Etapa: Ensaio em campo ---------- 28

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO ---------- 31

4.1. I Etapa: Experimento em condição de Laboratório ---------- 31

4.2. II Etapa: Experimento em casa de vegetação ---------- 35

4.3. III Etapa: Ensaio em campo ---------- 53

5. CONCLUSÃO ---------- 62

6. REFERÊNCIAS ---------- 63

LISTA DE TABELAS

		Pág.
01 -	Características químicas dos solos (Argissolo e Latossolo) utilizados no experimento em condições de laboratório.	**24**
02 -	Características químicas das vinhaças: *in natura* (VN) e concentrado de vinhaça biodigerida (CVB).	**25**
03 -	Características químicas das vinhaças: *in natura* (VN) e concentrado de vinhaça biodigerida (CVB) utilizado no experimento em condições de laboratório.	**26**
04 -	Características químicas da vinhaça *in natura* e do concentrado de vinhaça biodiregida utilizadas no experimento.	**29**
05 -	Valores do teste F da análise de variância para efeitos principais e Interações dos dados de composição química do solo.	**32**
06 -	Interações entre solos e fontes de fertilizantes potássicos:testemunha (T); vinhaça *in natura* (VN); concentrado de vinhaça biodigerida (CVB); vinhaça *in natura* adicionado de N (VN+N); concentrado de vinhaça biodigerida adicionado de N (CVB+N); e adubação mineral (AM), na composição química de um Latossolo e um Argissolo.	**33**
07 -	Evolução do CO_2 do solo após aplicação dos tratamentos: testemunha; vinhaça *in natura* (VN); concentrado de vinhaça biodigerida (CVB); vinhaça *in natura* adicionado de N e P (VN+N); concentrado de vinhaça biodigerida adicionado de N e P (CVB+N); e adubação mineral (AM) obtida em condição de casa de vegetação em solo com e sem cobertura de palhada.	**36**
08 -	Matéria seca (MS) da palhada remanescente, nutrientes e carboidratos estruturais contidos na palhada após um ano da aplicação dos tratamentos: Testemunha; vinhaça *in natura* (VN); concentrado de vinhaça biodigerida (CVB); vinhaça *in natura* adicionado de N e P (VN+N); concentrado de vinhaça biodigerida adicionado de N e P (CVB+N); e adubação mineral (AM).	**39**
09 -	Valores do teste F da análise de variância para efeitos principais e Interações dos dados de composição química do solo em sistema de manejo com e sem cobertura do solo após um ano da aplicação de vinhaça *in natura* e concentrado de vinhaça biodigerida com fonte de fertilizantes, em condições de casa de vegetação.	**40**
10 -	Interações entre cobertura do solo e fontes de fertilizantes nos teores de cálcio e magnésio do solo após um ano da aplicação dos	**40**

tratamentos: Testemunha; vinhaça *in natura* (VN); concentrado de vinhaça biodigerida (CVB); vinhaça *in natura* adicionado de N e P (VN+N); concentrado de vinhaça biodigerida adicionado de N e P (CVB+N); e adubação mineral (AM).

11 - Valores do teste F da análise de variância para os efeitos principais e interações dos dados de crescimento de plantas. **43**

12 - Efeito da cobertura do solo com palha de cana-de-açúcar nas variáveis, altura de planta, diâmetro do colmo e número de folhas de cana-de-açúcar. **43**

13 - Valores do teste F da análise de variância para os efeitos principais e interações no acúmulo de nutriente nas plantas de cana-de-açúcar. **45**

14 - Valores do teste F da análise de variância para os efeitos principais e interações nos teores de nutriente na folha diagnóstico de plantas de cana-de-açúcar. **50**

15 - Teores médios de carbono da biomassa microbiana do solo (C-BMS); nitrogênio da biomassa microbiana do solo (N-BMS); quociente metabólico (qCO_2), atividade da urease e desidrogenase após vinte dias de incubação e cento e vinte dias da aplicação no campo dos tratamentos: Testemunha (T); vinhaça *in natura* + P (VN+P); Concentrado de vinhaça biodigerida +P (CVB+P); vinhaça *in natura* +N+ P (VN+N+P); Concentrado de vinhaça biodigerida +N+P (CVB+N+P); e adubação mineral NPK (AM) . **56**

16 - Valores médios obtidos para analise química do solo com os tratamentos: Testemunha (T); Vinhaça *in natura* (VN+P); Concentrado de vinhaça biodigerida (CVB+P); Vinhaça *in natura* com adubação mineral (VN+P+N); Concentrado de vinhaça biodigerida com adubação mineral (CVB+P+N); Adubação mineral (AM). **58**

17 - Teores foliares médios de macro e micronutriente em função da aplicação de vinhaça *in natura*, concentrado de vinhaça biodigerida e adubação mineral em cana-de-açúcar após cinco meses da brotação. **61**

LISTA DE FIGURAS

Pág.

01 - Interação entre solo fertilizante e tempo de incubação dos tratamentos: testemunha (T); vinhaça *in natura* (VN); concentrado de vinhaça biodigerida (CVB); vinhaça *in natura* adicionado de N (VN+N); concentrado de vinhaça biodigerida adicionado de N (CVB+N); e adubação mineral (AM), no pH do Argissolo (a); e Latossolo (b) **33**

02 - Evolução do CO_2 do solo após aplicação dos tratamentos: testemunha (T); vinhaça *in natura* (VN); concentrado de vinhaça biodigerida (CVB); vinhaça *in natura* adicionado de N e P (VN+N); concentrado de vinhaça biodigerida adicionado de N e P(CVB+N); e adubação mineral (AM) obtida em condição de casa de vegetação em solo com cobertura (A); sem cobertura (B); e respiração acumulada em 16 dias (c). **37**

03 - Teores de Fósforo no solo (a) efeito dos tratamentos; testemunha; vinhaça *in natura* (VN); concentrado de vinhaça biodigerida (CVB); vinhaça *in natura* adicionado de N e P (VN+N); concentrado de vinhaça biodigerida adicionado de N e P (CVB+N); adubação mineral (AM); e (b) efeitos da cobertura do solo. **41**

04 - Efeito dos tratamentos: testemunha; vinhaça *in natura* (VN); concentrado de vinhaça biodigerida (CVB); vinhaça *in natura* adicionado de N e P (VN+N); concentrado de vinhaça biodigerida adicionado de N e P (CVB+N); adubação mineral (AM), no teor de potássio do solo. **42**

05 - Interação entre cobertura do solo e fontes de fertilizantes na matéria seca de plantas de cana-de-açúcar cultivada em casa de vegetação. Nas colunas em cor grafite e cinza, letras minúsculas iguais não diferem estatisticamente entre si, no nível de 5% de probabilidade. Na coluna, letras maiúsculas iguais não diferem estatisticamente entre si, o nível de 5% de probabilidade. **44**

06 - Acúmulo de (a) Mg; (b) Ca; (c) K; (d) N; (e) P e (f) S, em plantas de cana-de-açúcar cultivadas em solo com e sem cobertura após seis meses da aplicação dos tratamentos: Testemunha; vinhaça *in natura* (VN); concentrado de vinhaça biodigerida (CVB); vinhaça *in natura* adicionado de N e P (VN+N); concentrado de vinhaça biodigerida adicionado de N e P (CVB+N); e adubação mineral (AM). Nas colunas, médias seguidas de letras minúsculas iguais compara **46**

cores, e nas coluna, médias seguidas de letras maiúsculas iguais compara cor, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

07 - Testemunha; vinhaça *in natura* (VN); concentrado de vinhaça biodigerida (CVB); vinhaça *in natura* adicionado de N (VN+N); concentrado de vinhaça biodigerida adicionado de N (CVB+N); e adubação mineral (AM) para acúmulo de micronutrientes em plantas de cana-de-açúcar (a) Ferro; (b) Manganês; (c) Zinco; e (d) Cobre. Na coluna, médias seguidas de letras minúsculas iguais, e na linha, médias seguidas de letras maiúsculas iguais, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$). **48**

08 - Teores de macro (a) magnésio; (b) cálcio; (c) potássio; e micronutriente (d) ferro; (e) manganês; e (f) cobre, na folha diagnóstico de cana-de-açúcar cultivada em condição de casa de vegetação com os tratamentos: Testemunha; vinhaça *in natura* (VN); concentrado de vinhaça biodigerida (CVB); vinhaça *in natura* adicionado de N e P (VN+N); concentrado de vinhaça biodigerida adicionado de N e P(CVB+N); e adubação mineral (AM). **51**

09 - Influencia da cobertura do solo com palhada nos teores de nitrogênio, fósforo e enxofre na folha diagnóstico de cana-de-açúcar cultivada em condições de casa de vegetação. **52**

10 - Liberação de C-CO_2 do solo incubado com os tratamentos: testemunha (T); vinhaça *in natura* adicionada de P (VN+P); concentrado de vinhaça biodigerida adicionado de P (VC+P); vinhaça *in natura* adicionada de N + P (VN+N+P); concentrado de vinhaça biodigerida adicionado de N + P (VC+N+P); e adubação mineral (N+P+K) (a) por hora de incubação; (b) acumulada em 12 dias. **53**

11 - Palha remanescente sobre o solo aos 120 dias da aplicação dos tratamentos: testemunha (T); vinhaça *in natura* adicionada de P (VN+P); concentrado de vinhaça biodigerida adicionado de P (VC+P); vinhaça *in natura* adicionada de N + P (VN+N+P); concentrado de vinhaça biodigerida adicionado de N + P (VC+N+P); e adubação mineral (N+P+K). **60**

VINHAÇA *IN NATURA* E BIODIGERIDA CONCENTRADA: EFEITOS NAS CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS E BIOQUÍMICAS DO SOLO E NO CRESCIMENTO INICIAL DA CANA-DE-AÇÚCAR

RESUMO - Visando comparar os efeitos do concentrado de vinhaça biodigerida com a vinhaça *in natura* nas propriedades químicas e biológicas do solo e no crescimento inicial da cana-de-açúcar, foram conduzidos três ensaios em diferentes condições: laboratório, casa de vegetação e campo. No ensaio de laboratório foram utilizados dois solos: Argissolo e Latossolo, os quais foram incubados por 15, 30 e 60 dias com os tratamentos: (T) testemunha (sem adubação); (VN) vinhaça *in natura* na dose equivalente a 200 kg ha^{-1} K_2O; (VN+N) vinhaça *in natura* adicionada de N (200 kg ha^{-1}) na forma de $NaNO_3$; (CVB) concentrado de vinhaça biodigerida na dose equivalente a 200kg ha^{-1}de K_2O; (CVB+N) concentrado de vinhaça biodigerida adicionado de N (200 kg ha^{-1}); (AM) adubação mineral (N e K 200 kg ha^{-1} de N e K_2O). Neste ensaio foi determinado pH, M.O, Ca, Mg, P, K e foram calculados CTC e V%. Nos ensaios de casa de vegetação foi usado um Latossolo na presença e ausência de palhada submetido aos tratamentos: Testemunha (sem adubação); Adubação mineral: N (100 kg $ha^{-1)}$ + P (30 kg ha^{-1}) + K (130 kg ha^{-1}); Vinhaça *in natura* (100 m^3 ha^{-1}) + P; Concentrado de vinhaça biodigerida (10 m^3 ha^{-1}) + P; Vinhaça *in natura* + P + N; Concentrado de vinhaça biodigerida + P + N. No ensaio de casa de vegetação foram determinados fertilidade do solo, palha remanescente e respiração basal do solo. Na planta, foi avaliado: altura e diâmetro de plantas, número de folhas, matéria seca da parte aérea, acúmulo de nutriente na parte aérea e composição química da folha diagnóstico. O ensaio de campo foi realizado em um talhão de cana soca (segundo corte) em sistema cana crua onde foram aplicados os tratamentos: Testemunha (sem adubação); Adubação mineral: N (100 kg $ha^{-1)}$ + P (30 kg ha^{-1}) + K (130 kg ha^{-1}); Vinhaça *in natura* (100 m^3 ha^{-1}) + P; Concentrado de vinhaça biodigerida (10 m^3 ha^{-1}) + P; Vinhaça *in natura* + P + N; Concentrado de vinhaça biodigerida + P + N. Foram determinados a fertilidade do solo, respiração basal, carbono e nitrogênio microbiano, quociente metabólico, atividade da urease e desidrogenase e palha remanescente sobre o solo foram determinados aos 20 e 120 dias após a aplicação dos tratamentos. Ainda determinou-se a composição química da folha diagnóstico. As vinhaças promoveram aumentos no pH dos solos quando comparado com o testemunha e adubação mineral e elevaram os teores de K em ambos os solo. A respiração do solo foi maior nos solos tratados com ambas as vinhaças adicionadas ou não com N. As vinhaças proporcionaram aumentos no teor de K do solo similares a adubação mineral, tanto em condições de casa de vegetação quando em campo. O solo sem cobertura promoveu maior acumulo de matéria seca na parte aérea das plantas que o solo sem palhada. Concluiu-se que ambas as vinhaças promovem aumentos temporários no pH tanto do Argissolo como do Latossolo. O concentrado de vinhaça biodigerida promove aumentos nos teores de potássio de ambos os solos similar a vinhaça *in natura*. A vinhaça *in natura* induz maior respiração basal do solo que o concentrado de vinhaça biodigerida apenas nas primeiras 96 horas após a aplicação. A decomposição da palhada não é influenciada pela utilização das distintas vinhaças. A vinhaça *in natura* proporciona maior acúmulo de matéria seca da parte aérea que o concentrado de vinhaça

biodigerida, sendo mais expressivo no solo sem cobertura. As vinhaças proporcionam semelhantes teores de potássio na folha diagnóstico da cana, tanto em condições de casa de vegetação como no campo. As vinhaças podem substituir a adubação mineral potássica.

Palavras chave: biodigestão, palha remanescente, resíduo, respiração do solo, urease

CONCENTRATED FROM BIODIGESTED VINASSE AND IN NATURA VINASSE: EFFECTS ON CHEMICAL AND BIOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF SOIL AND INITIAL GROWTH OF SUGARCANE PLANTS

ABSTRACT - To compare the effects of concentrated from biodigested vinasse with in natura vinasse on soil chemical and biological properties and on the initial growth of sugarcane plants, three tests were conducted under different conditions: laboratory, greenhouse and field. In the laboratory test it was used two soils: Ultisol and Oxisol, which were incubated for 15, 30 and 60 days with the folowing treatments: (T) control (without fertilizer); (VN) in natura vinasse at dose equivalent to 200 kg ha K_2O^{-1}; (VN + N) in natura vinasse plus N (200 kg ha^{-1}) as NaNO3; (CVB) concentrated from biodigested vinasse at a dose equivalent to 200 kg ha^{-1} K_2O; (CVB + N) concentrated from biodigested vinasse plus N (200 kg ha^{-1}); (AM) mineral fertilizer (N and K, 200 kg ha^{-1} of N and K_2O). In this trial pH, Organic matter, Ca, Mg, P, K and V% (bases saturation), and CEC were determined. In greenhouse trials was used a dystrophic oxisol in the presence and absence of straw on soil surface, and subjected to the treatments: control (without fertilizer); Mineral fertilizers: N (100 kg ha^{-1}) + P (30 kg ha^{-1}) + K (130 kg ha^{-1}); in natura vinasse (100 m^3 ha^{-1}) + P; concentrated from biodigested vinasse (10 m^3 ha^{-1}) + P; in natura vinasse + P + N; concentrate of biodigested vinasse + P + N. In the greenhouse test were determined soil fertility, and the remaining straw; plant height and diameter, number of leaves, shoot dry matter, nutrient accumulation and leaf chemical composition. The field trial was conducted on a sugarcane ratoon (second cut), submmited to treatments: control (without fertilizer); Mineral fertilizers: N (100 kg ha^{-1}) + P (30 kg ha^{-1}) + K (130 kg ha^{-1}); in natura vinasse (100 m^3 ha^{-1}) + P; concentrated from biodigested vinasse (10 m^3 ha^{-1}) + P; in natura vinasse + P + N; Concentrated from biodigested vinasse + P + N, and soil fertility, basal respiration, microbial carbon and nitrogen, metabolic quotient, dehydrogenase and urease activity and remaining straw on the soil were determined at 20 and 120 days after treatment application. Also it was determined the leaves chemical composition. The tested vinasses promoted initial increases in soil pH compared with the control and mineral fertilization and elevated the levels of K in both soil. Soil respiration was higher in soils treated with both vinasses. The vinasses induced increases in soil K content similar to mineral fertilizer. The bare soil induced greater accumulation of plant dry matter on the soil without straw. It was concluded that both vinasses promote temporary increases in pH mainly for the Ultisol. The concentrated from biodigested vinasse was simmilar to in nature vinasse on increasing the level of potassium in the soil. The in natura vinasse induced greater soil respiration compared to concentrated from biodigested vinasse, only in the first 96 hours after application in both laboratory and greenhouse conditions. The straw decomposition was not influenced by the use of different tested vinasses. The in natura vinasse provided greater plant dry matter accumulation compared to concentrated from biodigested vinasse, with more expressive results in bare soil. The tested cinasses provided similar levels of potassium in the diagnosis leaf of sugarcane plants under greenhouse or field conditions. Both vinasses can replace potassium from mineral fertilizer.

Keywords: biodigestion, straw decomposition, stillage, soil respiration, urease

1. INTRODUÇÃO

Em consequência da expansão da indústria sucroalcooleira no país, vem ocorrendo um aumento significativo da produção de etanol e, consequentemente, também da geração de vinhaça, pois para cada litro de etanol produzido são gerados cerca de 12 litros de vinhaça. Agora que a utilização deste subproduto como fertilizante estava sendo bem estabelecida no cultivo e colheita tradicional da cana-de-açúcar, surgiram alterações importantes no manejo dessa cultura. A principal mudança está sendo a passagem da colheita da cana queimada para o sistema de colheita da cana crua (sem a queima da palha), acompanhada de alternativas de crescente interesse e importância como é o caso do cultivo orgânico. Nesses novos sistemas, todos os aspectos da cultura devem ser repensados, pois a palha (ou também chamada de palhada) que permanece sobre o solo altera toda a dinâmica química, física e biológica do agroecossistema, onde a aplicação da vinhaça pode ter uma forma de participação muito importante e diferente da que tem no sistema com queima. Se isso não bastasse, a crescente demanda por fontes de energia renovável tem sugerido o uso da vinhaça para produção de biogás, através da biodigestão anaeróbica, o qual seria usado em geradores de energia elétrica. A vinhaça biodigerida é um subproduto com muito menos matéria orgânica, o que possibilita a sua concentração, o reuso da sua água na indústria e a redução do custo de transporte. A soma das vantagens viabilizaria a aplicação agrícola mesmo nos cultivos mais distantes das usinas. Portanto, se as alterações que o manejo da cultura vem passando, por si só, já levantam muitas perguntas ainda sem respostas seguras, o uso do concentrado de vinhaça biodigerida ao invés de vinhaça *in natura*, nesse sistema, é uma variável adicional que suscita ainda mais questões, tais como: A aplicação do concentrado de vinhaça biodigerida altera a dinâmica da decomposição da palhada, a reciclagem dos nutrientes, a fertilidade do solo e a nutrição das plantas, comparada com a vinhaça *in natura*? Será que, por um lado, a vantagem do uso da vinhaça para a produção de bioenergia, com a aplicação da vinhaça biodigerida no campo não trará prejuízo para a cultura? Ou, por outro lado, será que, ao invés da vinhaça ser usada para produzir metano dentro de um reator

visando seu uso como combustível para gerar energia, sua aplicação no campo não levaria à rápida decomposição de sua matéria orgânica (portanto, sem vantagens para o sistema agrícola) e, pior ainda, produzindo metano (sem a possibilidade de seu uso) e outros gases que, liberados na atmosfera seriam extremamente danosos pelo potente efeito estufa e grande contribuição para o aquecimento global?

Diante deste contexto o presente trabalho teve como objetivo comparar o efeito da aplicação de vinhaça *in natura* e concentrado de vinhaça biodigerida nas propriedades químicas e biológicas do solo e no crescimento inicial da cana-de-açúcar.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Aspectos gerais

A cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) vem sendo cultivada no Brasil há muito tempo, com destacada importância na produção de açúcar. Entretanto, com o advento do Próalcool nos anos 80, começou a haver grande expansão da indústria alcooleira no país (REZENDE, 1984). Na virada do século esse tipo de agroindústria passou a ser visto como uma das melhores opções de fonte de energia renovável, apresentando grande importância no cenário agrícola brasileiro (MAULE et al. 2001). Atualmente o Brasil destaca-se no cenário mundial como produtor de cana-de-açúcar, cultivando uma área de aproximadamente sete milhões de hectares (AGRIANUAL, 2012). Naturalmente, acompanhando o aumento significativo da produção de álcool, também cresceu a geração de vinhaça, que é o principal resíduo dessa atividade (REZENDE, 1984), pois é produzida numa razão de 11 a13 litros para cada litro de álcool obtido (ROSSETTO, 2004; BRITO e ROLIN, 2005). A vinhaça *in natura* que era problema no passado, atualmente é considerada um insumo de grande valor para a área agrícola. Por isso, qualquer outro destino que se possa pensar para esse produto, levanta dúvidas sobre as reais vantagens e desvantagens que uma ou outra aplicação traria.

2.2. **Características da vinhaça bruta ou *in natura***

Dentre os principais componentes da vinhaça destacam-se uma concentração significativa de matéria orgânica e de potássio, além de outros nutrientes em concentrações relativamente baixas (LYRA, et al. 2003). As características físicas e químicas das vinhaças são variáveis, dependendo dos processos utilizados na indústria (GLÓRIA e ORLANDO FILHO, 1984). Entretanto, num levantamento realizado em 28 usinas do Estado de São Paulo foram observados os seguintes resultados médios: pH = 4,15; temperatura = 89,16ºC; demanda bioquímica de oxigênio de 16949,76 mg L^{-1}; demanda química de oxigênio de 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} Fe_2O_3; fósforo total = 60,41 mg L^{-1} P_2O_5; magnésio = 225,64 mg $L^{-1}MgO$; manganês = 4,82 mg $L^{-1}MnO$; nitrogênio = 356,63 mg L^{-1} N; nitrogênio amoniacal = 10,94 mg $L^{-1}N$; potássio total = 2034,89 mg L^{-1} K_2O; sódio = 51,55 mg $L^{-1}Na$; sulfato = 1537,66 mg L^{-1} SO_4; sulfito = 35,90 mg L^{-1} SO_4; zinco = 1,7 mg $L^{-1}ZnO$ (ROSSETO et al., 2008).

2.3. **O uso da vinhaça bruta como fertilizante**

Nos primórdios da produção de álcool de cana-de-açúcar no Brasil, a vinhaça era um resíduo descartado em rios ou acumulado em lagoas de decantação, o que gerava sérios problemas ambientais. Por volta de 1950 a vinhaça começou a ser usada na lavoura de cana-de-açúcar e, a partir de então, seus efeitos no solo e na cultura passaram a ser mais bem estudados, com um uso mais racional a partir de 1972 (GLÓRIA, 1997). Com a percepção dos efeitos benéficos como fertilizante do solo, passou a ser uma matéria de valor cada vez maior.

Ao ser aplicada no campo a vinhaça bruta ou "*in natura*" provoca uma série de modificações nas características físicas e químicas do solo, principalmente no pH, CTC, Carbono orgânico, retenção de água, condutividade elétrica, porosidade, afetando também a população e a atividade de microrganismos do solo (COPERSUCAR, 1978, GLÓRIA, 1997, LEAL et al., 1983; CAMARGO et al., 1984; SENGIK et al., 1988; MENDOZA et al., 2000).

De forma geral, parece que a influência da aplicação da vinhaça na agregação do solo é um processo dinâmico e existem indícios de que seus efeitos benéficos estão relacionados à atividade microbiana (CAMPOS et al., 1995), principalmente devido à mucilagem excretada pelos microrganismos que metabolizam os açúcares de pequena cadeia, presentes na vinhaça. Assim, sugere-se que altas taxas de aplicação desse resíduo, juntamente com o tempo adequado de contato com o solo, favorecem a aglutinação das partículas, promovendo aumento na sua estabilidade estrutural (CAMARGO et al., 1983). Entretanto, diferentes condições edafo-climáticas podem induzir diferentes resultados, pois num experimento utilizando doses de vinhaça de 0 a 600 m^3 ha^{-1} por dois anos seguidos em uma área de cana-de-açúcar com Latossolo vermelho distroférrico típico de textura muito argilosa, não foi verificado aumento significativo nos índices de agregação do solo (PASSARIN et al, 2007).

Diferentes 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. Tais variáveis interferem na solubilidade e troca de íons por processos de adsorção/dessorção, devido à complexação e às reações redox dos elementos ativos na solução do solo. Por isso, essas propriedades são fortemente influenciadas pela quantidade de matéria orgânica e drenagem do solo (SILVA et al., 2007).

Um dos componentes inorgânicos da vinhaça que tem grande mobilidade no solo é o potássio, pois foram observados aumentos consideráveis das concentrações desse elemento nas diversas camadas até 100 cm de profundidade, em solo que recebeu vinhaça em doses de até 1000 m^3 ha^{-1} (BRITO e ROLIM, 2005).

Por sua vez, a matéria orgânica da vinhaça parece não ter uma mobilidade muito pronunciada, pois a água do lençol freático a 3m de profundidade numa área fertirrigada com vinhaça não se observou contaminação significativa do aquífero, revelando a grande capacidade do solo em reter compostos orgânicos oxidáveis (LYRA et al., 2003).

Dessa forma, a experiência indica que, de modo geral, quando a vinhaça é aplicada no solo ocorre uma melhoria em sua fertilidade, porém, as quantidades não devem ultrapassar sua capacidade de retenção de íons, isto é, as dosagens devem ser mensuradas de acordo com as características de cada solo, pois, uma vez que este resíduo possui quantidades desbalanceadas de elementos minerais e orgânicos, pode ocorrer a lixiviação de vários íons, sobretudo do nitrato e do potássio (SILVA et al. 2007). Nesse sentido, em abril de 2005 a CETESB publicou a portaria nº 01/05, reeditada em dezembro de 2006, através da Norma Técnica P4.231, definindo critérios e procedimentos para o armazenamento, transporte e aplicação de vinhaça no solo do Estado de São Paulo. Nesta regulamentação foi estabelecida a obrigatoriedade de apresentação de um "Plano de Aplicação de Vinhaça", até o dia 02 de abril de cada ano, contendo mapas com a identificação das áreas de aplicação, canais, tanques, dados sobre o solo, formas e dosagens de aplicação, além da caracterização química da vinhaça a ser utilizada (CETESB 2006**)**. A dose máxima de vinhaça definida pela referida portaria da CETESB é: m^3 de vinhaça/ha = [(0,05 x $CTC_{efetiva}$ – ks) x 3744+ 185] / kvi**,** Onde: 0,05 = 5% da CTC; CTC = capacidade de troca catiônica ($cmol_c/dm^3$); Ks = concentração de potássio no solo (cmolc/dm^3); 3744 = constante – $cmol_c/dm^3$ para kg de potássio em um volume de1 ha por 0,8 metros de profundidade; 185 = massa, em kg, de K_2O extraído pela cultura por ha, por corte; Kvi = concentração de potássio na vinhaça em kg de K_2Om^3. Como pode ser observado na proposta de cálculo acima exposta, num determinado solo é o potássio que baliza, ou limita, a dose de vinhaça a ser aplicada.

Também do ponto vista da nutrição das plantas de cana-de-açúcar, o potássio se destaca por ser exportado em maior quantidade, além de influenciar na qualidade da matéria prima. Por isso, um princípio normalmente usado para orientar a recomendação de adubação potássica nessa cultura é a avaliação da disponibilidade desse nutriente no solo. Normalmente, são determinados os teores considerados trocáveis dos nutrientes no solo, e as interpretações dessas análises são baseadas em faixas de fertilidade, admitindo-se valores mínimos ou críticos, abaixo dos quais o desenvolvimento vegetal é limitado (ORLANDO FILHO et al.,

1996). No caso do potássio, o nível crítico no solo estaria em torno de 1,5 $mmol_c$ dm^{-3} (RAIJ et al., 1997).

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, consequentemente, influir diretamente nas quantidades absorvidas pelas plantas (ORLANDO FILHO et al., 1996), o que deve ser levado em conta antes de simplesmente descartar a vinhaça no solo de uma cultura.

Os efeitos da aplicação da vinhaça sobre o pH do solo são decorrentes da oxidação da matéria orgânica (elevando o pH do solo), provocada pela população microbiana, que ataca a matéria orgânica e decompondo-a parcialmente, diminui a acidez do solo (SILVA et al, 1999). Em havendo condições oxidantes e facilidade de movimentação de solução no perfil do solo, o que ocorre em solos bastante arenosos, a alteração do pH pode facilmente alcançar mais de um metro de profundidade (BRITO e ROLIM, 2005), mas certamente esse efeito deve ser muito mais restrito às camadas superficiais dos solos argilosos.

Além do potássio e da matéria orgânica, outro elemento da vinhaça bastante visado é o nitrogênio, especialmente nas áreas de cultivo orgânico, onde não se pode aplicar fertilizantes minerais.

Apesar de o nitrogênio contribuir com apenas um por cento, em média, na massa seca total da cana-de-açúcar, seu papel é tão importante quanto o 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).

A quantidade de nitrogênio fixado biologicamente parece ser muito variável, dependendo do sistema de cultivo e das condições edafo-climáticas, mas na literatura são encontradas descrições da ocorrência de fixação biológica de até 210 kg ha^{-1} ano^{-1} de N (VITTI et al., 2008).

No sistema tradicional de manejo, a recomendação de adubação para a cultura de cana-de-açúcar segue o proposto no Boletim técnico 100 do IAC – Instituto Agronômico de Campinas (SPIRONELLO et al., 1997), que leva em conta a

produtividade esperada, o teor de fósforo e o de potássio no solo para estimar a doses de N, P_2O_5 e K_2O a serem aplicadas por hectare. Entretanto, existem dúvidas se tais estimativas seriam adequadas para o sistema de manejo chamado de cana crua, o que justifica a necessidade do desenvolvimento de novos estudos para calibrar a recomendação nesse novo sistema de manejo.

No caso da colheita sem a queima das palhas, estas são deixadas sobre o solo. Como tal material possui uma relação carbono/nitrogênio elevada, promove a imobilização do N, especialmente quando é incorporado ao solo, prejudicando as plantas. Por isso, é comum a suplementação com N mineral para evitar tal problema. Por outro lado, existem afirmações de que a palhada contribui para a manutenção ou aumento do nitrogênio orgânico, que é disponibilizado para a as plantas na segunda metade do ciclo da cultura (GAVA et. al., 2005). Neste aspecto, suspeita-se que a pequena contribuição da vinhaça em N, poderia auxiliar no aumento da velocidade de decomposição da palhada. Ao mesmo tempo, existem evidências de que a adição da vinhaça bruta no solo pode promover aumento das perdas de nitrogênio por volatilização. Esses resultados parecem estar relacionados à melhoria das condições do ambiente biológico do solo e à abrupta oferta de uma quantidade significativa de compostos orgânicos de fácil decomposição, o que estimula o rápido crescimento microbiano responsável por induzir tais perdas. (LARA CABEZAS, 1994; SILVA et al., 1999). Sendo assim, para o caso da vinhaça biodigerida, que perdeu grande parte de sua matéria orgânica na forma de metano e gás carbônico, tudo leva a crer que o comportamento seja distinto da vinhaça bruta, mas só se poderá afirmar com certeza após o desenvolvimento de experimentos que comparam o efeito de ambos tipos de produtos.

Além da volatilização, outras formas de perda de N também são consideradas, pois foi demonstrado que a recuperação de N-uréia pela cana-planta é bastante baixa (entre 21 e 30%, dependendo da situação). Essa baixa recuperação tem sido atribuída às perdas por lixiviação de nitrato, desnitrificação, volatilização do fertilizante e por perdas naturais de N pela folhagem da cultura durante o processo de maturação (FRANCO et al., 2008). Dessa maneira tem sido demonstrado que, nos sistemas de cultivo tradicionais, a complementação de nitrogênio na forma de fertilizante aplicado após a adição de vinhaça, apresenta

melhor retorno econômico, conforme dados levantados por VITTI et al. (2008). Porém, no que se refere à cana com colheita sem queima, os dados ainda são incipientes.

2.4. **Uso de vinhaça concentrada, sem prévia digestão**

A partir da comprovação dos efeitos benéficos do uso da vinhaça para a cultura da cana-de-açúcar, associado à economia de fertilizantes entre outros aspectos, a limitação de seu uso agricultura passou a ser o custo de transporte e aplicação no campo, sendo viável apenas em curtas distâncias a partir do ponto de produção. Por isso, desde 1978 a Usina Santa Eliza vem tentando otimizar concentradores e equipamento de aplicação no campo, mas o gasto de energia e o custo da concentração ainda eram muito limitantes, o que passou a melhorar a partir de 1999, com a implantação do sistema de co-geração de energia (BARBOSA, 2006). O uso da vinhaça concentrada viabiliza sua aplicação em cultivos localizados até distancias em torno de 90 km, sendo demonstrado que sua aplicação na dose equivalente a 180 kg ha^{-1} K_2O com complementação nitrogenada e 270 kg ha^{-1} K_2O sem complementação nitrogenada, poderia substituir com vantagem a adubação mineral (BARBOSA et al., 2006).

2.5. **A biodigestão da vinhaça**

O incentivo do governo brasileiro em transformar o Brasil numa referência na produção de bioenergia, bem como o dos órgãos de fomento à pesquisa nessa área, certamente aumentará a produção de etanol de cana-de-açúcar. Consequentemente ampliará consideravelmente o volume de vinhaça produzida, o que torna premente o desenvolvimento de alternativas inteligentes e viáveis de disposição e aproveitamento desse efluente. Dentre as formas alternativas de conversão da biomassa em energia secundária, destaca-se a biodigestão anaeróbia da vinhaça, o que permite o seu aproveitamento sob a forma de biogás (mistura gasosa rica em metano). Na verdade, a finalidade inicial da biodigestão anaeróbica era o tratamento da vinhaça como efluente poluidor das águas, pois tinha a vantagem de promover

grande redução da DBO (demanda bioquímica de oxigênio), além de produzir o biofertilizante, pequena produção de lodo, baixos custos operacionais e de investimento (POMPERMAYER, 2000).

A biodigestão anaeróbia da vinhaça é uma alternativa ainda pouco utilizada, entretanto, sua viabilidade vem sendo provada por vários estudos, pois além de reduzir a demanda bioquímica de oxigênio (D.B.O) da vinhaça em 70 a 90%, a quantidade de gás produzida serve como fonte adicional de combustível renovável (LONGO, 1994; FREIRE e CORTEZ, 2000). Segundo LAMO (1991), considerando os teores de N/P/K da vinhaça biodigerida, esta pode ser utilizada para a fertirrigação em vez da vinhaça “in natura”, com a vantagem de mais fácil manuseio devido ao seu pH neutro. LONGO (1994) relata que a vinhaça biodigerida, promoveu aumento de aproximadamente 30% no conteúdo de C-orgânico e de N-total, indicando que, mesmo com baixo teor de matéria orgânica total, em relação à vinhaça in natura, sua aplicação ao solo resulta em aumento sensível nos teores desses elementos.

Outra vantagem da biodigestão da vinhaça é a viabilidade de expansão da distribuição para áreas distantes, uma vez que a vinhaça biodigerida pode ser bastante concentrada, reduzindo os custos com transporte. Entretanto, os efeitos desta na decomposição da palhada, na fertilidade e emissão de CO_2 do solo, na disponibilidade de nutrientes para as plantas, especialmente na nova ordem que é o cultivo da cana sem a queima da palha, são desconhecidos. Em função do acima exposto, é absolutamente urgente e necessário o desenvolvimento de pesquisas que possam contribuir para o desenvolvimento dessa importante área, pois, além da importância econômica e ambiental é também de caráter estratégico para a nação, tanto do ponto de vista econômico como ambiental.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi desenvolvido em três etapas distintas: I etapa: realizou-se um experimento de incubação de solo em condições de laboratório; II etapa: foi

desenvolvido um experimento em vasos em condição de casa de vegetação; e III etapa: um ensaio em campo. Em seguida estão descritos os detalhes metodológicos dos experimentos conduzidos.

3.1. **I Etapa: Experimento em condição de Laboratório**

Consistiu na incubação de dois distintos solos, com seis tratamentos de fertilização: Testemunha, duas diferentes vinhaças na presença e ausência de N e adubação mineral, para verificar possíveis modificações resultantes da aplicação das vinhaças nas propriedades químicas do solo em curto prazo. O experimento foi conduzido no laboratório do departamento de tecnologia da FCAV/UNESP - Campus de Jaboticabal. Para incubação foram utilizados dois solos: Latossolo coletado na fazenda experimental da UNESP/FCAV, na profundidade de 0 a 20 cm; e um Argissolo coletado na profundidade de 0 a 20 cm, ao lado da rodovia SP 323 (Monte Alto - Taquaritinga), km 01, na cidade de Monte Alto-SP. Os solos foram incubados em potes plásticos contento 300g de solo seco ao ar, do qual foi elevada a umidade em 60 % da capacidade de pote. As características químicas dos solos estão apresentadas na tabela 01.

Tabela 01 - Características químicas dos solos (Argissolo e Latossolo) utilizados no experimento em condições de laboratório.

Solo	pH	MO	P	K	Ca	Mg	H+Al	S	T	V
	($CaCl_2$)	g dm^{-3}	Mg dm^{-3}	----------mmol$_c$ dm^{-3}----------						(%)
Argissolo	4,5	8	4	1,6	8,8	2,0	18,6	12,4	31,0	40
Latossolo	5,0	6	4	1,1	2,8	1,0	16,1	4,9	21,0	23

Foi utilizado o delineamento experimental inteiramente casualizado em esquema fatorial 2 x 6 x 4 (dois solos, seis fontes de fertilizante e quatro tempos de incubação) em 4 repetições. A unidade experimental foi representada pelos potes contendo as amostras de solo.

Cada solo (Argissolo e Latossolo) foi submetido aos tratamentos: (T) testemunha (sem adubação); (VN) vinhaça *in natura* na dose equivalente a 200 kg ha^{-1} K_2O, calculada em função da dose de vinhaça utilizada nas usinas (100 m^3 há$^{-}$

^{1}), como a vinhaça apresentava 2,2 g L^{-1} de potássio, isto representa aproximadamente 200 kg k_2O; (VN+N) vinhaça *in natura* adicionada de N (200 kg ha^{-1}) na forma de $NaNO_3$; (CVB) concentrado de vinhaça biodigerida na dose equivalente a 200 kg ha^{-1}de K_2O; (CVB+N) concentrado de vinhaça biodigerida adicionado de N (200 kg ha^{-1}); (AM) adubação mineral (N e K 200 kg ha^{-1} de N e K_2O). As características químicas da vinhaça *in natura* e do concentrado de vinhaça biodigerida utilizados estão na tabela 02.

Tabela 02 – Características químicas das vinhaças: *in natura* (VN) e concentrado de vinhaça biodigerida (CVB).

Variáveis	VN	CVB	Unidades
pH(25°C)	4,41	9,31	-
Matéria orgânica	13,32	48,25	g L^{-1}
Nitrogênio	0,23	0,92	g L^{-1}
Fósforo	0,03	0,15	g L^{-1}
Potássio	2,2	26,0	g L^{-1}
Cálcio	0,57	0,99	g L^{-1}
Magnésio	0,17	0,65	g L^{-1}

Foram realizadas amostragem antes da aplicação dos tratamentos e aos 15, 30 e 60 dias após o inicio da incubação das vinhaças com solo, para determinação do pH, matéria orgânica, K, P, Ca, Mg. A CTC e soma de bases foram calculadas a partir dos cátions presentes no solo (EMBRAPA, 2009).

Os dados foram submetidos à ANOVA e quando significativas, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey (5%), usando o programa computacional Assistat (SILVA, 2008).

3.2. **II Etapa: Experimento em casa de vegetação**

O experimento em vasos em condição de casa de vegetação consistiu na aplicação de seis fontes de fertilizantes: testemunha, duas distintas vinhaças na presença e ausência de N e adubação mineral, em um solo com e sem cobertura com palhada, para observar as possíveis modificações decorrentes da aplicação das vinhaças na evolução do CO_2 do solo, decomposição da palhada, propriedades químicas do solo e desenvolvimento inicial de cana-de-açúcar. O experimento foi conduzido na casa de vegetação do Departamento de Tecnologia da FCAV/UNESP

– campus de Jaboticabal. O Latossolo utilizado foi coletado na Fazenda Experimental da FCAV, na camada superficial do solo (0 - 20 cm de profundidade), homogeneizado e passadas em peneira com malha de 2 mm. As características químicas do solo eram: pH (em $CaCl_2$) 4,8; M.O = 13 g dm^3; P (resina) = 5 mg dm^3; K = 1,5; Ca = 18; Mg = 16; H+Al = 38; SB = 35,5; CTC = 73,5 $mmol_c$ dm^{-3}, respectivamente; V% = 48. As frações granulométricas do solo eram: argila 551; silte 223 e área 226 g kg^{-1}, respectivamente. Foram utilizados vasos com capacidade para 50 dm^3, contendo 32 dm^3 de solo. A calagem foi realizada 30 dias antes da instalação do experimento, para elevar a saturação por bases para 70%, usando calcário com PRNT 90%, e MgO (12%).

As vinhaças, *in natura* e concentrado de vinhaça biodigerida foram cedidos pela usina São Francisco e BPI – Biotechnical Processes International, respectivamente. As características químicas das vinhaças estão apresentadas na tabela 03. A vinhaça *in natura* foi aplicada na dose comumente empregada pela usina São Francisco (100 m^3 ha^{-1}) e o concentrado de vinhaça biodigerida foi calculado para a mesma dose de K da vinhaça *in natura*.

Tabela 03 - Características químicas das vinhaças: in natura (VN) e concentrado de vinhaça biodigerida (CVB) utilizado no experimento em condições de laboratório.

Vinhaças	C	N	C/N	P	K	Ca	Mg	Na
	---------- g dm^{-3} ---------			---------- mg dm^{-3} ----------				
VN	646,28	0,90	718,08	0,12	8.300,00	783,33	372,50	280,00
CVB	657,36	1,60	410,85	0,35	14.800,00	600,00	288,33	9.333,33

A palha utilizada foi doada pela Fazenda Santo Antônio localizada no município de Jaboticabal – SP. A palha foi coletada logo após a colheita mecanizada da cana-de-açúcar. Em cada vaso foi adicionado em superfície 208 g de palha de cana correspondente a 15 t ha^{-1}, antes da aplicação dos tratamentos.

Empregou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado em arranjo fatorial 2 x 6, sendo, dois sistema de manejo: com e sem cobertura do solo com palha de cana-de-açúcar e 6 tratamentos de fertilização, em quatro repetições, totalizando 12 tratamento. Os tratamentos de fertilização utilizados foram: T1 – Testemunha (T); T2 - Vinhaça *in natura* (dose equivalente a 100 m^3 ha^{-1}) (VN); T3 -

Concentrado de vinhaça biodigerida em dose para fornecer a mesma quantidade de K da vinhaça *in natura* (CVB)*;* T4 - Vinhaça *in natura* (dose equivalente a 100 m^3 ha^{-1}) + N (100 kg ha^{-1}) + P_2O_5 (150 kg ha^{-1}) (na forma de $(NH_4)SO_4$ e superfosfato triplo) (VN+N); T5 - Concentrado de vinhaça biodigerida em dose para fornecer a mesma quantidade de K da vinhaça *in natura* + N e P (CVB+N); T6 - Adubação mineral (N e P nas mesmas doses dos tratamentos T4 e T5 e K_2O a dose de 250 kg ha^{-1}). Após a aplicação dos tratamentos sobre a palhada, foi determinada a respiração do solo nos vasos utilizando tubos de PVC de área igual a 0,0165 m^2 fixados ao solo. A solução de NaOH foi fixada no interior do tubo o qual foi fechado utilizando papel alumínio e fita adesiva. A respiração do solo foi realizada através do método da captura do CO_2 evoluído do solo e as determinações foram realizadas a cada 48 h de incubação durante 16 dias.

Cada unidade experimental foi representada por um vaso com uma planta de cana-de-açúcar. A variedade de cana utilizada foi CTC 17. As mudas foram produzidas a partir de toletes com uma gema, plantados em copos plásticos (300 mL), contento areia. As mudas permaneceram por 30 dias após a brotação, quando foram selecionadas as mais uniformes as quais foram transplantadas para os vasos.

O experimento foi conduzido por um período de 12 meses. Os seis primeiros meses o solo foi mantido incubado com os tratamentos e a umidade foi mantida a 80 % da capacidade de pote, sem a presença da planta, para possibilitar a atuação das vinhaças na decomposição da palhada, durante um ano, uma vez que a cana tem um desenvolvimento rápido e se plantada no inicio com aplicação dos tratamentos alcançaria altura que impediria seu desenvolvimento em condições de casa de vegetação antes de um ano do plantio. Após seis meses transplantaram-se as mudas de cana para os vasos, os quais foram monitorados por mais seis meses, quando as plantas foram colhidas. Após a determinação da respiração do solo, os vasos foram mantidos com umidade em torno de 80% da capacidade de pote, através de irrigações semanalmente.

Nas plantas de cana foram determinadas as seguintes variáveis: altura de plantas, realizada pela medida feita do nível do solo até a folha + 1 (primeira folha com bainha visível), com fita métrica; diâmetro do colmo, realizada com auxilio de um paquímetro na altura do terço médio do colmo; número de folhas abertas com

pelo menos 20% de área verde. A determinação da composição química da parte aérea da planta foi realizada de acordo com a metodologia descrita por EMBRAPA (2009). Para a análise do teor de macronutrientes e micronutrientes foi utilizada a folha diagnóstico (primeira folha com bainha totalmente visível) coletada seis meses após a germinação conforme MALAVOLTA, (2006).

Foi coletada também a palha, dos tratamentos com cobertura do solo, que foi seca a 75ºC em estufa de circulação forçada até peso constante para determinação da matéria seca. Em subamostras da palhada seca, após ser passada em moinho tipo Willey, determinou-se os teores de N, P, K, Ca e Mg, segundo metodologia da EMBRAPA (2009). Foi determinado também hemicelulose, celulose, lignina e pela metodologia descrita por Silva (1990), descontando-se dos resultados a massa da cinza de amostras incineradas a 550^{o}C, por seis horas. Em cada vaso, coletaram-se três amostras de solo na profundidade de 0 a 20 cm com auxilio de um trado. As amostras foram secas ao ar, passadas em peneira com malha de 2 mm e submetidas à análise química utilizando metodologia da EMBRAPA (2009).

Os dados foram submetidos à ANOVA, e quando significativas, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey (5%), usando o programa computacional Assistat (SILVA, 2008).

3.3. **III Etapa: Ensaio em campo**

Esta etapa consistiu na aplicação das vinhaças em campo, para verificar as possíveis modificações nos propriedades químicas e bioquímicas do solo em função das vinhaças. O experimento foi conduzido em um talhão comercial de cana soca (2° corte) da fazenda Santo Antônio, localizada a 21º 12’06 e 48º 12’52, no município de Jaboticabal – SP. Na área utilizada a colheita mecanizada já vem sendo realizada há dez anos, possibilitando o reaproveitamento da palha como fonte de matéria orgânica. O solo foi classificado segundo critérios da EMBRAPA (2006) como Latossolo Vermelho distroférrico. As características químicas do solo eram: pH (em $CaCl_2$) 5,1; MO = 28 g dm^{-3}; P (resina) = 16 mg dm^{-3}; K= 0,7; Ca = 39; Mg = 18; H+Al = 47; SB = 58; T = 105 $mmol_c$ dm^{-3} e V (%) = 55.

Após o corte da cana (variedade RB 7015), em agosto de 2009, os seguintes tratamentos foram implantados: T1 - Testemunha: sem adubação mineral e/ou vinhaça (T); T2 - Vinhaça *in natura* (VN): na dose usualmente utilizada nas usinas (100 m^3 ha^{-1}) + P; T3 - Concentrado de vinhaça biodigerida (CVB): na dose dez vezes menor que vinhaça *in natura*, considerando sua concentração (10 m^3 ha^{-1}) + P; T4 - Vinhaça *in natura* (VN) 100 m^3 ha^{-1} + P, + N; T5 - Concentrado de vinhaça biodigerida (CVB) 10m^3 ha^{-1} + P + N**;** T6 - Adubação mineral (AM). A adubação mineral (AM) aplicada como tratamento ou em complementação às vinhaças foram 100, 30 e 130 kg ha^{-1} de N, P_2O_5, K_2O, na forma de uréia, superfosfato simples e cloreto de potássio, respectivamente, segundo recomendação para cultura da cana soca (RAIJ et al., 1997). As vinhaças foram distribuídas conforme os tratamentos acima mencionados em área total. As características químicas das vinhaças utilizadas estão apresentadas na tabela 04.

Os seis tratamentos foram implantados em blocos casualizados, com sete repetições. Cada parcela foi composta por cinco linhas de plantio, espaçadas de 1,40 m, com 10 m de comprimento, totalizando área de 70 m^2, sendo a área útil constituída pelas três linhas centrais da parcela com bordadura de 1 m nas extremidades.

Tabela 04 - Características químicas da vinhaça in natura e do concentrado de vinhaça biodiregida utilizadas no experimento.

Vinhaças	C	N	C/N	P	K	S	Ca	Mg	Na
	---------- g dm^{-3} ----------								
Vinhaça in natura (VN)	4,57	0,29	15,75	0,17	3,31	0,39	0,65	0,33	0,22
Concentrado de vinhaça biodigerida (CVB)	10,68	1,21	8,82	0,80	14,80	0,42	0,76	0,39	26,00

Antes da aplicação dos tratamentos, e 120 dias após, foram coletadas três subamostras de solo nas entrelinhas da área útil da parcela constituindo uma amostra composta da camada de 0-10 cm de profundidade. As amostras foram mantidas refrigeradas a ± 4 ºC até a determinação da respiração. Para acompanhar a degradação da palha deixada sobre o solo foram coletadas três amostras de palha

nas entrelinhas da área útil da parcela utilizando um gabarito com 0,025 m^2. A palha foi seca em estufa com circulação forçada a 75 °C até peso constante e, em seguida, determinada matéria seca.

Para o ensaio de respirometria, as amostras coletadas antes da aplicação dos tratamentos foram homogeneizadas e passadas em peneira com malha de 2 mm. Utilizaram-se 100 g de solo com umidade em torno de 30% da capacidade de campo. As amostras foram incubadas (com os mesmos tratamentos aplicados no campo), em potes de plástico (capacidade de 3L), em condições de laboratório (28 ± 1ºC). A respiração microbiana do solo foi determinada utilizando o método da captura do CO_2 pelo NaOH, descrita por SILVA et al. (2007a). A atividade respiratória foi mensurada a cada 48 h durante um período de doze dias de incubação, quando a respiração de todos os tratamentos se igualou. Em seguida à incubação do solo, o mesmo foi homogeneizado e submetido à determinação de carbono e nitrogênio microbiano (SILVA et al. 2007 b). O quociente metabólico do solo foi obtido através da razão entre a respiração e a biomassa microbiana segundo metodologia descrita por SILVA et al. (2007 c).

Após incubação o solo foi homogeneizado e seco ao ar para posterior determinação da atividade da urease e desidrogenase.

A atividade da urease, que é função da taxa de hidrólise da uréia, foi determinada segundo a metodologia descrita por Mc GARITY & MYERS (1967), incubando-se 2,0 g de solo seco, com 0,2 mL de tolueno, 2,0 mL de tampão fosfato 0,1 mol L^{-1} pH 6,7 e 1,0 mL de uréia 10 % (m/v) por três horas a 37 °C. Para cada tratamento foi incubada uma amostra sem adição de uréia. Após o período de incubação foi adicionado 1,0 ml de uréia às amostras que não a haviam recebido. Aos extratos foram adicionados 3 mL de água destilada, a solução resultante foi centrifugada à 10.000 x g por 10 min. No sobrenadante, o amônio resultante da hidrólise da uréia foi quantificado por espectrofotometria a 630 nm. A atividade da urease foi expressa em μg g^{-1} solo seco de N - NH_4^+ por 3 horas.

A atividade da desidrogenase foi determinada utilizando-se de uma mistura contendo 3,0 g de solo seco, 0,5 mL de solução de cloreto de 2,3,5-triphenyltetrazólio (TTC 3%, m/v) e 0,03 g de carbonato de cálcio ($CaCO_3$). Após incubação a 37 °C

por 24 h foi determinado o trifenilformazam (TTF) formado pela redução do TTC a TTF, mediante extração com metanol (CASSIDA, 1977).

As análises químicas do solo para determinação do pH, M.O, P, K, Ca, Mg e H+Al foram realizadas segundo EMBRAPA (2009). As amostras coletadas aos 120 dias após aplicação dos tratamentos no campo foram submetidas às mesmas análises químicas e bioquímicas descritas anteriormente.

Aos cinco meses da brotação soqueira de cana em campo, foi coletada da área útil de cada parcela trinta folhas (folha diagnóstico = primeira folha com bainha totalmente visível), para determinação do teor de macronutrientes e micronutrientes na cana-de-açúcar (EMBRAPA, 2009).

Os dados foram submetidos à analise de variância pelo teste F e, quando significativas, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey (5%), usando o programa computacional Assistat (SILVA, 2008).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. I Etapa: Experimento em condição de Laboratório

4.1.1. Composição química do solo

Os Valores do teste F da análise de variância para efeitos principais e interações dos dados da composição química do solo incubado com vinhaça *in natura* e concentrado de vinhaça biodigerida, como fontes de potássio em condições de laboratório estão apresentados na tabela 05.

Pode-se observar que houve interação entre os solos e as vinhaças, para pH, Ca, Mg, K, CTC e V%. No Argissolo o pH foi maior quando se utilizou o concentrado de vinhaça biodigerida ou ambas as vinhaças adicionadas de N, enquanto que no Latossolo, o concentrado de vinhaça biodigerida induziu ao maior pH (Tabela 06). O caráter alcalino do concentrado de vinhaça biodigerida, pode ter contribuído para o aumento observado no pH dos solos tratado com esse efluente.

Tabela 05 - Valores do teste F da análise de variância para efeitos principais e interações dos dados de composição química do solo.

Causa de variação	pH	MO	P	Ca	Mg	K	CTC	V%
Efeito solo (A)	2075,65 **	390,36 **	5,15 *	3197,85 **	1908,76 **	15,30 **	2122,03 **	1055,67 **
Efeito das fontes de fertilizante (B)	439,44 **	1,82 ns	2,63 ns	59,41 **	33,29 **	173,81 **	57,06 **	112,30 **
Efeito tempo (C)	35,11**	2,09 ns	1,14 ns	2,09 ns	1,69 ns	0,75 ns	2,46 ns	1,05 ns
Interação A x B	29,68 **	1,98 ns	2,06 ns	18,85 **	33,29 **	3,90 **	10,28 **	4,31 **
Interação A x C	68,19**	0,43 ns	0,95 ns	3,36 *	1,69 ns	0,13 ns	1,85 ns	3,71*
Interação B x C	1,86**	1,08 ns	1,03 ns	0,87 ns	0,47 ns	0,83 ns	2,61 **	1,25 ns
Interação A x B x C	3,34**	1,68 ns	0,61 ns	1,91 *	0,47 ns	0,98 ns	1,28 ns	0,67 ns
Coeficiente de variação	1,45	14,09	12,36	12,35	16,69	14,42	6,25	7,95

(**) significativo em nível de 1% de probabilidade (p < 0,01); (*) significativo em nível de 5% de probabilidade (p < 0,05); (ns) não significativo (p >= 0,05).

A aplicação das vinhaças nos solos proporcionou aumentos significativos (p<0,01) do pH quando comparado com os tratamentos testemunha ou adubação mineral (Tabela 06). Este fato é importante, tendo em vista que a aplicação continua de fertilizantes minerais (principalmente os nitrogenados amoniacais), pode levar a acidificação do solo, desta forma, o uso de resíduos na agricultura como a vinhaça pode proporcionar redução neste efeito. Segundo BRITO et al.(2009), a elevação do pH deve-se ao potencial de redução que a vinhaça tem, principalmente pelo teor de matéria orgânica fácil de ser decomposta.

Pode-se observar também que a adição de N no Argissolo não afetou significativamente (p>0,05) o efeito das vinhaças no pH (Tabela 06). No entanto, a adição de N no Latossolo causou um menor efeito das vinhaças.

Verifica-se ainda interação entre os solos, fertilizantes e tempo de incubação para o pH do solo (Tabela 05). No Argissolo o pH teve um decréscimo significativo (p<0,01) a partir dos trinta dias de incubação para todos os tratamentos (Figura 01a), sugerindo que a maior parte das reações ativadas pela adição das vinhaças ao solo foi completada dentro de dois meses. Por outro lado, no Latossolo, quando foi utilizado ambas as vinhaças com ou sem N, o pH apresentou um aumento significativo (p< 0,01) aos 15 dias de incubação não diferindo até sessenta dias de incubação (Figura 01b).

Tabela 06 - Interações entre solos e fontes de fertilizantes potássicos: testemunha (T); vinhaça *in natura* (VN); concentrado de vinhaça biodigerida (CVB); vinhaça *in natura* adicionado de N (VN+N); concentrado de vinhaça biodigerida adicionado de N (CVB+N); e adubação mineral (AM), na composição química de um Latossolo e um Argissolo.

Solo	Fontes de fertilizantes					
	T	VN	VN+N	CVB	CVB + N	AM
			pH			
Argissolo	4,47 bC	4,90 bB	4,99 bA	5,03 bA	4,96 bAB	4,49 bC
Latossolo	5,07 aD	5,48 aB	5,28 aC	5,64 aA	5,43 aB	4,81 a E
			Ca			
Argissolo	8,18 aE	11,50 aC	13,12 aA	10,12 aD	12,50 aAB	12,06 aBC
Latossolo	3,18 bBC	4,62 bA	4,87 bA	2,31 bC	3,62 bB	3,62 bB
			Mg			
Argissolo	2,06 aD	3,37 aB	4,06 aA	2,69aC	3,56 aB	3,50 aB
Latossolo	1,00 bA	1,00 bA	1,00 bA	1,00 bA	1,00 bA	1,00 bA
			K			
Argissolo	1,54 aC	4,55 a A	5,09 a A	4,61 a A	4,55 a A	3,91 aB
Latossolo	1,15 bC	4,91 a A	4,78 a A	3,82 bB	3,99 bB	3,70aB
			CTC			
Argissolo	29,68 aD	34,81 aB	37,31 aA	32,18 aC	36,50 aAB	37,56 aA
Latossolo	20,56 bE	24,43 bAB	25,12 bA	20,62 bDE	22,43 bCD	23,25 bBC
			V%			
Argissolo	39,26 aD	55,48 aB	59,18 aA	53,76 aBC	56,70 aAB	51,30 aC
Latossolo	25,30 bC	42,06 bA	42,94 bA	34,62 bB	36,95 bB	34,51 bB

Na coluna, médias seguidas de letras minúsculas iguais, e na linha, média seguidas de letras maiúsculas iguais, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p<0,01$).

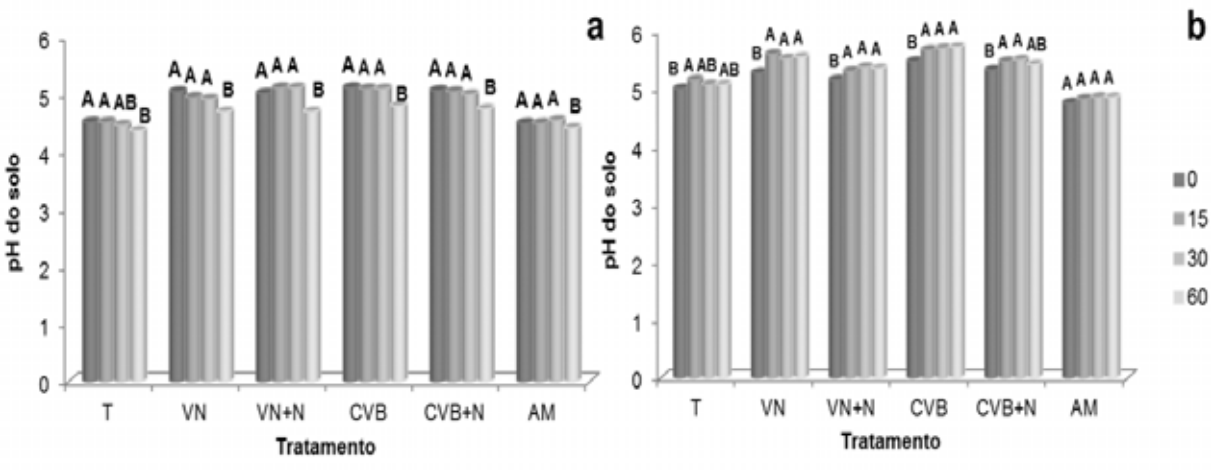


Figura 01 – Efeito dos tratamentos: testemunha (T); vinhaça *in natura* (VN); concentrado de vinhaça biodigerida (CVB); vinhaça *in natura* adicionado de N (VN+N); concentrado de vinhaça biodigerida adicionado de N (CVB+N); e adubação mineral (AM), no pH do

Argissolo (a); e do Latossolo (b), após quatro tempos de incubação (0, 15, 30 e 60 dias).

Pode-se observar que para o Argissolo as vinhaças adicionadas ou não de N, aumentaram significativamente ($p<0,01$) a disponibilidade de Ca quando comparado com o tratamento testemunha (Tabela 06), enquanto que no Latossolo, o aumento no teor de cálcio foi observado apenas para vinhaça *in natura* adicionada ou não de N. O nitrogênio aumenta a atividade microbiana do solo aumentando consequentemente o consumo de matéria orgânica possibilitando a liberação de cálcio para o solo o que pode ter contribuído para o aumento de cálcio observado. Além disso, BRITO et al. (2009) estudando doses de vinhaças *in natura* em Argissolo do Estado de Pernambuco, observaram elevação deste elemento quanto comparada aos teores da testemunha, e atribuiram esse aumento ao cálcio presente na vinhaça, isso pode ter ocorrido também neste estudo.

Os teores de Mg no Argissolo apresentaram aumentos significativos quando se aplicaram ambas as vinhaças. Para o Latossolo este comportamento não foi observado, e os teores de Mg não foram alterados pelas vinhaças.

A aplicação das vinhaças proporcionou aumentos nos teores de K do Argissolo quando comparado com o tratamento testemunha e adubação mineral. Estas diferenças na disponibilidade de K no solo pelo uso de diferentes fontes de potássio foram observadas anteriormente por USMAN & GAMEH (2008). Estes autores verificaram que a aplicação de K_2SO_4 ou cinzas de bagaço aumentou significativamente o teor K não trocável em um argisolo do sudoeste do Egito (textura areia argilosa), em contraste, tendia para diminuir com a aplicação de vinhaça e Tacamolia (um fertilizante organo-mineral), sugerindo que a vinhaça e Tacamolia podem contribuir para o aumento do K disponível no solo, devido liberação de ácidos orgânicos durante a decomposição da matéria orgânica, o que também pode ter acontecido neste estudo.

O Latossolo apresentou diferença significativas entre as vinhaças utilizadas, o concentrado de vinhaça biodigerida com ou sem adição de N, induziu uma redução significativa no incremento de potássio disponível no solo quando comparado a vinhaça *in natura* com ou sem adição de N, possivelmente devido sua menor carga orgânica. Estes tratamentos não diferiram da adubação mineral.

A capacidade de troca catiônica do Argissolo que recebeu CVB foi inferior aos demais tratamentos que receberam vinhaça (VN, VN+N ou CVB+N). Em contraste, no Latossolo o concentrado de vinhaça biodigerido com ou sem adição de N menor efeito na CTC. No entanto, mudanças definitivas na CTC do solo ocorre após longos periodos de aplicação desses resíduos como relata BARROS et al. (2010), que observaram alterações na CTC do solo após dez anos da aplicação de vinhaça. CANELLAS et al. (2003) também relatam alterações na CTC de solo após 35 anos de aplicação de vinhaça. Neste caso, a CTC foi determinada indiretamente pela soma dos cations, inclusive o K^+ presente no solo contido em pote que recebeu as vinhaças, que pode não estar nos sitios de troca, mas livre no solo, podendo induzir a interpretações errôneas, não representando alterações importantes do ponto de vista agrícola.

Com relação a saturação por bases (V%), foi observado em todos os tratamentos aumento significativos, quando comparado com o testemunha. No Argissolo, ambas as vinhaças adicionadas de N foram significativamente maiores que estas sem adição de N. No Latossolo, a vinhaça *in natura* proporcionou maior saturação por bases, quando comparado com o concentrado de vinhaça biodigerida que não foi diferente da adubação mineral. A matéria orgânica e fósforo foram diferentes apenas entre os solos avaliados.

4.2. **II Etapa – Experimento casa de vegetação**

4.2.1. **Respiração basal do solo**

Na Tabela 07 estão apresentadas as médias de evolução do CO_2 do solo durante 16 dias. A cobertura do solo com palhada interferiu no efeito das fontes de fertilizantes (interação significativa, $p<0,01$). A respiração basal do solo foi significativamente ($p<0,01$) maior nos tratamentos que receberam vinhaça *in natura* com ou sem adição de N, tanto para o solo coberto quanto para o sem palhada.

Tabela 07 – Evolução do CO_2 do solo após aplicação dos tratamentos: testemunha (T); vinhaça *in natura* (VN); concentrado de vinhaça biodigerida (CVB); vinhaça *in natura* adicionado de N e P (VN+N); concentrado de vinhaça biodigerida adicionado de N e P (CVB+N); e adubação mineral (AM) obtida em condição de casa de vegetação em solo com e sem cobertura de palhada.

Palhada	Fontes de fertilizantes					
	T	VN	CVB	VN+ N	CVB + N	AM
	CO_2 (mg m^2 h^{-1})					
	48 (h)					
Com	45,37 aC	184,00 aA	66,58 aB	185,50 aA	44,00bC	49,75 aC
Sem	16,22 bC	117,25 bA	44,00 bB	111,75 bA	51,66 aB	15,75 bC
	96 (h)					
Com	74,66 aCD	147,08 aA	71,00 aDE	132,66 aB	61,00 aC	98,16 aA
Sem	22,66 bD	48,08 bB	33,50 bC	62,58 bA	36,00 bC	15,16 bcD
	144 (h)					
Com	76,25 aB	105,25 aA	69,75 aBC	101,91 aA	61,41 aE	82,83 aC
Sem	13,41 bB	32,66 bAB	24,25 bBCD	36,50 bA	25,50 bABC	14,50 bD
	192 (h)					
Com	73,91 aBC	91,33 aA	72,00 aBC	82,83 aAB	66,16 aC	81,91 aAB
Sem	15,58 bB	26,25 bAB	25,00 bAB	35,66 bA	27,13 bAB	16,91 bB
	240 (h)					
Com	60,55 aC	80,65 aA	77,4726 aAB	74,29 aAB	67,42 aBC	77,30 aAB
Sem	13,98 bBC	23,87 bAB	25,12 bA	28,89 bA	24,87 bA	24,87 bA
	288 (h)					
Com	52,59 aD	77,80 aAB	83,33 aA	71,69 aBC	64,40 aC	71,86 aBC
Sem	16,41 bC	20,35 bBC	26,63 bAB	30,31 bA	29,14 bAB	16,83 bC
	336 (h)					
Com	52,99 aD	72.02 aAB	74,88 aA	62,86 aBCD	70,90 aABC	60,78 aCD
Sem	15,92 bC	17,66 bBC	24,13 bABC	28,61 bA	27,36 bAB	15,42 bC
	384					
Com	50,33 aD	65,68 aAB	68,41 aA	56,88aBCD	60,53 aABC	55,72 aCD
Sem	17,91 bB	18,16 bB	23,38 bAB	29,35 bA	25,62 bAB	25,62 bAB

Na coluna, médias seguidas de letras minúsculas iguais, e na linha, média seguidas de letras maiúsculas iguais, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p<0,01$).

A cobertura do solo com palhada favoreceu a atividade microbiana quando comparada com o solo sem palhada (figura 02a). O solo com palhada apresentou maior evolução total de CO_2 quando foi aplicado vinhaça *in natura* com ou sem adição de N (823,83 e 768,65 mg m^{-2}, respectivamente), quando comparado no solo sem palhada que recebeu os mesmos tratamentos (304,29 mg m^{-2} e 363,68 mg m^{-2}, respectivamente) (Figura 02c). Este resultado era esperado, pois a cobertura do solo mantém a umidade e evita grandes oscilação na temperatura, além de contribuir como fonte de energia para desenvolvimento microbiano (WOOD, 1991).

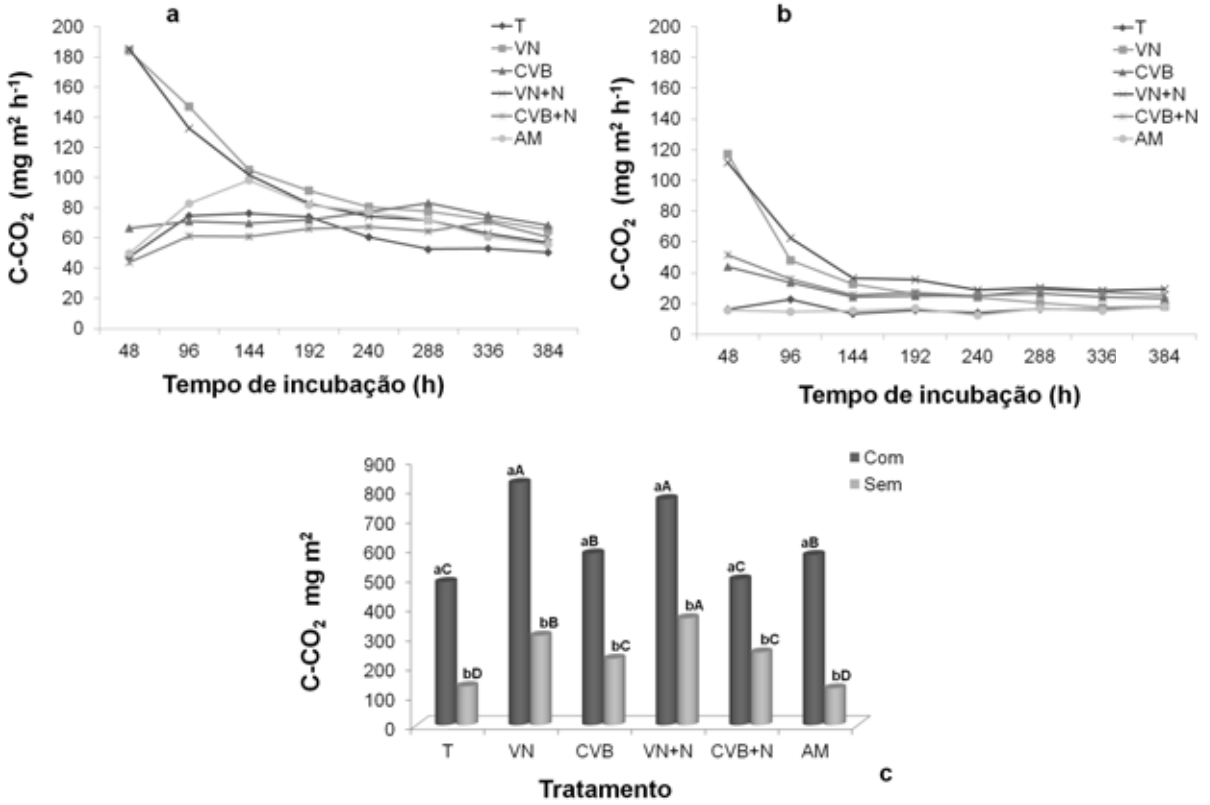


Figura 02 – Evolução do CO_2 do solo após aplicação dos tratamentos: testemunha (T); vinhaça *in natura* (VN); concentrado de vinhaça biodigerida (CVB); vinhaça *in natura* adicionado de N e P (VN+N); concentrado de vinhaça biodigerida adicionado de N e P(CVB+N); e adubação mineral (AM) obtida em condição de casa de vegetação em solo com cobertura (A); sem cobertura (B); e respiração acumulada em 16 dias (c).

Observou-se, porém, que houve um decréscimo significativo ($p<0,01$) no CO_2 evoluído dos solos com vinhaça *in natura*, a partir de 96 h de incubação, independente da presença de N (Figura 02a), indicando que a maior parte da matéria orgânica proveniente da vinhaça foi decomposta nesse período. Entretanto, nos solos tratados com concentrado de vinhaça biodigerida a evolução do CO_2 não foi significativamente ($p<0,05$) alterada durante o mesmo período de incubação, independente da presença de N (Tabela 07).

A evolução do CO_2 a partir da aplicação do concentrado de vinhaça biodigerida foi de 21,21mg m^{-2} h^{-1}, representando apenas 15% do CO_2 evoluído do solo com aplicação vinhaça *in natura* (138,63 mg m^{-2} h^{-1}), este comportamento foi observado também no solo sem palhada (Figura 02b). Este resultado sugere que se a maior parte da matéria orgânica não for aproveitada para produzir biogás

(energia), também pouco será aproveitada na parte agrícola, pois, embora tenha sido observado maior evolução do CO_2 no solo quando foi utilizado vinhaça *in natura,* indicando uma maior atividade microbiana, naquele relativamente curto espaço de tempo, este resultado não alterou a taxa de decomposição da palhada (Tabela 08), tão pouco, o teor de matéria orgânica do solo (Tabela 09), quando comparado com concentrado de vinhaça biodigerida.

4.2.2. **Taxa de decomposição da palhada**

As médias de matéria seca, hemicelulose, celulose, lignina, teores de N total, P, K, Ca, Mg obtidos no material da palhada amostrada após um ano da aplicação dos tratamentos em condição de casa de vegetação estão apresentados na tabela 08. Observou-se redução da massa de material seco de aproximadamente 50% para todos os tratamentos no período de um ano, com relação ao material seco inicial.

O concentrado de vinhaça biodigerida induziu maior decomposição da palhada, quando comparado com adubação mineral, não diferindo da vinhaça *in natura*, indicando que a utilização do concentrado vinhaça biodigerida não diminui a decomposição da palhada, como poderia ser imaginado, em função de sua menor carga orgânica. OLIVEIRA et al (1999), estudaram a decomposição da palhada em campo, após um ano agrícola, observaram redução de 22% na quantidade de matéria seca, e atribuiram este resultado principalmente aos decréscimos ocorridos nas quantidades de hemicelulose e conteúdo celular, entretanto, no presente estudo, após um ano da aplicação das vinhaças, os percentuais de hemicelulose e ligninas da palhada não foram influenciados pelos tratamentos.

Por sua vez, o percentual de celulose foi maior na palhada que recebeu concentrado de vinhaça biodigerida adicionado ou não de N, em comparação com o testemunha e adubação mineral, mas não diferiu da vinhaça *in natura*. Esse resultado reforça que não existem diferenças na decomposição da palhada pela adição de ambas as vinhaças, principalmente, porque as vinhaças não devem alterar expressivamente a relação C/N da palhada que é geralmente é aproximadamente 100 (VITTI et al., 2008), tendo, portanto, lenta decomposição ao longo do ano.

Tabela 08 - Matéria seca (MS) da palhada remanescente, nutrientes e carboidratos estruturais contidos na palhada após um ano da aplicação dos tratamentos: Testemunha; vinhaça *in natura* (VN); concentrado de vinhaça biodigerida (CVB); vinhaça *in natura* adicionado de N e P (VN+N); concentrado de vinhaça biodigerida adicionado de N e P (CVB+N); e adubação mineral (AM).

Tratamento	MS	K	Ca	Mg	N	P	H.celulose	Celulose	Lignina
	g vaso^{-1}	==========		g kg^{-1}	==========		=========	%	=========
T	100,03 b	1,03 b	8,90 a	1,96 bc	6,63 a	0,47 b	72,49 a	48,95 b	10,68 a
VN	109,15 ab	1,36 b	10,03 a	2,10 abc	10,50 a	0,52 b	73,80 a	50,76 ab	11,40 a
CVB	99,83 b	3,56 a	9,60 a	2,96 a	9,56 a	0,52 b	71,51 a	53,22 a	10,98 a
VN+N	102,21 ab	1,20 b	9,83 a	1,86 b	10,73 a	0,86 a	68,69 a	51,31 ab	11,01 a
CVB+N	106,51 ab	2,70 a	8,70 a	2,76 ab	8,86 a	0,65 ab	73,32 a	53,23 a	10,83 a
AM	112,25 a	1,60 b	8,63 a	1,66 c	9,33 a	0,64 ab	74,50 a	48,44 b	10,28 a
CV(%)	4,65	16,55	7,35	14,43	10,59	16,37	5,40	2,58	5,87

Na coluna, médias seguidas de letras minúsculas iguais, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p<0,01$).

Verificou-se ainda que a adição de N não afetou o comportamento das vinhaças, em relação a decomposição da palhada, possivelmente porque a adubação foi realizada com sulfato de amônio ($(NH_4)SO_4$) o que favoreceu perdas deste elemento, além disso a adubação foi realizada sobre a camada de palha, e a irrigação carrega o N para o solo. Como a palhada não foi incorporada ao solo, ocorre interação apenas na superfície inferior que esta em contado direto com solo, o que parece não ser suficiente para provocar alterações significativas na taxa de decomposição.

Observou-se que o teor de potássio foi significativamente maior na palhada que recebeu concentrado de vinhaça biodigerida, provavelmente devido ao CVB ter ficado mais retido na palhada, uma vez que esse fluente contem menor teor de água e é muito mais viscoso, quando comparado com VN. Os teores de P na palhada foram maiores nos tratamentos que receberam fertilizantes, possivelmente pela presença de resíduo do fertilizante mineral aplicado, uma vez que o fósforo tem baixa solubilidade e foi aplicado sobre a palhada.

4.2.3. **Composição química do solo**

Pelos valores de F apresentados na tabela 09, pode-se verificar que houve interação entre a cobertura do solo e as fontes de fertilizantes aplicadas para os teores de cálcio e magnésio no solo. O solo com palhada, quando recebeu concentrado de vinhaça biodigerida adicionado de N, apresentou teores de Ca e Mg inferiores aos dos demais tratamentos. No entanto, este comportamento não foi observado para o solo sem palhada, que não apresentou diferenças significativas (p<0,05) entre os tratamentos (Tabela 10).

Tabela 09 – Valores do teste F da análise de variância para efeitos principais e interações dos dados de composição química do solo em sistema de manejo com e sem cobertura do solo após um ano da aplicação de vinhaça *in natura* e concentrado de vinhaça biodigerida com fonte de fertilizantes, em condições de casa de vegetação.

Causa de variação	pH	MO	P	Ca	Mg	K	CTC	V%
Efeito da palhada (A)	3,14 ns	2,09 ns	16,05 **	3,35 ns	7,60 **	3,03 ns	1,04 ns	3,19 ns
Efeito das fontes de fertilizante (B)	0,17 ns	0,20 ns	3,45 *	1,5 ns	1,67 ns	18,16 **	1,02 ns	0,21 ns
Interação A x B	1,74 ns	0,45 ns	0,43 ns	2,96*	2,85 *	2,04 ns	0,92 ns	0,68 ns
Coeficiente de variação	5,02	9,45	26,56	25,66	29,18	23,83	27,11	8,12

(**) significativo em nível de 1% de probabilidade (p <0,01); (*) significativo em nível de 5% de probabilidade (p <0,05); (ns) não significativo (p >= 0,05).

Tabela 10 - Interações entre cobertura do solo e fontes de fertilizantes nos teores de cálcio e magnésio do solo após um ano da aplicação dos tratamentos: Testemunha; vinhaça *in natura* (VN); concentrado de vinhaça biodigerida (CVB); vinhaça *in natura* adicionado de N e P (VN+N); concentrado de vinhaça biodigerida adicionado de N e P (CVB+N); e adubação mineral (AM).

Palhada	Fontes de fertilizantes					
	T	VN	CVB	VN+N	CVB+ N	AM
	Ca					
Sem	46,00 aA	47,50 aA	49,25 aA	40,50 aA	53,00 aA	51,25 aA
Com	49,25 aA	58,00 aA	41,00 aAB	41,00 aAB	24,50 bB	37,00 aAB
	Mg					
Sem	40,00 aA	41,50 aA	45,50 aA	35,00 aA	46,00 aA	44,50 aA
Com	42,50 aA	49,25 aA	30,50 aAB	30,75 aAB	18,50 bB	28,25 bAB

Na coluna, médias seguidas de letras minúsculas iguais, e na linha, média seguidas de letras maiúsculas iguais, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (p<0,01).

Observou-se que os teores de fósforo foram influenciados tanto pela palhada como pelas fontes de fertilizantes aplicadas, não havendo interação entre estes fatores (Tabela 09). O solo quando recebeu vinhaça *in natura* adicionada de N e P apresentou maior teor de P disponível independente da presença ou ausência da palhada, não sendo diferente do concentrado de vinhaça biodogerida adicionado de N e P, e da adubação mineral (Figura 03a), esse resultado era esperado, visto que foi adicionada fertilizante contendo P a estes tratamentos.

O teor de P no solo tendeu a ser maior quando se utilizou a vinhaça *in natura* adicionada de N e P, possivelmente devido a vinhaças promoverem um aumento temporário do ph do solo (Figura 01a, b), isto pode ter proporcionado um ambiente favorável em volta dos grânulos de fertilizante acelerado sua solubilidade, resultando em aumentos na disponibilidade deste elemento.

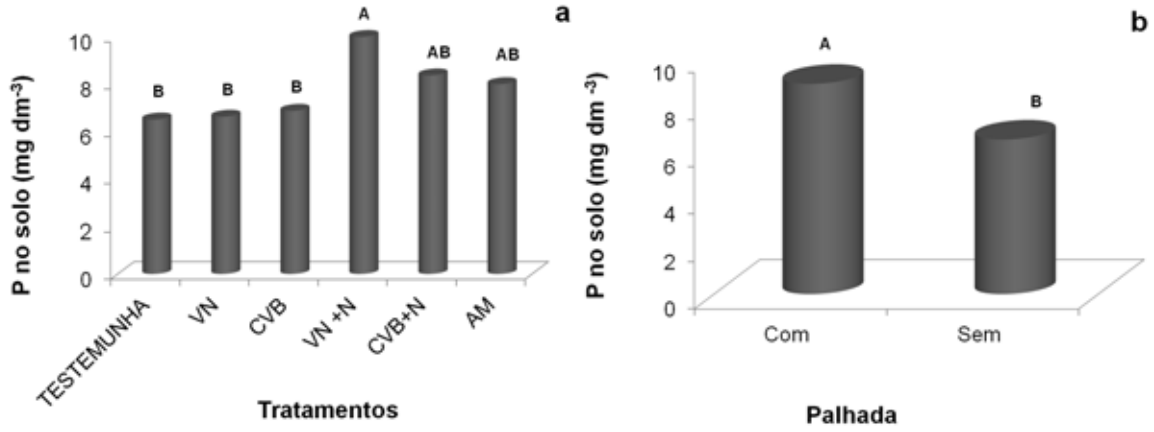


Figura 03 - Teores de Fósforo no solo (a) efeito dos tratamentos; testemunha; vinhaça *in natura* (VN); concentrado de vinhaça biodigerida (CVB); vinhaça *in natura* adicionado de N e P (VN+N); concentrado de vinhaça biodigerida adicionado de N e P (CVB+N); adubação mineral (AM); e (b) efeitos da cobertura do solo.

O solo com palhada apresentou valores de P superiores quando comparado como o solo sem palhada (Figura 03b). Isso pode ser resultado da mineralização das formas de fósforo acumuladas na palhada, contribuindo para o aumento observado,

já que 50% da palhada depositada sobre o solo foi decomposta após um ano. Diferença no teor de fósforo disponível (Melhich-1) nas amostras de solo das áreas cultivadas com cana crua também foram observadas por CANELLAS et al. (2003), e atribuíram essa diferença à formas de fósforo acumuladas na biomassa vegetal, e também ao efeito cumulativo da aplicação de nutrientes no solo pelos fertilizantes minerais.

No caso do potássio, o teor no solo foi maior nos tratamentos que receberam ambas as vinhaças quando comparado com tratamento testemunha (Figura 04). Como eram esperadas, as vinhaças elevaram os teores de potássio do solo, mas não diferiram da adubação mineral. Esse resultado é importante, pois indica que a adubação mineral pode ser substituída por ambas as vinhaças, resultando em aumentos semelhantes nos teores de K no solo.

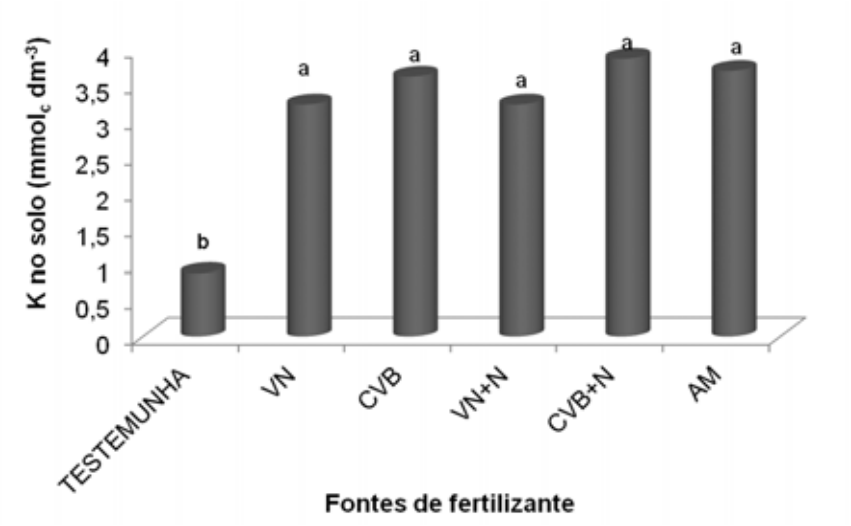


Figura 04 – Efeito dos tratamentos: testemunha; vinhaça *in natura* (VN); concentrado de vinhaça biodigerida (CVB); vinhaça *in natura* adicionado de N e P (VN+N); concentrado de vinhaça biodigerida adicionado de N e P (CVB+N); adubação mineral (AM), no teor de potássio do solo.

4.2.4. **Desenvolvimento da cana-de-açúcar**

Não houve interação entre os tratamentos para altura de planta, diâmetro do colmo e numero de folhas, e nem efeito das fontes de fertilizantes no crescimento das plantas (Tabela 11). No entanto, as plantas cultivadas no solo com palhada

apresentaram maiores médias para altura de planta e número de folhas quando comparado com as cultivadas no solo sem palhada (Tabela 12). Por outro lado, o diâmetro do colmo não foi alterado pela cobertura do solo com palha.

Tabela 11 – Valores do teste F da análise de variância para os efeitos principais e interações dos dados de crescimento de plantas.

Causas de variação	Altura de plantas	Diâmetro do colmo	Numero de folhas	Matéria seca da planta
Efeito da palhada (A)	24,42**	0,0036 ns	38,24 **	778,90 **
Efeito dos fertilizantes (B)	2,18 ns	2,04 ns	1,85 ns	104,54 **
Interação A x B	2,27 ns	1,88 ns	1,46 ns	41,24 **
Coeficiente de variação	14,16	12,05	13,14	5,42

(**) significativo em nível de 1% de probabilidade (p <0,01); (ns) não significativo (p >= 0,05)

Tabela 12 - Efeito da cobertura do solo com palha de cana-de-açúcar nas variáveis, altura de planta, diâmetro do colmo e número de folhas de cana-de-açúcar.

Palhada	Altura de plantas (m)	Diâmetro do colmo (cm)	Número de folhas
Com	1,57 a	2,00 a	9,12 a
Sem	1,28 b	2,01 a	7,20 b

Na coluna, letras minúsculas iguais não diferem estatisticamente em si, pelo teste Tukey(p<0,05)

Em relação à matéria seca total das plantas, verificou-se que o solo sem cobertura induziu a maiores acúmulo de matéria seca na parte aérea das plantas quando recebeu vinhaça *in natura*, diferente do comportamento do concentrado de vinhaça biodigerida que não foi influenciado pela cobertura do solo (Figura 05).

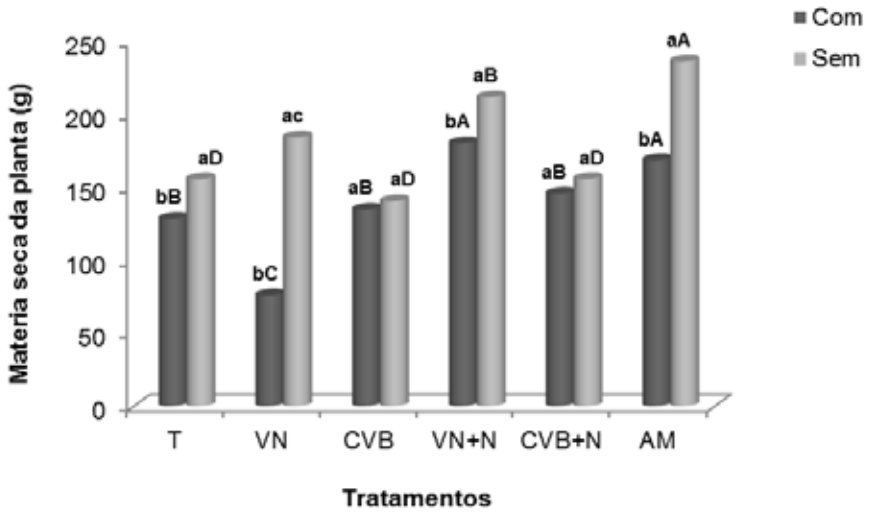


Figura 05 - Interação entre cobertura do solo e fontes de fertilizantes na matéria seca de plantas de cana-de-açúcar cultiva em casa de vegetação. Nas colunas em cor grafite e cinza, letras minúsculas iguais não diferem estatisticamente entre si, no nível de 5% de probabilidade. Na coluna, letras maiúsculas iguais não diferem estatisticamente entre si, o nível de 5% de probabilidade.

Para o solo com palhada a vinhaça *in natura* adicionada de N e P e adubação mineral proporcionaram os maiores acúmulos de matéria seca na parte aérea das plantas, enquanto o concentrado de vinhaça biodigerida não diferiu do testemunha. No solo sem cobertura a adubação mineral proporcionou maior acúmulo de matéria seca.

A vinhaça *in natura* proporcionou acúmulos superiores aos observados para o concentrado de vinhaça biodigerida. Estes resultados se assemelha aos encontrados por AUDE et al. (1993), que relataram efeitos negativos da palhada sobre a produtividade da de cana-de-açúcar. No entanto, na literatura também são encontrados resultados contrastantes com os anteriores. Por exemplo, BALL-COELHO et al. (1993) observaram que a manutenção da palhada sobre o solo induziu aumento de 43% na produção de matéria seca da cana-de-açúcar, enquanto que GAVA et al. (2001) estudando efeito da cobertura em solo que recebeu nitrogênio em complementação a adubação com vinhaça, na produtividade de soqueiras cana-de-açúcar em condições de campo, não observaram alterações na massa do material seco. Essas variações nos distintos resultados da literatura podem estar associadas às condições climáticas de cada região, bem como a variedade de cana-de-açúcar, que foram distintas nos três trabalhos comparados.

Observou-se interação significativa entre manejo do solo e fonte de fertilizantes para acúmulo de Ca, Mg, K, N, P e S nas plantas (Tabela 13).

Tabela 13 - Valores do teste F da análise de variância para os efeitos principais e interações no acúmulo de nutriente nas plantas de cana-de-açúcar.

Causas de variação	Acúmulo de nutrientes em plantas									
	Ca	Mg	K	N	P	S	Fe	Mn	Cu	Zn
Efeito da cobertura(A)	0,49 ns	5,52 *	16,71 **	13,39 **	26,05 **	129,17 **	20,35 **	1,08 ns	82,24 **	6,96 *
Efeito fertilizantes (B)	12,24 **	22,89 **	199,59 **	44,42 **	44,32 **	36,82 **	11,79 **	2,5,989 **	27,67 **	2,96 *
Interação A x B	11,02 **	15,48 **	24,88 **	29,55 **	15,36 **	11,64 **	19,27 **	3,18 *	3,65 **	2,69 *
Coeficiente de variação	9,63	8,26	6,33	6,15	8,00	7,53	10,02	19,81	20,63	26,24

(**) significativo em nível de 1% de probabilidade (p <0,01); (*) significativo em nível de 5% de probabilidade (p <0,05); (ns) não significativo (p >= 0,05)

Especificamente em relação ao acúmulo de Mg na parte aérea da planta observou-se que a cobertura do solo induziu menores acúmulos ao se fertilizar com vinhaça *in natura*, quando comparado com solo sem palhada com o mesmo tratamento (Figura 06a). Indicando que a interação cobertura do solo com vinhaça *in natura* influenciou negativamente a absorção de Mg pela planta, uma vez que esse tratamento também induziram ao menor acúmulo de matéria seca das plantas (Figura 05). Para os demais tratamentos não foi observado efeito da cobertura no acúmulo deste elemento. Para o solo sem cobertura a adição de ambas as vinhaças induziram a menores acúmulos de Mg, quando comparado com testemunha e adubação mineral, sendo porém, esse efeito mais acentuado para o concentrado de vinhaça biodigerida.

O solo sem cobertura quando foi aplicado CVB, VN+N e CVB+N houve um decréscimo no acúmulo de cálcio, assim com no solo com cobertura que recebeu VN (Figura 06b). Os demais tratamentos não diferiram entre si.

Comparando o efeito da palhada no acúmulo de potássio na planta, observou-se que vinhaça *in natura* e adubação mineral proporcionaram maiores acúmulos na ausência de palhada. SCHULTZ et al. (2010) relataram que a cana cultivada no sistema de cana crua apresentou acúmulo de K na parte aérea 19,14 % superior ao da cana cultivada com a queima da palhada, e sugeriram que a manutenção da palhada sobre o solo após a colheita aumenta a disponibilidade e a absorção de K

ao longo do ciclo vegetativo da cultura. Todavia, isso não foi observado neste estudo, já que os maiores acúmulos foram observados no solo sem palhada. No entanto essa diferença pode se devido às condições experimentais deste estudo (casa de vegetação).

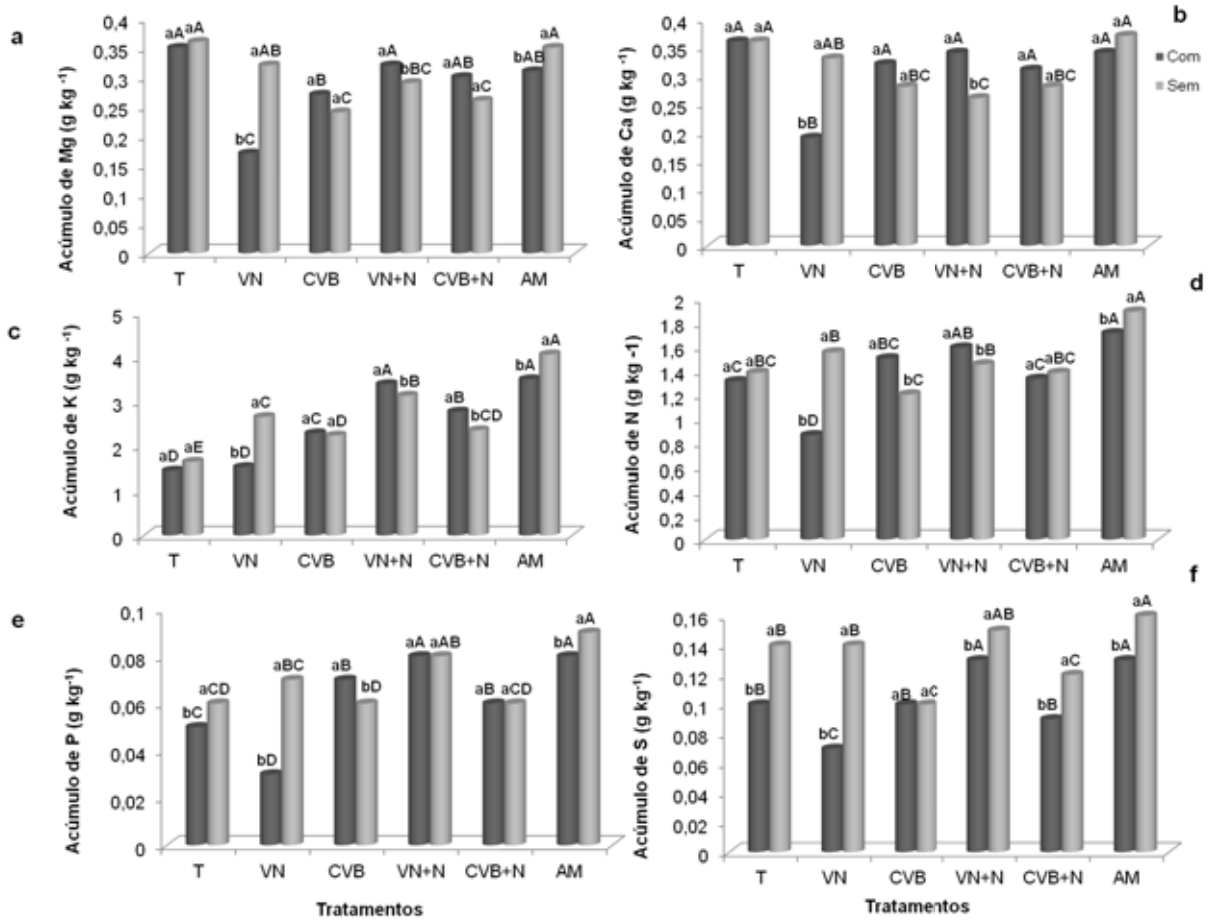


Figura 06 – Acúmulo de (a) Mg; (b) Ca; (c) K; (d) N; (e) P e (f) S, em plantas de cana-de-açúcar cultivadas em solo com e sem cobertura após seis meses da aplicação dos tratamentos: Testemunha; vinhaça *in natura*(VN); concentrado de vinhaça biodigerida (CVB); vinhaça *in natura* adicionado de N e P (VN+N); concentrado de vinhaça biodigerida adicionado de N e P (CVB+N); e adubação mineral (AM).Nas colunas, médias seguidas de letras minúsculas iguais compara cores, e nas coluna, médias seguidas de letras maiúsculas iguais compara cor, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

No solo com palhada ambas as vinhaças adicionadas de N proporcionaram maiores acúmulos de K em relação ao solo sem palhada. Comparando o efeito das

fontes de fertilizantes, a adubação mineral induziu a acúmulos significativamente maiores que as vinhaças. A vinhaça *in natura* proporcionou maiores acúmulo quando comparada com concentrado de vinhaça biodigerida. Este comportamento foi semelhante para matéria seca da planta indicando que a vinhaça *in natura* pode ter induzido ao maior desenvolvimento das plantas quando comparado com concentrado de vinhaça biodigerida.

Verificou-se que o fato do K estar disponível no solo em quantidades semelhantes quando se aplicou ambas as vinhaças e adubação mineral, (Figura 04), não resultaram no igual acúmulo pelas plantas. Essa menor eficiência das vinhaças em relação a fertilizantes minerais na absorção de potássio pela cana foi relatada também por NOGUEIRA et al. (2007).

Para o nitrogênio acumulado na parte aérea das plantas que receberam concentrado de vinhaça biodigerida adicionado de N e testemunha não houve influencia da cobertura do solo. A adubação mineral induziu ao maior acúmulo de N na parte aérea das plantas tanto no solo com palhada como no solo sem palhada, sendo significativamente maior no ultimo (Figura 06d). As vinhaças não induziram a diferenças significativas nos teores de N acumulado na parte aérea da planta, exceto a *in natura* que apresentou os menores acúmulos no solo com palhada. Este resultado também foi encontrado por FRANCO et al. (2007), que estudando o acúmulo de nutrientes em função da adubação nitrogenada e de resíduos (folhas) incorporados ao solo em experimentos em vasos, não observaram diferenças no acúmulo de N na parte aérea de cana em função dos resíduos adicionadas. O mesmo foi relatado por GAVA et al. (2001), que determinaram acúmulo de N total nos diferentes estádios de crescimento e na colheita final da soqueira de cana-de-açúcar e não verificaram alterações pela cobertura da superfície do solo por palhada.

Os acúmulos de fósforo nas plantas quando se utilizou ambas as vinhaças adicionadas de N não foram influenciados pela palhada, apresentando juntamente com a adubação mineral os maiores acúmulos de P nas plantas cultivadas com e sem palhada (Figura 06e). Este resultado era esperado, visto que, receberam fonte de P mineral. A vinhaça *in natura* induziu ao menor acúmulo de P na parte aérea.

O solo sem palhada induziu aos maiores acúmulos de S independente do tratamento quando comparado com solo com palhada (Figura 06f). A aplicação de VN+N e adubação mineral induziram aos maiores acúmulos de enxofre na parte aérea, independente da palhada, possivelmente em resultado do S adicionado pelos fertilizantes, pois, tanto a fonte de N como a fonte de P continha S em sua composição.

Observou-se interação entre manejo do solo e fontes de fertilizantes para acúmulo de Ferro, Manganês, Cobre e Zinco (Tabela13).

Verificou-se que o acúmulo de Ferro nas plantas cultivadas sem palhada foi maior nos tratamentos testemunha e vinhaça *in natura* quando comparado com solo com palhada (Figura 07a).

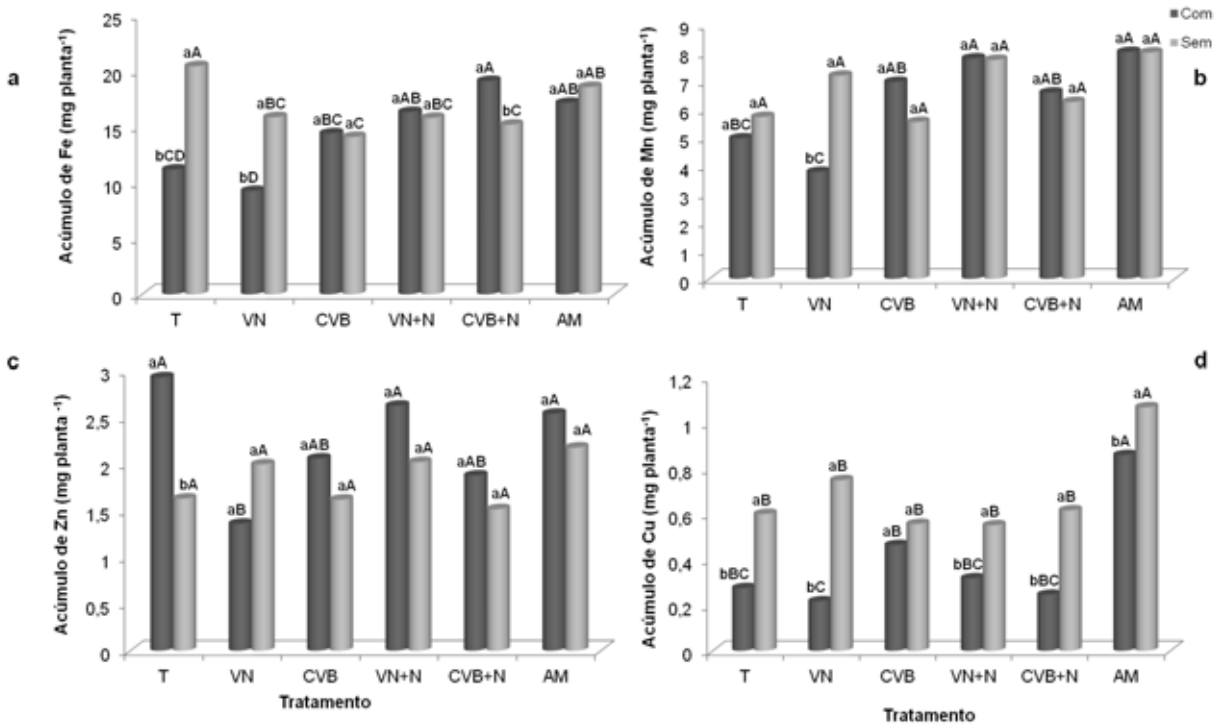


Figura 07 –Testemunha (T); vinhaça *in natura* (VN); concentrado de vinhaça biodigerida (CVB); vinhaça *in natura* adicionado de N (VN+N); concentrado de vinhaça biodigerida adicionado de N (CVB+N); e adubação mineral (AM) para acúmulo de micronutrientes em plantas de cana-de-açúcar (a) Ferro; (b) Manganês; (c) Zinco; e (d) Cobre. Na coluna, médias seguidas de letras minúsculas iguais, e na linha, médias seguidas de letras maiúsculas iguais, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

O acúmulo de ferro nos demais tratamentos não foi influenciado pela palhada. Observou também que o solo com palhada os maiores acúmulos foram induzidos por ambas às vinhaças adicionadas de N e a adubação mineral. No solo sem palhada as vinhaças induziram a menores acúmulos de ferro quando comparados à adubação mineral e testemunha. Para Manganês acumulado na planta cultivada no solo com palhada a vinhaça in natura induziu a acúmulos inferiores quando comparado com solo sem cobertura, comportamento contrario a este foi observado para o concentrado de vinhaça biodigerida (Figura 07b). Os demais tratamentos não foram influenciados pela palhada.

O zinco acumulado na parte aérea da planta foi maior no tratamento testemunha para o solo com palhada quando comparado com solo sem palhada (Figura 07c). O acúmulo de zinco nos demais tratamentos não foi influenciado pela palhada presente na superfície do solo. No solo com palhada a vinhaça in natura induziu ao menor acúmulo de zinco quando comparado com os demais tratamentos. Para o solo sem palhada não houve diferenças significativas entre os tratamentos.

O acúmulo de Cobre nas plantas foi maior no solo sem palhada em comparação com solo com palhada, com exceção para o tratamento CVB que não foi influenciado pela palhada (Figura 07d). A adubação mineral proporcionou maior acúmulo de cobre na planta quando comparado com os demais tratamentos tanto para o solo com palhada quando para o sem palhada.

Os resultados de acúmulos de micronutriente na planta não apresentaram um comportamento lógico, tornando-se difícil sua interpretação.

Na Tabela 14, estão apresentados o teste F da analise de variância e interações entre cobertura do solo e fontes de fertilizantes para os teores de macro e micronutriente da folha diagnóstico. Os teores de cálcio e magnesio na folha diagnóstico foram significativamente menores quando aplicou-se o concentrado de vinhaça biodigerida em comparação com o testemunha, não diferindo vinhaça *in natura* independente da palhada (Figura 08a, b). Isto pode ser resultado de um desbalanço nutricional, pois, segundo PRADO (2008), doses elevadas de potássio causam decréscimo nos teores de Ca e Mg foliar, podendo até provocar queda da produção. De acordo com analise do solo apresentada na figura 04, tanto as

vinhaças como a adubação mineral elevaram os teores de K do solo cerca de quatro vezes mais que o teor no testemunha. No entanto, não ocorreu perdas significativas, pois a matéria seca da parte aérea nestes tratamentos não diferiu do testemunha (Figura 05). Para o solo sem palhada a vinhaça *in natura* induziu aos menores teores quando comparado com testemunha não diferindo dos demais.

Tabela 14 - Valores do teste F da análise de variância para os efeitos principais e interações nos teores de nutriente na folha diagnóstico de plantas de cana-de-açúcar.

Causas de variação	Teor de nutrientes na folha diagnóstico de plantas de cana-de-açúcar									
	Ca	Mg	K	N	P	S	Fe	Mn	Cu	Zn
Efeito da cobertura(A)	23,33 **	60,94 **	11,31 **	105,80 **	22,40 **	43,99 **	57,47 **	1,61 ns	14,60 **	52,55 **
Efeito fertilizantes (B)	12,38 **	5,63 **	4,84 **	0,74 ns	1,63 ns	1,23 ns	10,36 **	7,49 **	4,87 **	1,09 ns
Interação A x B	5,05 **	4,34 **	9,18 **	0,76 ns	1,43 ns	1,09 ns	19,81 **	22,14 **	4,09 **	1,06 ns
Coeficiente de variação	11,95	10,36	8,56	13,12	11,94	13,26	5,74	9 53	19,94	12,01

(**) significativo em nível de 1% de probabilidade (p <0,01); (*) significativo em nível de 5% de probabilidade (p <0,05); (ns) não significativo (p >= 0,05).

Para os teores de K na folha diagnóstico não houve diferenças significativas entre os tratamentos para o solo com palhada. No entanto, no solo sem palhada ambas as vinhaças induziram a teores significativamente maiores quando comparado aos demais tratamentos (Figura 08c), este resultado é importante, pois, sugere que substituição da adubação mineral potássica por ambas as vinhaças deverá manter os teores de K na folha semelhantes á adubação mineral, não interferido na sua absorção, assim como ocorreu para o K disponível no solo (Figura 04).

Com relação ao teor de ferro observou-se que não houve diferenças significativas entre os solos com e sem palhada quando recebeu ambas as vinhaças. A adubação mineral induziu ao maior teor de ferro no solo com palhada quando comparado com o solo sem palhada. O teor de manganês foi maior no solo com palhada quando se utilizou concentrado de vinhaça biodigerida. Para o solo sem palhada os maiores teores foram observados na vinhaça *in natura* e adubação mineral. No solo sem palhada o teor de cobre na folha diagnóstico não foi

influenciado pelos tratamentos. Para o solo com palhadaa adubação mineral induziu ao maior teor de cobre na folha.

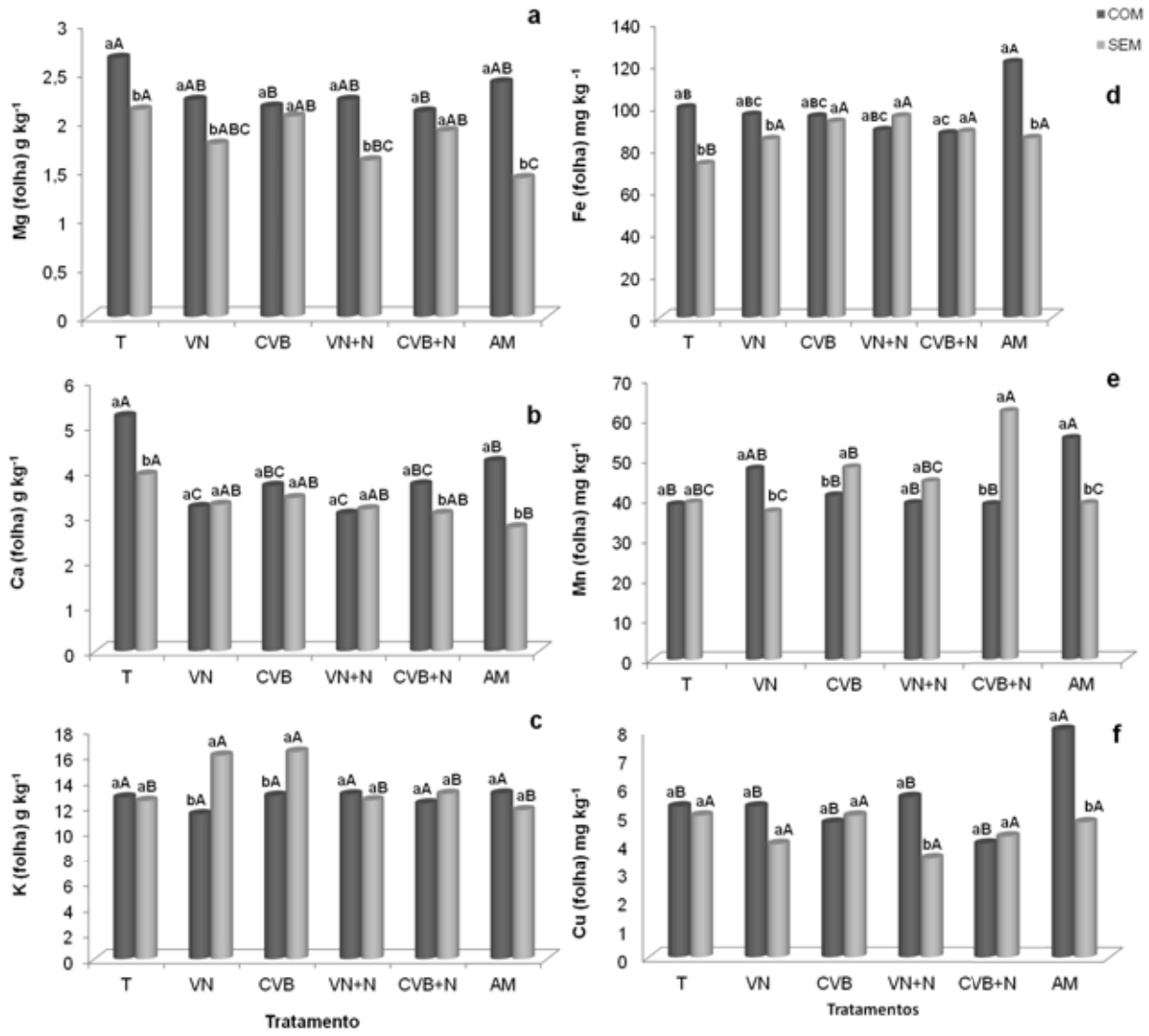


Figura 08 – Teores de macro (a) magnésio; (b) cálcio; (c) potássio; e micronutriente (d) ferro; (e) manganês; e (f) cobre, na folha diagnóstico de cana-de-açúcar cultivada em condição de casa de vegetação com os tratamentos: Testemunha; vinhaça *in natura* (VN); concentrado de vinhaça biodigerida (CVB); vinhaça *in natura* adicionado de N e P (VN+N); concentrado de vinhaça biodigerida adicionado de N e P(CVB+N); e adubação mineral (AM).

Os teores de N, P e S na folha diagnóstico não foram influencias pelos tratamentos, todavia, observou-se que no solo com palhada os teores de N e S

foram significativamente maiores que no solo sem palhada (Figura 09). Por outro lado o teor de P foi maior no solo sem palhada.

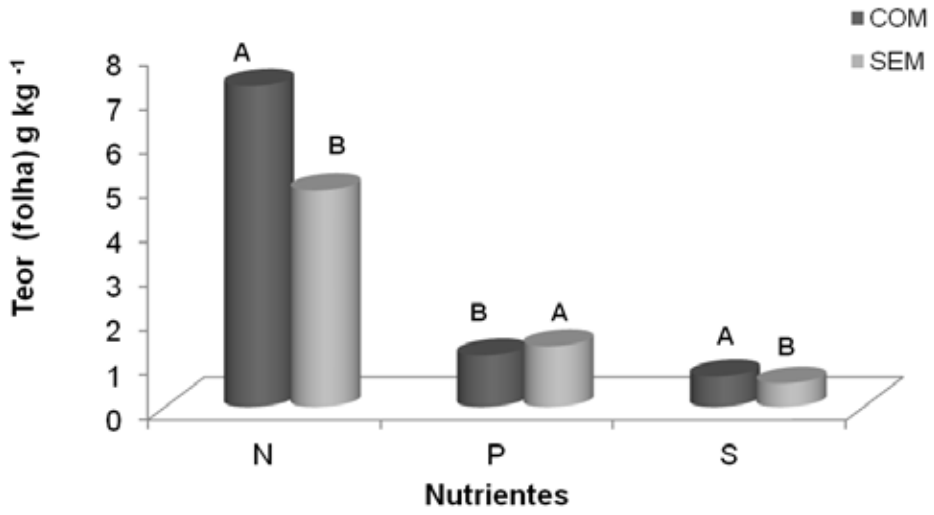


Figura 09 – Influencia da cobertura do solo com palhada nos teores de nitrogênio (N), fósforo (P) e enxofre (S) na folha diagnóstico de cana-de-açúcar cultivada em condições de casa de vegetação.

Verificou-se ainda que os teores de K e Mg encontram-se na faixa de referencia adequada para cana, enquanto que os teores de N, P, Ca, S e Cu, Fe e Mn estão abaixo da faixa adequada de acordo com MALAVOLTA (2006). Entretanto, esses dados não podem ser diretamente comparados com as faixas de referencia, uma vez que estas não foram baseadas em experimentos, além disso, este trabalho foi realizado em condições de casa de vegetação.

4.3. **III Etapa - Experimento em campo**

4.3.1. **Respiração do solo**

Na figura 10 estão apresentados os valores médios para respiração basal do solo durante o período de incubação no laboratório. Os tratamentos que receberam vinhaça *in natura* apresentaram maior liberação de CO_2 quando comparado com os demais. No entanto, não houve diferença entre a vinhaça *in natura* adicionada com P, ou adicionada com N e P.

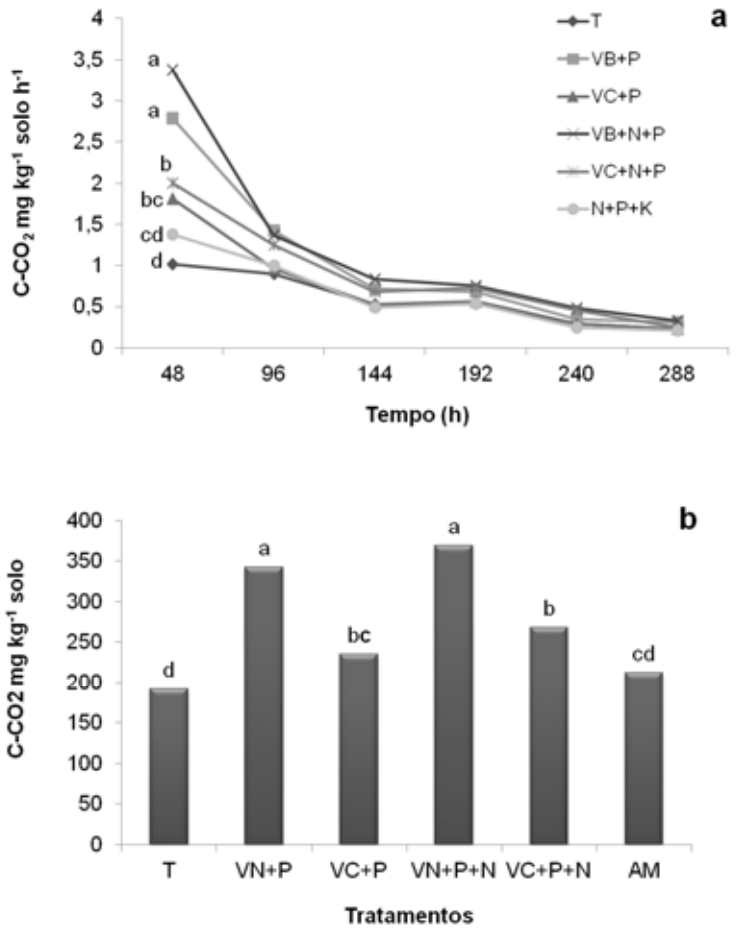


Figura 10 - Liberação de C-CO_2 do solo incubado com os tratamentos: testemunha (T); vinhaça *in natura* adicionado de P (VN+P); concentrado de vinhaça biodigerida adicionado de P (VC+P); vinhaça *in natura* adicionado de N + P (VN+N+P); concentrado de vinhaça biodigerida adicionado de N + P (VC+N+P); e adubação mineral (N+P+K) (a) por hora de incubação; (b) acumulada em doze dias.

Este resultado pode estar relacionado ao fato da vinhaça *in natura* ser rica em compostos oriundos da lise de células de leveduras e do mosto parcialmente fermentado (GLÓRIA, 1980), constituindo-se material de fácil decomposição, fonte de energia prontamente disponível aos microrganismos do solo. Além disso, a vinhaça *in natura* apresenta elevada proporção de água, que eleva a umidade do solo e deve favorecer a atividade microbiana. Porém, é preciso ressaltar que a maior respiração do solo com a vinhaça *in natura* só foi observada nas primeiras 96 horas (Figura 2a). Posteriormente, os tratamentos mantiveram respiração semelhante ao

concentrado de vinhaça biodigerida, que se manteve em níveis relativamente baixos desde o início do experimento. A rápida decomposição da matéria orgânica da vinhaça *in natura* também havia sido relatada por LIMA (1980) e MINHONI & CERRI (1987), que estudaram a evolução do CO_2 ao longo do tempo, e observaram elevada atividade respiratória do solo nos primeiros dias após a incubação.

A menor respiração do solo com a aplicação do concentrado de vinhaça biodigerida quando comparado a vinhaça *in natura* está relacionado com a sua menor carga orgânica, resultado da biodigestão, processo pelo qual bactérias metanogênicas transformam substrato orgânico em biogás. O concentrado de vinhaça biodigerida adicionado com P ou N + P, embora tenha liberado quantidades de C-CO_2 inferiores ao tratamento com vinhaça *in natura,* foi superior ao testemunha e à adubação mineral (Figura 2b), demonstrando efeito positivo na ativação da microbiota do solo.

Pode se verificar ainda que a adição de N às vinhaças não contribuiu significativamente para aumento da respiração, principalmente porque a relação C/N da vinhaça (Tabela 4) já estava próxima da exigida pelos microrganismos (MOREIRA & SIQUEIRA, 2006), o que poderia explicar o fato da adição de N não ter alterado a decomposição deste resíduo no solo. Tais resultados revelam que o nitrogênio perdido na forma de biogás (GRANATO, 2003), não foi significativo para as atividades biológicas do solo e, portanto, a preocupação de que a vantagem da produção de biogás possa se transformar em desvantagem agronômica parece, pelo menos neste aspecto, não ser procedente.

4.3.2. **Carbono e nitrogênio microbiano e atividade enzimática do solo**

Não se observaram diferenças significativas nas concentrações de carbono da biomassa (C-BMS) e nitrogênio da biomassa (N-BMS) pela aplicação das vinhaças no solo (Tabela 15). Este resultado sugere que a maior contribuição da vinhaça *in natura* na ativação da biomassa do solo seja mais devido à quantidade de água adicionada com esse efluente do que à matéria orgânica. De acordo com RICE et al. (1996), com a aplicação da vinhaça *in natura* ao solo, ocorre um rápido consumo de sua matéria orgânica, com liberação de CO_2 e outros gases para

atmosfera o que significa também a perda de carbono do sistema solo, sem vantagens para a fertilidade do solo. Essa deve ser a explicação que justificaria a semelhança entre as vinhaças *in natura* e o concentrado de vinhaça biodigerida, nos teores de carbono no solo.

A análise dos resultados do quociente metabólico indicou que a vinhaça *in natura* e o concentrado de vinhaça biodigerida apresentaram valores semelhantes entre si, indicando que a perda de N e matéria orgânica pela biodigestão e concentração não são significativas para afetar a biomassa microbiana. Por outro lado, só se observou efeitos significativos nos tratamentos adicionados de N, tanto os efluentes quanto como a adubação mineral. Esses resultados, aliados às observações de que as atividades das enzimas urease e desidrogenase não foram influenciadas pelas vinhaças aplicadas (Tabela 15), suportam a teoria de que a perda de carbono e nitrogênio no processo de biodigestão e concentração da vinhaça não são relevantes do ponto de vista do solo, cuja atividade biológica somente se altera com a adição de grande quantidade de N, como a dose utilizada neste trabalho.

Quando se analisa os resultados obtidos para o solo do experimento no campo, avaliado aos 120 dias após a aplicação dos tratamentos, também pode se observar que os teores de C-BMS não diferiram entre as vinhaças estudadas. Fica claro, então, que as diferenças das quantidades de carbono adicionadas ao solo pela aplicação de vinhaça *in natura* e concentrado de vinhaça biodigerida, estimadas em 457 e 107 kg ha^{-1} de C, respectivamente, não são importantes do ponto de vista de fertilidade do solo, provavelmente por que apenas uma pequena fração do carbono oriundo da decomposição da vinhaça é imobilizada pela biomassa microbiana, sendo a maior parte rapidamente evoluída como CO_2 (MINHONI & CERRI, 1987). Por outro lado, verificou-se que os teores de nitrogênio da biomassa (N-BMS) do solo foram significativamente menores na testemunha (T) e adubação mineral (AM), revelando que a adição, tanto da vinhaça *in natura* quanto do concentrado de vinhaça biodigerida, foi importante para incrementar a atividade microbiana do solo.

Tabela 15 - Teores médios de carbono da biomassa microbiana do solo (C-BMS); nitrogênio da biomassa microbiana do solo (N-BMS); quociente metabólico (qCO_2), atividade da urease e desidrogenase após vinte dias de incubação e cento e vinte dias da aplicação no campo dos tratamentos: Testemunha (T); vinhaça in natura + P (VN+P); Concentrado de vinhaça biodigerida +P (CVB+P); vinhaça in natura +N+ P (VN+N+P); Concentrado de vinhaça biodigerida +N+P (CVB+N+P); e adubação mineral NPK (AM) .

Tratamento	C-BMS mg kg^{-1} solo C-mic	N-BMS mg kg^{-1} solo N-mic	qCO_2 mg kg^{-1} solo	Urease µg g^{-1} solo h^{-1} $N\text{-}NH_4^+$	Desidrogenase µL g^{-1} ss de H
			0 – 10 (cm)		
	20 dias de incubação dos tratamentos em condições de laboratório				
Testemunha	87,82 a	25,12 a	2,63 a	23,41 a	49,64 a
VB+P	94,05 a	22,66 a	3,25 a	26,21 a	55,43 a
CVB+P	79,14 a	18,48 a	3,34 a	26,02 a	59,43 a
VB+N+P	88,87 a	25,94 a	2,74 a	25,08 a	56,25 a
CVB + N+P	98,21 a	19,72 a	2,91 a	26,42 a	59,56 a
AM	72,54 a	22,77 a	3,38 a	25,93 a	49,50 a
CV %	25,02	19,45	14,56	14,76	20,91
			0 – 10 (cm)		
	120 dias da aplicação dos tratamentos em campo				
Testemunha	28,36 a	2,47c	ND*	14,26a	22,83 a
VB+P	22,62a	3,70abc	ND	16,19a	22,54 a
CVB+P	22,56a	4,62 a	ND	14,14a	19,22 a
VB+N+P	21,02a	4,39ab	ND	14,85a	22,31 a
CVB + N+P	26,97a	4,41ab	ND	14,91a	24,33 a
AM	22,18a	2,78c	ND	15,40a	23,74 a
CV %	14,53	19,97	ND	19,43	14,24

Na coluna, médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste Tukey (p> 0,05). (-) Não determinado. * Dados transformados em 1/x.

À semelhança do observado no ensaio de incubação no laboratório, atividade da urease e desidrogenase no solo do experimento de campo (Tabela 14) não foi afetada pelos tratamentos, apesar da atividade da urease ter sido bastante elevada, quando comparado com os resultados encontrado por LONGO (1994). Segundo KLOSE & TABATABAI (2000), a atividade da urease está diretamente relacionada

com o teor e a qualidade da matéria orgânica do solo, o que justificaria a diferença entre os dados do presente trabalho e os de LONGO (1994). Além disso, 80% da atividade enzimática do solo está associada à biomassa microbiana do solo (KLOSE & TABATABAI, 2000). Portanto, como as vinhaças não contribuiram para aumentos significativos na biomassa microbiana, também não refletiu na atividade das enzimas.

4.3.3. **Composição química do solo**

Na tabela 16, encontram-se os atributos do solo aos 20 dias de incubação em condição de laboratório. Tais resultados indicaram que a acidez do solo e seu conteúdo de matéria orgânica, não diferiram (P>0,05) pela aplicação das distintas formas de vinhaça, mesmo com a diferença estimada de 350 kg ha^{-1} de carbono aplicada a menos pelo concentrado de vinhaça biodigerida. A similaridade dos resultados de ambas as vinhaças no solo estudado neste trabalho pode ser explicada por duas hipóteses: (1) o elevado conteúdo de matéria orgânica (32 g dm^3) acumulado no solo durante vários anos pela colheita da cana sem queima da palha pode ter, em parte, mascarado as diferenças que poderiam aparecer se fosse utilizado um solo pobre em matéria orgânica; e (2) a maior quantidade de componentes orgânicos da vinhaça *in natura*, devido serem rapidamente degradados pelos microrganismos do solo, não contribui para efetivo acúmulo de matéria orgânica no solo.

O teor de fósforo disponível do solo não foi influenciado pelas vinhaças aplicadas, porém, houve diferença com relação ao tratamento testemunha. Baseado nas concentrações e doses aplicadas calculou-se que a vinhaça *in natura* e o concentrado de vinhaça biodigerida contribuiu com 10 e 8 kg ha^{-1} de P, respectivamente, além da dose recomendada para a cana (30 kg ha^{-1} de P_2O_5) que também foi adicionada em todos os tratamentos, com exceção do testemunha, que justifica as maiores concentrações no solo que recebeu este elemento.

Constatou-se que os teores de potássio do solo após 20 dias de incubação em condições de laboratório apresentaram diferenças significativas quando se compararam as vinhaças, e isso era esperado uma vez que as vinhaças *in natura* e

concentrado de vinhaça biodigerida contribuíram com 331 e 148 kg ha^{-1} de K, respectivamente, pelo fato de que a vinhaça *in natura* e o concentrado de vinhaça biodigerida não foram originados do mesmo lote, conforme a descrição e justificativas apresentadas no item material e métodos (acima).

Tabela 16 - Valores médios obtidos para analise química do solo com os tratamentos: Testemunha (T); Vinhaça *in natura* (VN+P); Concentrado de vinhaça biodigerida (CVB+P); Vinhaça *in natura* com adubação mineral (VN+P+N); Concentrado de vinhaça biodigerida com adubação mineral (CVB+P+N); Adubação mineral (AM).

Tratamento	pH em $CaCl_2$	M.O	P(resina)	K^+	Ca^{+2}	Mg^{+2}	H+Al	SB	T	V
		$g\ dm^{-3}$	$mg\ dm^{-3}$		---------- $mmol_c\ dm^{-3}$ ----------					%
0 – 10 (cm) 20 dias após incubação dos tratamentos em condição de laboratório										
T	5,45 a	32,42 a	10,28 c	1,05 d	41,42 a	19,71 a	33,71 a	62,18 a	95,91 ab	64,42 a
VN+P	5,32 a	30,14 a	11,57 bc	5,77 a	36,42 a	16,85 a	35,00 a	59,04 a	94,05 b	62,71 a
CVC+P	5,34 a	33,57 a	13,71 a	3,35 b	39,42 a	18,00 a	33,00 a	60,77 a	94,80 ab	65,00 a
VN+P+N	5,27 a	31,85 a	12,00 abc	5,72 a	38,14 a	18,42 a	38,14 a	62,28 a	100,44 ab	62,00 a
CVB+P+N	5,45 a	32,14 a	13,00 ab	3,28 b	40,14 a	19,57 a	34,14 a	62,99 a	97,14 ab	64,85 a
AM	5,31 a	33,42 a	13,14 ab	2,50 c	42,28 a	18,85 a	39,14 a	63,63 a	102,78 a	61,85 a
CV%	4,26	6,84	9,30	7,56	14,64	14,13	14,61	10,12	5,35	9,16
0 - 10 (cm) 120 dias após aplicação dos tratamentos em campo										
T	5.29 a	38,43 a	11,43 a	0,96 b	45,86 a	21,86 a	41,71 a	68,71 a	110,39 a	62,03 a
VN+P	5,28 a	37,43 a	10,71 a	2,60 a	41,86 a	18,57 a	43,43 a	63,03 a	106,46 a	59,10 a
CVB+P	5,19 a	38,00 a	10,86 a	2,30 a	38,71 a	18,43 a	44,14 a	59,44 a	103,59 a	57,00 a
VN+P+N	5,30 a	39,14 a	12,43 a	2,43 a	45,71 a	20,14 a	42,71 a	68,29 a	111,00 a	61,38 a
CVB+P+N	5,31 a	38,29 a	11,57 a	2,20 a	43,57 a	20,29 a	41,29 a	66,06 a	107,34 a	61,37 a
AM	5,19 a	39,43 a	13,00 a	1,19 b	43,29 a	20,49 a	47,14 a	64,90 a	112,04 a	58,12 a
CV%	3,35	6,54	15,50	30,03	14,80	14,00	14,95	13,90	6,68	10,30

Na coluna, médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste Tukey (p> 0,05).

Essa menor contribuição de K pelo do concentrado de vinhaça biodigerida quando comparado com vinhaça *in natura*, utilizados nesse trabalho, foi refletida no solo. É importante ressaltar que a concentração de K da vinhaça e, consequentemente, do respectivo concentrado de vinhaça biodigerida, depende do tipo de mosto utilizado no processo de produção do etanol, bem como da concentração de K da cana que, por sua vez, varia de acordo com uma série de

variáveis intrínsecas à planta, como o genótipo e idade, bem como do ambiente de cultivo (edafoclimáticas). Por isso, mesmo que o processo de concentração da vinhaça biodigerida seja realizado sempre na mesma proporção (por exemplo, concentração de dez vezes), é imperativo o monitoramento dos teores de potássio dos efluentes a fim de serem aplicadas as doses desejadas, conforme a exigência da cultura, no campo. Apesar das citadas diferenças das doses de K aplicadas através das vinhaças, após 120 dias da aplicação dos tratamentos no campo não foram observadas diferenças significativas no teor de K trocável do solo fertilizado com as distintas vinhaças. Porém, curiosamente, observaram-se teores significativamente mais elevados de K trocável nos solos tratados com as vinhaças, em comparação com o do solo adubado com fertilizante mineral (Tabela 16).

Também não foram observadas, nessas mesmas amostras de solo, variações no teor de matéria orgânica devido à aplicação das vinhaças. Entretanto, o solo amostrado aos 120 dias de condução do ensaio no campo tendeu a apresentar um teor de matéria orgânica um pouco maior que o das amostras coletadas e analisadas no início do ensaio (Tabela 16). Este incremento em todos os tratamentos deve ter sido uma contribuição da degradação da palha deixada sobre o solo com a colheita mecanizada. Tal afirmativa se baseia nas observações dos dados da figura 11, onde pode ser verificado que, apesar de não ter sido constatado efeito significativo ($p>0,05$) dos tratamentos na degradação da palha, aos 120 dias após a condução do ensaio no campo, cerca de 60 % da palha depositada no solo com a colheita mecanizada (± 3,9 t ha^{-1}) já haviam sido decomposta, diferente das taxas de decomposição encontrada por OLIVEIRA et al. (1999), que após um ano agrícola apenas 22% da palhada havia se decomposto.

A análise dos resultados da figura 11 revelam que a substituição da vinhaça *in natura* pelo concentrado de vinhaça biodigerida não influenciou ($P>0,05$) na decomposição da palha e também que a adição de 100 kg ha^{-1} N também não chegou a alterar a degradação da palhada. Esses resultados, associados à afirmação de VITTI et al. (2011) de que o N oriundo da palha pouco contribui para a nutrição das plantas, induzem a descartar a hipótese de que o o N perdido durante o processo de biodigestão e concentração da vinhaça biodigerida faria diferença no sistema de produção da cana-de-açúcar.

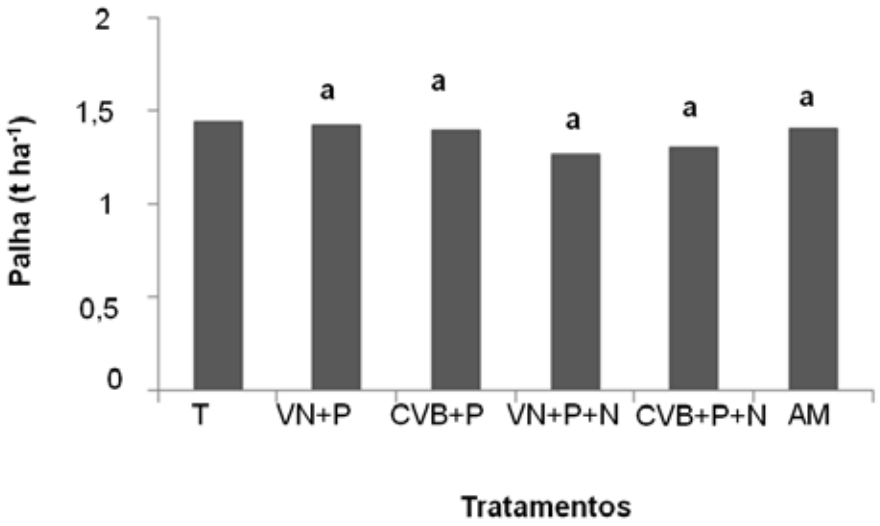


Figura 11 - Palha remanescente sobre o solo aos 120 dias da aplicação dos tratamentos: testemunha (T); vinhaça *in natura* adicionado de P (VN+P); concentrado de vinhaça biodigerida adicionado de P (VC+P); vinhaça *in natura* adicionado de N + P (VN+N+P); concentrado de vinhaça biodigerida adicionado de N + P (VC+N+P); e adubação mineral (N+P+K).

Levando em conta que a tendência de que a maior parte da área cultivada com cana-de-açúcar será conduzida no sistema de colheita sem queima da palha, com a consequente elevação do teor de matéria orgânica (como o do solo deste estudo), pode-se estimar que os resultados observados no presente trabalho também ocorrerão em outras áreas com condições edafoclimáticas semelhantes. Sendo assim, parece que a substituição em larga escala da vinhaça *in natura* pelo concentrado de vinhaça biodigerida, na cultura da cana-de-açúcar, poderia trazer benefícios para o sistema industrial e viabilizar o transporte dos efluentes para suas áreas de origem, sem prejuízos para as características químicas, bioquímicas e biológicas do solo.

4.3.4. **Composição química da folha diagnóstico**

Na tabela 17 estão apresentados os teores médios de macro e micronutriente na folha diagnóstico da soqueira de cana-de-açúcar.

Tabela 17 – Teores foliares médios de macro e micronutriente em função da aplicação de vinhaça *in natura*, concentrado de vinhaça biodigerida e adubação mineral em cana-de-açúcar após cinco meses da brotação.

Tratamento	Ca	Mg	K	N	P	S	Cu	Fe	Mn	Zn
	========== g kg $^{-1}$ ==========						========= mg kg $^{-1}$ =========			
T	6,09 a	2,59 a	7,96 c	9,72a	2,12 a	1,43 a	4,71 a	72,00 a	57,57 a	15,90 a
VN+P	5,59 a	2,29 a	9,43 abc	9,75a	2,20 a	1,50 a	3,96 a	71,71 a	57,57 a	14,30 ab
CVB+P	5,33 a	2,23 a	9,87 ab	9,85a	2,20 a	1,41 a	4,14 a	73,14 a	58,57 a	14,30 ab
VN+N+P	5,20 a	2,27 a	9,24 abc	9,83a	2,15 a	1,46 a	4,14 a	72,00 a	58,29 a	13,71b
CVB + N+P	5,30 a	2,63 a	10,01 a	9,83a	2,14 a	1,43 a	4,00 a	74,00 a	59,00 a	13,43 b
AM	6,04 a	2,49 a	8,24 bc	9,83a	2,11 a	1,30 a	3,90 a	81,14 a	59,57 a	14,90 ab
CV %	9,54	20,50	11,62	2,28	4,02	15,81	21,70	9,65	7,84	7,40

Na coluna, médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente em si, pelo teste Tukey ($p<0,05$).

O concentrado de vinhaça biodigerida adicionado de N e P proporcionou maior teor de potássio na folha diagnóstico quando comparado com adubação mineral, não diferindo da vinhaça *in natura* com ou sem adição de N e P. Os demais nutrientes não foram alterados pelas vinhaças. Este mesmo resultado foi observado no experimento conduzido em condições de casa de vegetação (item 4.2.4) e indica que as vinhaças podem substituir a adubação mineral potássica. Pode-se observar que os teores de Mg, P, e encontram-se na faixa de referencia adequada para cana, enquanto que os teores de N, K, Ca, S, Cu, Fe, Mn e Zn estão abaixo da faixa adequada de acordo com MALAVOLTA (2006).

5. CONCLUSÕES

Ambas as vinhaças promovem aumentos temporários no pH tanto do Argissolo como do Latossolo;

O concentrado de vinhaça biodigerida promove aumentos nos teores de potássio de ambos os solos similares à vinhaça in natura;

A vinhaça *in natura* induz maior respiração basal do solo que o concentrado de vinhaça biodigerida apenas nas primeiras 96 horas após a aplicação;

A decomposição da palhada não é influenciada pela utilização das distintas vinhaças;

A vinhaça *in natura* proporciona maior acúmulo de matéria seca da parte aérea que o concentrado de vinhaça biodigerido, sendo mais expressivo no solo sem cobertura;

As vinhaças proporcionam semelhantes teores de potássio na folha diagnóstico da cana, tanto em condições de casa de vegetação como no campo;

As vinhaças podem substituir a adubação mineral potássica.

6. REFERÊNCIAS

AGRIANUAL 2012: **Anuário da agricultura brasileira.** Cana. FNP CONSULTORIA & COMÉCIO. São Paulo: ed. Argos Comunicação, p. 214-244, 2012.

AUDE, M. I. S.; MARCHEZAN, E.; DARIVA, T.; PIGNATARO, I. H. B. Manejo do palhiço da cana-de-açúcar: 1. Efeito na produção de colmos industrializáveis e outras características agronômicas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 23, n. 3, p. 281-286, 1993.

BALL-COELHO, B.; TIESSEN, H.; STEWART, J. W. B.; SALCEDO, I. H.; SAMPAIO, E. V. S. B. Residue management effectsonsugarcaneyieldandsoilproperties in NortheasternBrazil. **Agronomy Journal**, Madison, v. 85, p. 1004-1008, 1993.

BARBOSA, V. Novas tecnologias no uso da vinhaça e aspectos legais. In: MARQUES, M.O.; MUTTON, M.A.; AZANIA, A.A.P.M.; TASSO JR, L.C.; NOGUEIRA, G.A.; VALLE, D.W. **Tópicos em tecnologia sucroalcooleira**. Jaboticabal: Multipress, 2006, 191p. p. 141-150.

BARBOSA, V. RAMOS-DURIGAN, A.M.P.; GLÓRIA, N.A.; MUTTON. M.A. Uso da vinhaça concentrada na adubação de soqueira de cana-de-açúcar. **STAB**, Piracicaba, v.24, n. 6, p.6-8, 2006.

BARROS, R. P.; VIÉGAS,P. R. A.;SILVA, T. L.; SOUZA, R. M.; BARBOSA, L.; VIÉGAS, R. A.; BARRETTO, M. C. V.; MELO, A. S. Alterações em atributos químicos de solo cultivado com cana-de-açúcar e adição de vinhaça. **Pesquisa AgropecuáriaTropical**, Goiânia, v. 40, n. 3, p. 341-346, 2010.

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

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

CAMARGO, O. A.; BERTON, R. S.; GERALDI, R. N. & VALADARES, J. M. A. S. Alterações de características químicas em um Latossolo Roxo distrófico incubado com resíduo de indústria de álcool açucareira. **Bragantia**, v. 3, p.125- 139, 1984.

CAMARGO, O.A.; VALADARES, J.M.A.S. & GERALDI, R.N. Características químicas e físicas de solo que recebeu vinhaça por longo tempo. Campinas, Instituto Agronômico, 1983. 30p. (**Boletim Técnico, 76**).

CAMPOS, B.C.; REINERT, D.J.; NICOLODI, R.; RUEDELL, J. & PETRERE, C. Estabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico após sete anos

de rotação de culturas e sistemas de manejo de solo. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v.19, p.121-126, 1995.

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

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**, v. 52, n.2, p. 199-2009. 1995.

CASSIDA, Jr. L.E. Microbial matabolic activity in soil as measured by dehydrogenase determinations. **Appl. Environ. Microbiol**. v. 34, p. 630-636, 1977.

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo. **Vinhaça – critérios e procedimentos para aplicação no solo agrícola. Norma Técnica P4.231**, 2006 disponível em:< http://www.ambientenet.eng.br/TEXTOS/VINHA%C3%87A.pdf > Acesso em 2009.

COPERSUCAR. Aproveitamento da vinhaça: viabilidade técnico-econômica. **Boletim Técnico Copersucar**, p. 1-66, 1978.

EMBRAPA, **Manual de Análise química de Solo, planta e fertilizante**. 2 ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, p. 627, 2009.

EMBRAPA, **Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos**. 2 ed. Brasília: Embrapa Solos, p. 306, 2006.

FRANCO, H. C. J.; TRIVELIN P. C. O.; FARONI, C. E.; VITTI A. C.; OTTO, R. Aproveitamento pela cana-de-açúcar da adubação nitrogenada de plantio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, número especial. 2008.

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

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

GAVA, G.J. C.; TRIVELIN, P. C. O.; OLIVEIRA, M. W.; PENATTI, C. P. Crescimento e acúmulo de nitrogênio em cana-de-açúcarcultivada em solo coberto com palhada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 11, p. 1347-1354, 2001.

GAVA, G. J. C; TRIVELIN, P. C. O.; VITTI, A. C.; OLIVEIRA, M. W. Urea and sugarcane straw nitrogen balance in a soil-sugarcane crop system. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n.7, p.689-695, 2005.

GLÓRIA, N. A. Utilização da vinhaça. **Brasil Açucareiro**, Rio de janeiro, 86(5):11-7, 1980.

GLÓRIA, N.A. **Emprego da vinhaça para fertilização**. Piracicaba: S.l., CODISTIL, 1976. Glória, N.A. Utilização racional dos resíduos da fabricação de açúcar e álcool. In: WORKSHOP SOBRE A AVALIAÇÃO E MANEJO DOS RECURSOS NATURAIS EM ÁREAS DE EXPLORAÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR, 1997, Aracajú. Anais...Aracajú: [s.n.] 1997. p.83-111.

GLÓRIA, N. A.; ORLANDO FILHO. Aplicação de vinhaça: um resumo e discussão sobre o que foi pesquisado: primeira parte. **Alcool & Açúcar**. São Paulo, v. 14, p. 24-35, 1984.

GRANATO, E. F., **Geração de Energia Através da Biodigestão Anaeróbia de Vinhaça**. Bauru, UNESP. Dissertação (Mestrado), 139p., 2003.

KLOSE, S.; TABATABAI, M. A. Urease activity of microbial biomass in soils as effected by cropping systems. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v.31, n.3-4, p.191-199, 2000.

LAMO, P. **Sistema Produtor de Gás Metano Através de Tratamento de Efluentes Industriais** - METHAX/BIOPAQ - CODISTIL - Piracicaba, 1991.

LARA CABEZAS, W.A.R.; TRIVELIN, P.C.O.; SCHIAVINATO JUNIOR, P.; BOARETTO, A.E. Perdas gasosas de nitrogênio de vinhaça e uréia em solos cultivados com cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.18, p.463-469, 1994.

LEAL, J.R.; AMARAL SOBRINHO, N.M.B.; VELLOSO, A.C.X. & ROSSIELO, R.O.P. Potencial redox e pH: variação em um solo tratado com vinhaça. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v7, p.257-261, 1983.

LIMA, I.T**. Efeitos da aplicação da vinhaça sobre a microflora do solo**. Rio de Janeiro, UFRRJ. Dissertação (Mestrado), 150p. 1980.

LONGO, M. R. **Efeito da vinhaça in natura e biodigerida em propriedades de um solo cultivado com cana-de-açúcar**. 98p. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual de Campinas- Faculdade de Engenharia Agrícola, 1994.

LYRA, M. R.C.C.; ROLIM, M. M.; SILVA, J. A. A da. Toposseqüência de solos fertigados com vinhaça: contribuição para a qualidade das águas do lençol freático. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, v.7, n.3, p.525-531, 2003.

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

MAULE, R. F.; MAZZA, J. A.; MARTHA JR G. B. Produtividade agrícola de cultivares de cana-de-açúcar em diferentes solos e épocas de colheita. **Scientia. Agrícola**, v.58, n.2, p.295-301, 2001.

McGARITY, J. W.; MYERD, M. G. A survey of urease activity in soils of Northern New South wales. **Plant Soil**, v. 27, n. 2, p. 217-238, 1967.

MENDOZA, H.N.S.; LIMA, E.; ANJOS, L.H.C.; SILVA, L.A.; CEDDIA, M.B. & ANTUNES, M.V.M. Propriedades químicas e biológicas de solo de tabuleiro cultivado com cana-de-açúcar com e sem queima da palhada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, p.201-207, 2000.

MINHONI, M.T.A. & CERRI, C.C. Decomposição de Vinhaça em solo sob diferentes níveis de umidade: Liberação de CO2, formação de biomassa microbiana e Imobilização do N adicionado. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**. Rio de Janeiro, v. 11, p.25-30, 1987.

MOREIRA, F. M. S. & SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2.ed. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2006. 729p.

NOGUEIRA, T. A.R.; MARQUES, M. O.; FONSECA, I. M.; MENDONÇA, L. Q. H. 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 , 2007.

OLIVEIRA, M. W.; TRIVELIN, P. C.O.; PENATTI, C. P.; PICCOLO, M.C. Decomposição e liberação de nutrientes da palhada de cana-de-açúcar em campo**. Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.12, p.2359-2362, 1999.

ORLANDO FILHO, J. O.; BITTENCOURT, V. C.; CARMELLO, Q. A. C.; BEAUCLAIR, E. G. F. Relaçıes K, Ca e Mg de solo areia quartzosa e produtividade da cana-de-açœcar. **STAB**, v.14, n.5, p.13-17, 1996.

PASSARIN, A. L.; RODRIGUEIRO, E. L.; ROBAINA, C. R. P.; MEDINA, C. C. Caracterização de agregados em um Latossolo Vermelho distroférrico típico submetido a diferentes doses de vinhaça. **Revevista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, n.6, p.1255-1260. 2007.

POMPERMAYER, R. S.; PAULA JUNIOR, D. R. **Estimativa do Potencial de produção de biogás através da biodigestão da vinhaça e comparação com outros energéticos**. In: IX SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 2000, Porto Seguro. Anais do IX Simpósio Luso-Brsileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, v.CD. p.2564-2572, 2000.

PRADO, R. M. **Nutrição de plantas**. São Paulo: UNESP, p. 405, 2008.

RAIJ, B. Van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo.** 2. ed. Campinas, Instituto Agronômico & Fundação IAC (Boletim Técnico 100), 1997. p.56-57.

REZENDE, J. O. Vinhaça: Outra grande ameaça ao ambiente. **Revista Magistra**, Edição especial, jun., 1984.

RICE, C. W.; MOORMAN, T.B.; BEARE,M. Role of microbial biomass carbon and nitrogen in soil quality. In: DORAN, J. W.; JONES, A. J. (Ed**.). Methods for assessing soil quality**. Madison: soil Science Society of America, p. 203-216, 1996. (Special Publication, 49).

ROSSETTO, R. A cultura da cana, da degradação à conservação. **Visão Agrícola**, n. 1, p. 80-85, 2004.

ROSSETTO, R.; DIAS, F.L.F.; VITTI, A.C.; TAVARES, S. Potássio. In: DINARDO-MIRANDA, L.L.; VASCONCELOS, A.C.M.; LANDELL, M.G.A. (Eds). **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agronômico, 882p. p.289-312. 2008.

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

SENGIK, E.; RIBEIRO, A.C.; CONDE, A.R. Efeito da vinhaça em algumas propriedades de amostras de solos de Viçosa (MG). **Revista Brasileira de Ciência do Sol**o, v.12, p.11-15, 1988.

SILVA,V. M.; TRIVELIN P. C. O.; COLAÇO W.; ENCARNAÇÃO, F. A. F.da; CABEZAS, W. A. R. L. Mineralização e volatilização do nitrogênio da vinhaça-^{15}n na presença ou não de uréia e de palha de cana- de-açúcar**. Scientia agrícola**, v.56, n.1, p.117-124, 1999.

SILVA, E. E.; AZEVEDO, P. H. S.; DE-POLLI, H. Determinação da respiração basal (RBS) e quociente metabólico do solo (qCO_2). Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2007a. 4 p. (Embrapa Agrobiologia. (**Comunicado Técnico 99**).

SILVA E. E.; AZEVEDO, P. H. S.; DE-POLLI, H. Determinação do nitrogênio da biomassa microbiana do solo (BMS-N). Seropedica: Embrapa Agrobiologia, 2007b. 6p. (Embrapa Agrobiologia. **Comunicado Técnico**, **96**).

SILVA E. E.; AZEVEDO, P. H. S.; DE-POLLI, H. Determinação do carbono da biomassa microbiana do solo (BMS-C). Seropedica: Embrapa Agrobiologia, 2007c. 6p. (Embrapa Agrobiologia. **Comunicado Técnico**, **98**).

SILVA, F. A. S. ASSISTAT, versão 7,5- **Sistema de análise estatística**. Campina Grande: Universidade Federal de campina Grande, 2008. (Software).

SIQUEIRA, J. O. & FRANCO, A. A. **Biotecnologia do solo: Fundamentos e perspectivas**. Brasília, MEC; ABEAS; ESAL; FAEPE, 1988. 236p.

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

VITTI, A.C.; CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P. C. O.; ROSSETTO, R.; Potássio. In: CASAGRANDE, A.A. et al **Cana-de-açúcar**. Campinas: IAC, 2008. p.289-312.

VITTI, A.C.; FRANCO, H.C.J.; TRIVELIN, P.C.O.; FERREIRA, D.A.; OTTO, R.; FORTES, C.; FARONI, C.E. Nitrogênio proveniente da adubação nitrogenada e de resíduos culturais na nutrição da cana-planta. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, n.3, p.287-293, 2011.

VITTI,A. C.; TRIVELIN, P. C. O.; CANTARELLA, H.; FRANCO, H. C. J.; CARLOS EDUARDO FARONI, C. E.; OTTO, R.; TRIVELIN, M. O.; TOVAJAR, J. G. Mineralização da palhada e crescimento de raízes de cana-de-açúcar relacionados com a adubação Nitrogenada de plantio. **Revista Brasileira Ciência Solo**, v.32, p.2757-2762, 2008, Número Especial.

WOOD, A.W. Management of crop residues following green harvesting of sugarcane in North Queensland.**Soil & Tillage Research**, v.20, p.69-85, 1991.

USMAN, A. R. A.; GAMEH, M. A. Effect of sugar industry wastes on K status and nutrient availability of a newly reclaimed loamy sandy soil. **Archives of Agronomy and Soil Science,** v. 54, n. 6, p. 665–679, 2008.