

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA

**EFEITO DO USO DA VINHAÇA ASSOCIADA À
ADUBAÇÃO NITROGENADA NO CARBONO
LÁBIL E MICROBIANO EM SOLO CULTIVADO
COM CANA-DE-AÇÚCAR NO CERRADO**

TAILINE ZILS

TAILINE ZILS

**EFEITO DO USO DA VINHAÇA ASSOCIADA À
ADUBAÇÃO NITROGENADA NO CARBONO
LÁBIL E MICROBIANO EM SOLO CULTIVADO
COM CANA-DE-AÇÚCAR NO CERRADO**

Monografia apresentada à Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília – UnB, como parte das exigências do curso de Graduação em Agronomia, para a obtenção do título de Engenheira Agrônoma.

Orientador: Prof. Dr. CÍCERO CÉLIO DE FIGUEIREDO

**Brasília, DF
Julho de 2015**

FICHA CATALOGRÁFICA

ZILS, Tailine

“EFEITO DO USO DA VINHAÇA ASSOCIADA À ADUBAÇÃO NITROGENADA NO CARBONO LÁBIL E MICROBIANO EM SOLO CULTIVADO COM CANA-DE-AÇÚCAR NO CERRADO”. Orientação: Cícero Célio de Figueiredo, Brasília 2015. 45 páginas

Monografia de Graduação (G) – Universidade de Brasília / Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, 2015.

1. Biomassa microbiana 2. Cana-de-açúcar 3. Matéria orgânica do solo

I. Figueiredo, C.C.de. II. Drº.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ZILS, T. Efeito do uso da vinhaça associada à adubação nitrogenada no carbono lábil e microbiano em solo cultivado com cana-de-açúcar no cerrado. Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 2015, 45 páginas. Monografia.

CESSÃO DE DIREITOS

Nome do Autor: TAILINE ZILS

Título da Monografia de Conclusão de Curso: Efeito do uso da vinhaça associada à adubação nitrogenada no carbono lábil e microbiano em solo cultivado com cana-de-açúcar no cerrado.

Grau: 3º **Ano:** 2015

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta monografia de graduação e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva-se a outros direitos de publicação e nenhuma parte desta monografia de graduação pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

TAILINE ZILS

CPF: 041.715.401-19

SQN 312, Bloco D, Apto 615

CEP: 70765-040 Asa Norte, DF. Brasil

(62) 9668 05 08/ email: tailinezils@hotmail.com

TAILINE ZILS

EFEITO DO USO DA VINHAÇA ASSOCIADA À ADUBAÇÃO NITROGENADA NO CARBONO LÁBIL E MICROBIANO EM SOLO CULTIVADO COM CANA-DE-AÇÚCAR NO CERRADO

Monografia apresentada à Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília – UnB, como parte das exigências do curso de Graduação em Agronomia, para a obtenção do título de Engenheira Agrônoma.

Orientador: Prof. Dr. CÍCERO CÉLIO DE FIGUEIREDO

BANCA EXAMINADORA:

Cícero Célio de Figueiredo
Doutor, Universidade de Brasília – UnB
Orientador / email: cicerocf@unb.br

Arminda Moreira de Carvalho
Doutora, Embrapa Cerrados
Examinadora

Thais Rodrigues Coser
Doutora, Embrapa Cerrados
Examinadora

Dedico este trabalho a Deus, aos meus pais, meu esposo e a toda minha família e amigos que não mediram esforços para que eu chegasse até aqui.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelo cuidado que tem por mim, pela oportunidade de realizar mais um sonho e por me fazer superar cada dificuldade encontrada pelo caminho.

Aos meus pais, Arnildo e Iria, pelo exemplo, amor, preocupação, companheirismo, dedicação, motivação e, principalmente, por serem os principais responsáveis pela pessoa que sou hoje. A confiança de vocês em mim é o que me torna forte. Obrigada por não me deixarem desistir.

Ao meu esposo, Israel, por cada abraço e palavra de conforto, pelo incentivo, pelo amor e carinho nos momentos felizes e tristes, por abrir mão de várias coisas apenas para estar ao meu lado. Esta vitória também é sua!

As minhas irmãs, Tailise e Taina, por sempre estarem ao meu lado trazendo alegria.

A toda minha família, que de uma forma ou outra torceram para que eu alcançasse essa vitória.

Ao meu Pastor, Neivar, por cada oração e ajuda nos momentos de dificuldade.

Ao meu professor e orientador Dr. Cícero Célio de Figueiredo, pelo profissionalismo, amizade, paciência, compreensão e por toda contribuição ao meu crescimento pessoal e profissional.

A equipe do Laboratório de Estudos da Matéria Orgânica do Solo, em especial a Helen e a Bruna, pelas conversas, pela companhia e ajuda das atividades laboratoriais.

Aos pesquisadores, estagiários e demais envolvidos da Embrapa Cerrados, pela importante participação e contribuição neste trabalho.

A Universidade de Brasília juntamente com a Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária (FAV), pela oportunidade de realização do curso.

A todos os professores que contribuíram para o enriquecimento do meu conhecimento.

A equipe do famoso Bola Murcha: Thalita, Mariana, Leandro, Daniel, Lara Guedes, Lara Nesralla, Karen, Lucas, Pedro, Guilherme, Jasmim, Igor, Djane, Diego, Cassius, Bárbara, Maíra, Kildery, Erick, e André. Muito obrigada por estarem presentes durante um dos melhores momentos da minha vida. Vocês foram essenciais em me fazer prosseguir.

E a todos aqueles que contribuíram para a realização desse trabalho e que torceram para eu concluir mais essa etapa da minha vida.

Muito obrigada!

“Que darei ao Senhor por todos os seus benefícios para comigo?”

(Salmos 116:12)

ZILS, TAILINE. **Efeito do uso da vinhaça associada à adubação nitrogenada no carbono lábil e microbiano em solo cultivado com cana-de-açúcar no cerrado.** 2015. Monografia (Bacharelado em Agronomia). Universidade de Brasília – UnB.

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito do uso de nitrogênio e vinhaça, de forma individual e associados, no carbono lábil e microbiano do solo. Foi utilizado um experimento localizado na área experimental da Embrapa Cerrados, em Planaltina – DF, em Latossolo Vermelho, cultivado há quatro anos com a cultura da cana-de-açúcar. Foi utilizado o delineamento em blocos ao acaso com três repetições. Os tratamentos foram constituídos por: 1) adubação nitrogenada com 120 kg ha^{-1} de N, utilizando o nitrato de amônio (N); 2) Vinhaça (V), na dose de $150 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$; 3) aplicação associada de adubação nitrogenada e vinhaça (N+V), aplicados na linha de plantio. Foram coletadas amostras na profundidade de 0 a 10 cm do solo e em três épocas: no primeiro dia; aos cinco; e aos nove dias após a aplicação da vinhaça e do nitrogênio. As seguintes frações de carbono no solo foram determinadas: carbono lábil (CL) e carbono da biomassa microbiana (CBM). De maneira geral, o uso da vinhaça elevou os teores de CL e de CBM. No caso do CL o efeito da vinhaça foi maior aos cinco e nove dias após a aplicação da vinhaça, enquanto que para o CBM o efeito foi diminuindo com o passar do tempo, após a aplicação do produto.

Palavras-chave: Biomassa microbiana; cana-de-açúcar; matéria orgânica do solo

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Área experimental de cana-de-açúcar, com plantio da variedade RB867515.	21
Figura 2: Aplicação da vinhaça com auxílio de um regador.	22
Figura 3: Trado holandês utilizado na coleta de solo para compor as amostras.	23
Figura 4: Amostras em tubos de centrífuga enrolados com papel alumínio para evitar fotoxidação do permanganato de potássio.	24
Figura 5: Balões volumétricos de 250 ml com devidas identificações.	24
Figura 6: Diluições da solução mãe, com $0,00060 \text{ mol L}^{-1}$ de KMnO_4	25
Figura 7: Amostras em repouso para decantação dos sedimentos.	26
Figura 8: Passagem do sobrenadante em filtro de passagem lenta.	26
Figura 9: Amostras sendo preparadas para titulação.	27
Figura 10: Carbono da biomassa microbiana do solo cultivado com cana-de-açúcar um dia após aplicação de adubo nitrogenado (N), vinhaça (V) e a associação de adubo nitrogenado com vinhaça (N+V).	28
Figura 11: Carbono da biomassa microbiana do solo cultivado com cana-de-açúcar cinco dias após aplicação de adubo nitrogenado (N), vinhaça (V) e a associação de adubo nitrogenado com vinhaça (N+V).	29
Figura 12: Carbono da biomassa microbiana do solo cultivado com cana-de-açúcar nove dias após aplicação de adubo nitrogenado (N), vinhaça (V) e a associação de adubo nitrogenado com vinhaça (N+V).	30
Figura 13: Dinâmica do carbono da biomassa microbiana do solo cultivado com cana-de-açúcar em três épocas. Coletas 1, 2 e 3 são respectivamente após 1, 5 e 9 dias após a aplicação da vinhaça (V), aplicação de adubo nitrogenado (N) e a associação de adubo nitrogenado com vinhaça (N+V).	31
Figura 14: Carbono lábil do solo cultivado com cana-de-açúcar um dia após aplicação de adubo nitrogenado (N), vinhaça (V) e a associação de adubo nitrogenado com vinhaça (N+V).	32
Figura 15: Carbono lábil do solo cultivado com cana-de-açúcar cinco dias após aplicação de adubo nitrogenado (N), vinhaça (V) e a associação de adubo nitrogenado com vinhaça (N+V).	32

Figura 16: Carbono lábil do solo cultivado com cana-de-açúcar nove dias após aplicação de adubo nitrogenado (N), vinhaça (V) e a associação de adubo nitrogenado com vinhaça (N+V). 33

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	12
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
2.1.	Importância e expansão da cana-de-açúcar para o Cerrado	14
2.2.	Adubação nitrogenada da cana-de-açúcar	15
2.3.	Uso da vinhaça da cana-de-açúcar	17
2.4.	Frações da matéria orgânica do solo influenciadas pela aplicação de vinhaça	19
3.	MATERIAL E MÉTODOS.....	21
3.1.	Descrição do experimento	21
3.2.	Coleta do solo.....	22
3.3.	Procedimentos analíticos	23
3.3.1.	Carbono Lábil do Solo	23
3.3.2.	Carbono da Biomassa Microbiana	25
3.4.	Análises estatísticas	27
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
4.1.	Carbono da Biomassa Microbiana	28
4.2.	Carbono Lábil.....	31
5.	CONCLUSÕES	35
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	36

1. INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) pertence à família Poaceae e é representada por mais de 30 espécies, cultivadas principalmente em regiões tropicais (MENDES et al., 2007; DINI-ANDREOTE et al., 2010). É uma cultura de grande destaque na agricultura brasileira, já que a partir dela são feitos dois produtos indispensáveis à economia mundial, o açúcar e o álcool.

Com a busca por combustíveis menos poluentes aliada à saturação das áreas de cultivo de cana-de-açúcar no Estado de São Paulo, o cultivo e produção desta cultura se expandiu para a região Centro-Oeste, onde predomina o bioma Cerrado, com propriedades físicas que facilitam a mecanização agrícola, mas, sob condições naturais, apresentam propriedades químicas limitantes devido à baixa fertilidade natural, além de elevada acidez (SILVA et al., 2010).

Entre as maiores limitações para se elevar as produtividades da cana-de-açúcar, nas regiões canavieiras do Brasil, destacam-se aquelas relacionadas à fertilidade do solo e à obtenção dos níveis adequados de nutrientes na planta. Dentre as exigências nutricionais da cana-de-açúcar, o nitrogênio é um dos mais limitantes tanto para o desenvolvimento da cultura como na expressão do potencial produtivo dos cultivares plantados em solos brasileiros, como também nos demais países produtores (FRANCO et al., 2010). O nitrogênio tem essa importância por ser parte constituinte de todos os aminoácidos, proteínas e ácidos nucleicos, participando, portanto, de vários processos bioquímicos, direta ou indiretamente na planta.

No solo, o nitrogênio disponível às plantas é suprido pela mineralização da matéria orgânica, pela fixação biológica e adição de fertilizantes nitrogenados. Porém, a cana-de-açúcar muitas vezes não mostra resposta positiva à aplicação de nitrogênio, devido às perdas que ocorrem por lixiviação ou volatilização de nitrogênio, além das perdas gasosas (N_2 , N_2O e NO) que, apesar de representarem quantidades pequenas, são de elevado impacto ambiental. Além disso, fertilizantes nitrogenados possuem atualmente um alto custo, principalmente porque sua síntese e fabricação dependem de energia do petróleo. Diante disso, diversas fontes alternativas de nitrogênio têm sido utilizadas como o uso de adubos verdes e resíduos orgânicos agroindustriais. Uma dessas fontes é a vinhaça que constitui o principal efluente das destilarias do álcool, e tem sua importância como fertilizante por ser rica em matéria orgânica e em outros elementos, principalmente o potássio e o nitrogênio. O uso da vinhaça em culturas como

a cana-de-açúcar é justificado, entre outras funções, por representar uma fonte de nutrientes, principalmente nitrogênio, para evitar a contaminação de cursos d'água pelo uso inadequado desse resíduo, além de atender a alta demanda da cana-de-açúcar por nutrientes.

Apesar de bem consolidado o uso da vinhaça na cultura da cana-de-açúcar, ainda há pouco conhecimento dos efeitos de sua aplicação sobre o carbono lábil e, conseqüentemente, sobre a microbiota do solo, que pode atuar na dinâmica de mineralização-imobilização de nutrientes, principalmente o nitrogênio, e em processos que levam a perda desse nutriente do solo na forma gasosa de N_2O , gás de efeito estufa com grande impacto nas mudanças climáticas globais.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da aplicação de vinhaça e sua associação à adubação nitrogenada no carbono lábil e carbono microbiano do solo cultivado com cana-de-açúcar.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Importância e expansão da cana-de-açúcar para o Cerrado

Originária da região montanhosa da Nova Guiné, no sudoeste do Oceano Pacífico, a cana-de-açúcar chegou ao Brasil em 1532, trazida pelos portugueses. O plantio teve início em São Paulo, e atualmente o Brasil possui o título de maior produtor de cana-de-açúcar, seguido pela Índia e China, além de ser o maior produtor de açúcar e etanol de cana-de-açúcar (CONAB, 2014). A produção de cana-de-açúcar no Brasil ganhou impulso em 1975 com a criação do Programa Nacional do Álcool (Proálcool), pelo qual o governo incentivou a substituição de combustíveis derivados de petróleo por etanol (UNICA, 2012).

Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2014), a área cultivada com cana-de-açúcar, referente à safra 2014/2015, é de aproximadamente nove milhões hectares, sendo o estado de São Paulo responsável por 52% da produção, seguido por Goiás (9,5%), Minas Gerais (8,9%) e Mato Grosso do Sul (7,4%). A estimativa desta safra para a produção total é de 642,1 milhões de toneladas, sendo 582,9 milhões de toneladas referentes à região Centro-Sul e 59,2 milhões de toneladas à região Norte-Nordeste. A produção total teve uma queda de 2,5% em relação à safra anterior (2013/2014), tal fato está diretamente ligado à queda na produtividade, já que houve um aumento da área plantada.

Desde o período colonial, a cana-de-açúcar é a cultura mais amplamente desenvolvida no Brasil. Do século XVI ao século XVIII, esta atividade tinha absoluta preponderância sobre todas as outras atividades (TOLMASQUIM, 2004). Até então concentrada no nordeste brasileiro devido à tradição dos grandes engenhos desde o período colonial, a partir da década de 1970, a cultura da cana-de-açúcar começou a se expandir para o Centro-Sul do país, especialmente para o estado de São Paulo, com a formação de grandes complexos industriais, graças a subsídios do Estado e ao apoio de instituições, como IAA – Instituto do Açúcar e do Álcool. Com uma nova crise no final dos anos de 1980, relacionada à nova ordem mundial, houve a desregulamentação do setor sucroalcooleiro, com a extinção de instituições públicas reguladoras, o fim dos subsídios do governo, e em 1991, a extinção do Proálcool.

A partir daí, houve uma nova expansão da cultura. Desta vez, para a região Centro-Oeste do Brasil, onde se encontra grande parte do bioma Cerrado, um dos 34

“hotspots” de biodiversidade do planeta (MYERS et al., 2000). Tal expansão se intensificou ainda mais no início do presente século, pela busca por combustíveis renováveis que sejam menos agressivos ao meio ambiente, fazendo da cana um produto de importância global.

O Cerrado representa aproximadamente 24% do território nacional (IBGE, 2004) e concentra um terço da biodiversidade nacional. É composto por diferentes tipos de vegetação, em decorrência das diversidades do solo, topografia e variações climáticas (SILVA et al., 2008). Os solos, devido ao material de origem e ao elevado grau de intemperismo, geralmente, apresentam cor vermelha ou vermelho amarela, são profundos, porosos e bem drenados, conseqüentemente intensamente lixiviados (OLIVEIRA et al., 2004). Além disso, possuem baixa fertilidade natural e são ácidos. O clima se caracteriza por forte estacionalidade, onde há uma estação chuvosa, no período de outubro a abril, e uma estação seca, de maio a setembro.

Apesar das limitações dos solos do Cerrado, a produção agrícola nessa região foi viabilizada através da utilização de técnicas de manejo do solo como a aplicação de fertilizantes, uso de corretivos e irrigação, e também a introdução de novas cultivares adaptadas ao clima e altitudes presentes nesse bioma (LOPES; DAHER, 2008).

A utilização do etanol como combustível automotivo tem sido vista como importante alternativa à gasolina e ao diesel, cujas fontes de recursos são esgotáveis e, além disso, os níveis de emissões de CO₂ são mais elevados. A produção de veículos *flex – etanol e gasolina*, iniciada em 2003, já representa mais de 90% do total de veículos licenciados no Brasil (SOUZA; MACEDO, 2010).

Um dos aspectos determinantes no favorecimento da expansão para o Cerrado foi a saturação de áreas cultivadas com cana no Estado de São Paulo, aliada à moderna tecnologia de maquinários e insumos agrícolas. Entre outros aspectos, pode-se destacar a topografia bastante plana, excelente para a mecanização de extensas áreas (FERREIRA et al., 2013), as extensas faixas de terras, boa infraestrutura viária e proximidade de mercados consumidores, propiciando uma nova dinâmica no uso e ocupação do solo nesse bioma.

2.2. Adubação nitrogenada da cana-de-açúcar

O nitrogênio (N), em geral, é quantitativamente o nutriente mais importante para o crescimento vegetal. Ele é, depois do potássio, o nutriente mineral acumulado em maior quantidade na planta de cana-de-açúcar. Para toda a planta, a exigência em N atinge 2,1

a 2,4 kg por tonelada de colmo (CANTARELLA; ROSSETO, 2010). Na cana-de-açúcar, o N é requerido em grandes quantidades para a produção de biomassa. Ele tem essa importância na nutrição e fisiologia desta cultura, pois, é o constituinte de proteínas e ácidos nucleicos e participa diretamente ou indiretamente de processos bioquímicos e enzimáticos (OLIVEIRA et al., 2012). O N absorvido aumenta a atividade meristemática da parte aérea, resultando em maior perfilhamento e índice de área foliar (IAF), o que eleva a eficiência do uso da radiação solar, medida como taxa de fixação de gás carbônico, aumentando, portanto, o acúmulo de matéria seca.

A produtividade da cana-de-açúcar também está relacionada diretamente à adubação nitrogenada, uma vez que o N é um dos nutrientes limitantes à produtividade e longevidade das soqueiras (VITTI, 2003). Se não for feita a adubação nitrogenada das soqueiras em determinado ano, a produtividade naquela safra não será afetada de forma marcante, mas o efeito ocorrerá nos anos seguintes. Atualmente, a adubação nitrogenada no plantio, quando recomendada, é feita em pequenas doses (30 kg ha⁻¹). Já nas soqueiras, a aplicação se faz necessária, apresentando ampla variação de acordo com o manejo e tipo de solo (BODDEY et al., 2001; URQUIAGA et al., 2003).

A maior parte do nitrogênio que se encontra no solo está em forma orgânica, não disponível pelas plantas, e muito pouco na forma inorgânica (amônio – NH₄⁺ e nitrato – NO₃⁻), passível de absorção pelas plantas. No solo, os microrganismos heterotróficos, através da mineralização da matéria orgânica, transformam o nitrogênio orgânico em amônia (NH₃) que em reação com água forma o NH₄⁺ (amonificação). O NO₃⁻ é formado através da oxidação do NH₄⁺ por bactérias que atuam em condições favoráveis de solos drenados, pH neutro e outros fatores favoráveis à nitrificação. As bactérias do gênero *Nitrossomonas* transformam o amônio em nitrito (NO₂⁻) e posteriormente este é oxidado a nitrato, com a atividade das bactérias do gênero *Nitrobacter* (SERRANA, 2000).

Os fertilizantes nitrogenados aplicados ao solo sofrem uma série de transformações químicas e microbianas, que podem resultar em perdas para os vegetais. Nesse contexto, considerando o custo dos adubos nitrogenados, é fundamental o desenvolvimento de manejos adequados da adubação nitrogenada que visem ao melhor aproveitamento do N pela cultura da cana-de-açúcar (FRANCO et al., 2008). O nitrato, por ter carga negativa, é afastado da superfície das partículas do solo, permanecendo na solução, sendo assim muito móvel e mais susceptível à lixiviação (RAIJ, 1991). O NH₄⁺

pode ser convertido a amônia (NH_3) e esta ser volatilizada. Pode ocorrer a desnitrificação, em que o nitrito (NO_2^-) é reduzido a nitrogênio molecular (N_2) ou a óxido nitroso (N_2O). O NH_4^+ pode ser adsorvido nos minerais de argila, se condensar com a matéria orgânica (húmus) e formar complexos de quinonas (NH_2). Estes processos indisponibilizam o nitrogênio para consumo dos microrganismos mineralizadores (PAUL; CLARK, 1989).

Atualmente, a uréia é a fonte nitrogenada mais utilizada na agricultura brasileira, o que se explica pelo seu menor custo em relação aos demais fertilizantes nitrogenados sólidos. No entanto, quando aplicada no solo ou sobre a palhada, poderá levar a grandes perdas de N por volatilização da amônia, diminuindo muito sua eficiência agrônômica. Segundo Cantarella et al. (2008), estas perdas, na cana-de-açúcar, podem variar de 16 a 44%. Por isso, cuidados devem ser tomados como a sua incorporação ao solo para se evitar maiores perdas de nitrogênio do solo.

Além disso, no caso da adubação nitrogenada é necessário o uso de fontes de N que apresentem menores perdas por volatilização, pois a presença da palha dificulta a incorporação do adubo ao solo (FRANCO et al., 2007; ROCHETTE et al., 2009). Trabalhos realizados nos últimos anos com diferentes fontes de N têm mostrado perdas reduzidas por volatilização de NH_3 mediante o uso de fontes não amídicas, como o sulfato, nitrato ou cloreto de amônio, levando a melhores resultados de produtividade da cultura (COSTA et al., 2003; VITTI et al., 2007; VIEIRA, 2009).

2.3. Uso da vinhaça da cana-de-açúcar

A produção de etanol estimada para a safra 2014/15 é de 28,66 bilhões de litros, 2,73% a mais do que a safra anterior (CONAB, 2014). Um potencial problema desse aumento é a produção de grande volume de resíduos. A vinhaça, também conhecida como vinhoto, restilo ou calda de destilaria, é o principal efluente das destilarias de álcool, sendo produzidos, em média, 13 litros de vinhaça para cada litro de álcool.

A vinhaça é caracterizada como um resíduo de alto poder poluente, mas também possui alto poder fertilizante. O poder poluente decorre do seu baixo pH, elevada corrosividade e altos índices de demanda bioquímica de oxigênio, além de alta temperatura na saída dos destiladores, sendo considerada nociva à fauna, flora, microfauna e microflora das águas doces. Já o seu poder fertilizante se destaca pelos altos valores de matéria orgânica e de potássio, seguindo-se do cálcio e sulfato (teores razoáveis), do nitrogênio, fósforo e magnésio (baixos teores). Em relação aos

micronutrientes, o ferro aparece em maior concentração, seguido do manganês, cobre e zinco, em pequenas concentrações (FREIRE; CORTEZ, 2000).

Até o início da década de 1980, a vinhaça possuía emprego e destino aleatórios, sendo notórios e disseminados os desastres ambientais causados quando era lançada inadvertidamente nos rios (MORO et al., 2011). Com o reconhecimento destes problemas ambientais e com a conscientização dos usineiros quanto aos pontos positivos do uso controlado de vinhaça, ela passou a ser reutilizada na adubação dos canaviais. O uso da vinhaça em áreas agrícolas acarreta benefícios tanto do ponto de vista agrônômico quanto do ponto de vista econômico e social (GIACHINI; FERRAZ, 2009). O seu uso como fertilizante pode substituir em grande parte os nutrientes da adubação mineral, gerando assim uma economia ao produtor, já que os fertilizantes minerais possuem elevados custos.

Alguns dos benefícios da aplicação de vinhaça em doses adequadas são: melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo; elevação do pH; aumento da capacidade de troca catiônica (CTC); aumento no poder de retenção de água (GLÓRIA; ORLANDO FILHO, 1983); aumento da matéria orgânica bem como o aumento da população e atividade microbiana do solo; aumento da produtividade da cana (MOREIRA; GOLDEMBERG, 1999); melhoria nas condições gerais de fertilidade do solo. Além disso, a aplicação da vinhaça também pode ocasionar reduções na diversidade genética de grupos fúngicos (GUMIERE, 2012) e de grupos de bactérias (ALVES, 2015). Entretanto, se aplicada em altas doses, pode acarretar efeitos indesejáveis como o comprometimento da cana para a produção de açúcar, salinização do solo e poluição do lençol freático (SILVA et al., 2007).

As quantidades aplicadas de vinhaça devem ser definidas de acordo com as características de cada solo, não ultrapassando sua capacidade de troca catiônica, para assim não desbalancear os elementos minerais (SILVA et al., 2006). Existem diversos métodos para aplicação de vinhaça em canaviais, via fertirrigação; os mais utilizados são: sulcos de infiltração, com canais principais que margeiam os talhões e, a partir destes canais, o material atinge os sulcos de irrigação abertos nas entrelinhas do canavial; caminhões-tanque, que lançam a vinhaça por meio de bombas ou por gravidade através de um sistema de vazão; aspersão convencional, através de moto-bombas e aspersores; aspersão com canhão hidráulico, no qual a vinhaça é lançada por meio de um aspersor setorial tipo canhão, também acionado por moto-bomba.

2.4. Frações da matéria orgânica do solo influenciadas pela aplicação de vinhaça

A matéria orgânica do solo (MOS) é composta por diferentes frações em diferentes estágios de decomposição, compostos humificados e materiais carbonizados, associados ou não à fração mineral, além dos organismos vivos como raízes e os constituintes da fauna edáfica (ROSCOE; MACHADO, 2002). É considerada um dos indicadores mais eficiente da qualidade do solo, pois sua interação com diversos componentes exerce efeito direto na retenção de água no solo, formação de agregados, densidade do solo, pH, capacidade tampão, capacidade de troca catiônica, mineralização, infiltração e retenção de água, aeração, atividade microbiana e sorção de pesticidas e outros agroquímicos (ABBRUZZINI, 2011). Nos solos tropicais altamente intemperizados, a MOS tem um importante papel na produtividade, pois é a principal responsável pela reserva de nutrientes como nitrogênio, fósforo, enxofre, cálcio, magnésio, potássio e sódio (ZECH et al., 1997).

A matéria orgânica também é considerada o maior reservatório de carbono da superfície terrestre, sendo composta por 48 a 58% deste elemento. O carbono armazenado no solo, em termos globais, representa mais de três vezes a quantidade de carbono presente na atmosfera (LAL, 2008). Ele pode estar na forma orgânica e inorgânica e pode ser dividido em frações mais lábeis e mais estáveis.

A quantidade e qualidade do carbono orgânico do solo (COS) tem sido sugerida como fator muito importante que afeta diretamente a dinâmica de N no solo (HART et al., 1994) e a retenção desse elemento no ecossistema (ABER et al., 1998). O nitrogênio é considerado um elemento importante na dinâmica da MOS por sua influência nos processos de mineralização, decomposição e estabilização, os quais são afetados pelos diferentes manejos adotados. As taxas de decomposição dos resíduos no solo são governadas pela proporção entre C e N nos tecidos, conhecida como relação C/N (ABBRUZZINI, 2011). Portanto, a dinâmica do N é intimamente associada à dinâmica do C no solo.

A matéria orgânica é considerada um componente complexo e heterogêneo do solo. Para reduzir essa heterogeneidade, diversas técnicas de fracionamento físico e químico têm sido utilizadas para separar e isolar frações da matéria orgânica e quantificar o C e N orgânico presente nos diferentes compartimentos. Alguns destes compartimentos são o carbono lábil (CL) e o carbono da biomassa microbiana (CBM).

O CL é aquele constituinte de compostos orgânicos mais facilmente mineralizado pelos microrganismos do solo, que tem sido avaliado por procedimentos colorimétricos baseados na oxidação do C orgânico com permanganato de potássio (KMnO₄). Blair et al. (1995) consideraram o CL como o C oxidável por uma solução de KMnO₄ 0,333 mol L⁻¹. Já Shang e Tiessen (1997) propuseram a concentração de 0,033 mol L⁻¹, considerada suficiente para oxidar o CL em solos intemperizados. Entretanto, o método de oxidação pode requerer ajustes conforme diferenças de climas e tipos de solos.

A biomassa microbiana é considerada a fração viva da MOS, sendo constituída por fungos, bactérias e actinomicetos que atuam em processos como intemperização das rochas e ciclagem de nutrientes (REIS JUNIOR; MENDES, 2007), além de atuar como um catalisador das importantes transformações químicas no solo e constituir um reservatório de nutrientes disponíveis às plantas (CUNHA et al., 2011). A biomassa microbiana contém, em média, de 1 a 4% do C orgânico do solo (JENKINSON; POLWILSON, 1976), e é influenciada por diversos fatores, como variações de umidade e temperatura, aeração do solo, disponibilidade de nutrientes e pelos resíduos orgânicos.

Diversos estudos mostram que a vinhaça possui grande influência na matéria orgânica do solo. De acordo com Alves (2015), os aumentos no crescimento e metabolismo microbiano foram decorrentes do aumento da matéria orgânica e de outros nutrientes, adicionados ao solo pela vinhaça. Zolin et al. (2011) relataram que a aplicação de vinhaça ao longo dos anos aumentou os teores de MOS, a densidade do solo e a porosidade total e, conseqüentemente, melhorou a condição física do solo.

A atuação da vinhaça na microbiota do solo se dá de diferentes formas. Reis e Rodella (2002), avaliando a aplicação de diversos materiais orgânicos em um Cambissolo sob condições controladas, observaram que a vinhaça foi o material que apresentou maiores os valores de carbono mineralizado, que aliados a uma elevada velocidade de degradação e rápida mineralização do carbono orgânico da vinhaça criou um ambiente redutor responsável pela diminuição da acidez. Esses autores concluíram que a redução da acidez do solo foi influenciada pela atividade microbiana apenas no tratamento com vinhaça.

De acordo com diversos autores como Neve e Hofman (2000), Trinsoutrot et al. (2000) e Tejada e Gonzalez (2003a, 2003b, 2004), a biomassa microbiana responde rapidamente a adições de C disponíveis, aumentando a sua atividade no solo.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Descrição do experimento

O estudo foi realizado em uma área experimental da Embrapa Cerrados, localizada em Planaltina – DF, latitude de 15° 36' S, longitude de 47° 42' W e altitude de 1.014 m. O clima é do tipo Cwa segundo a classificação de Köppen, com precipitação anual variando de 800 a 2000 mm e temperatura de 22 °C a 25 °C. A vegetação original é dominada pela fitofisionomia Cerradão e o solo é classificado como Latossolo Vermelho (EMBRAPA, 2006).

A área experimental é cultivada com cana-de-açúcar (Figura 1), instalada desde 2010, onde se avaliou a variedade RB867515, de ciclo médio, muito utilizada em regiões do Cerrado brasileiro, por apresentar ótima adaptabilidade e estabilidade de produção em solos de baixa fertilidade natural, além de ter boa tolerância à seca (PGMCA-UFV, 1998).



Figura 1: Área experimental de cana-de-açúcar, com plantio da variedade RB867515.

Foi utilizado o delineamento em blocos ao acaso com três repetições. Os tratamentos foram constituídos por: 1) adubação nitrogenada com 120 kg ha⁻¹ de N, utilizando o nitrato de amônio (N); 2) Vinhaça (V), na dose de 150 m³ ha⁻¹; 3) aplicação

associada de adubação nitrogenada e vinhaça (N + V), aplicados na linha de plantio. As parcelas experimentais apresentavam 6 m² (2 m x 3 m).

As aplicações de nitrogênio e vinhaça (Figura 2) foram realizadas no dia 19 de novembro de 2014, nas linhas de plantio. Utilizou-se o nitrato de amônio como fonte de N, a fim de reduzir perdas por volatilização. Foram aplicados 120 kg ha⁻¹ de N e 150 m³ ha⁻¹ de vinhaça. No tratamento N+V, aplicou-se o N e, em seguida, a vinhaça, ambos no mesmo dia.



Figura 2: Aplicação da vinhaça com auxílio de um regador.

3.2. Coleta do solo

As amostras de solo foram coletadas na profundidade de 0 a 10 cm, com o auxílio de um trado holandês (Figura 3), sendo uma amostra composta para cada parcela do experimento, em três épocas de amostragem. A primeira coleta foi realizada em 20 de novembro de 2014, no primeiro dia após a aplicação do N e da vinhaça, a segunda em 24 de novembro de 2014, no quinto dia após a aplicação, e a terceira em 28 de novembro de 2014, no nono dia após a aplicação.



Figura 3: Trado holandês utilizado na coleta de solo para compor as amostras.

Para compor cada amostra composta, foram coletadas quatro sub-amostras, sendo duas na linha de plantio e duas nas entrelinhas. As amostras foram homogeneizadas e acondicionadas em sacos plásticos identificados. Posteriormente, as amostras foram divididas em duas porções. A primeira foi acondicionada em geladeira para análises microbiológicas. A segunda foi seca ao ar para a determinação do carbono lábil.

3.3. Procedimentos analíticos

As análises realizadas foram: determinação do carbono lábil do solo e carbono da biomassa microbiana, conforme descrição abaixo.

3.3.1. Carbono Lábil do Solo

O procedimento foi realizado segundo Blair et al. (1995), adaptado por Shang e Tiessen (1997), onde o carbono lábil (CL) é considerado o carbono oxidável pela solução de permanganato de potássio (KMnO_4) $0,033 \text{ mol L}^{-1}$. Primeiro pesou-se 1 grama de terra fina seca ao ar (TFSA), passado na peneira com malha de 0,5 mm, que foi transferido para tubos de centrífuga de 50 mL e enrolados com papel alumínio para evitar a fotoxidação do permanganato (Figura 4).



Figura 4: Amostras em tubos de centrífuga enrolados com papel alumínio para evitar fotoxidação do permanganato de potássio.

Foram adicionados 25 mL da solução de KMnO_4 $0,033 \text{ mol L}^{-1}$ com auxílio de pipeta graduada, agitados por 1 hora a 60 rpm em agitador, e em seguida centrifugados por 5 minutos a 7 rpm. Após centrifugação, 1 mL do sobrenadante foi pipetado em balões volumétricos de 250 mL (Figura 5), completando seu volume com água destilada. Após isso, foi feita a leitura em espectrofotômetro em comprimento de onda de 565 nm.



Figura 5: Balões volumétricos de 250 ml com devidas identificações.

Foi feita uma curva padrão para determinação do CL, a partir de uma solução contendo $0,00060 \text{ mol L}^{-1}$ de KMnO_4 . Para cada ponto da curva foram pipetadas em 5 balões de 100 mL quantidades correspondentes à: 13,3; 16,67; 18,67; 20,0; e 22,0 mL,

completando o volume com água destilada (Figura 6). A mudança na concentração de KMnO_4 foi usada para estimar a quantidade de carbono oxidado.



Figura 6: Diluições da solução mãe, com $0,00060 \text{ mol L}^{-1}$ de KMnO_4 .

3.3.2. *Carbono da Biomassa Microbiana*

A determinação do carbono da biomassa microbiana (CBM) foi realizada pelo método de irradiação-extração, proposto por Islam e Weil (1998). Primeiro as amostras foram retiradas da refrigeração, passadas em peneira de 2 mm e deixadas em temperatura ambiente por 12 horas. Pesou-se seis sub-amostras de 20 g de solo, sendo, posteriormente, três irradiadas e três não irradiadas. As amostras foram irradiadas em forno micro-ondas por um período de 137 segundos. O tempo de irradiação foi calculado em função da potência real do forno micro-ondas.

A extração foi realizada com 80 mL de sulfato de potássio $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ por amostra. As amostras foram agitadas em agitador horizontal por 30 minutos a 180 rpm. Após a agitação, foram deixadas em repouso por mais 30 minutos para decantação dos sedimentos (Figura 7). O sobrenadante foi passado em filtro de passagem lenta ($8 \mu\text{m}$) (Figura 8).

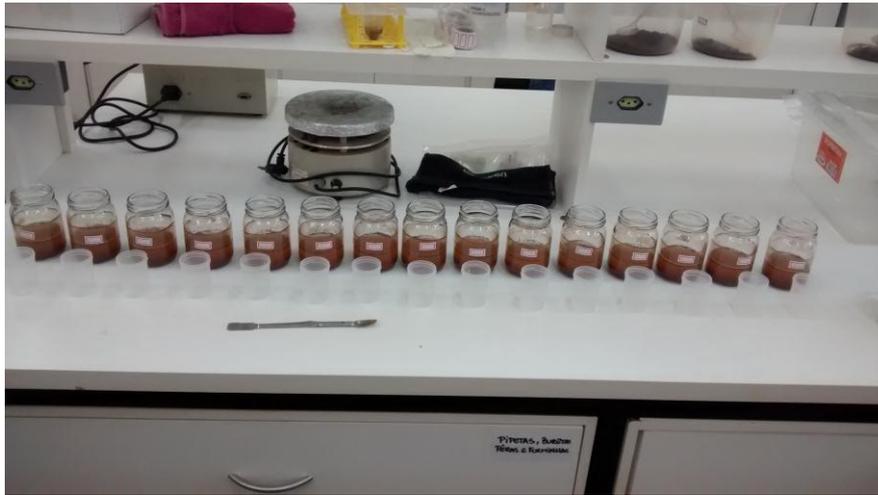


Figura 7: Amostras em repouso para decantação dos sedimentos.

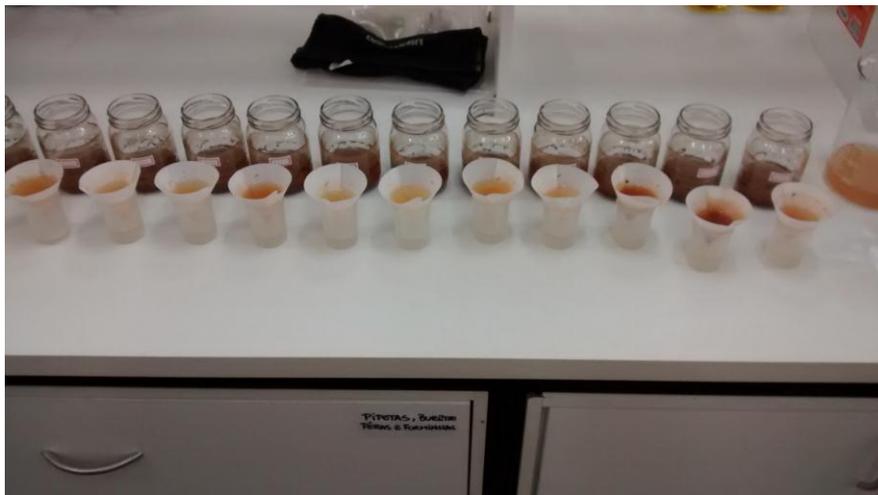


Figura 8: Passagem do sobrenadante em filtro de passagem lenta.

Para a determinação do CBM foi utilizada uma alíquota de 8 mL do extrato filtrado. Adicionaram-se 2 mL de dicromato de potássio $0,066 \text{ mol L}^{-1}$ e 10 mL de ácido sulfúrico concentrado. Após agitação manual, as amostras ficaram em repouso por mais 30 minutos para esfriar e adicionaram-se 50 mL de água destilada. Como indicador foi utilizado o ferroin (1,485 g de orto-fenantrolina + 0,695 g de sulfato ferroso em 100 mL de água) (Figura 9). Logo após realizou-se a titulação, com sulfato ferroso amoniacal $0,033 \text{ mol L}^{-1}$.

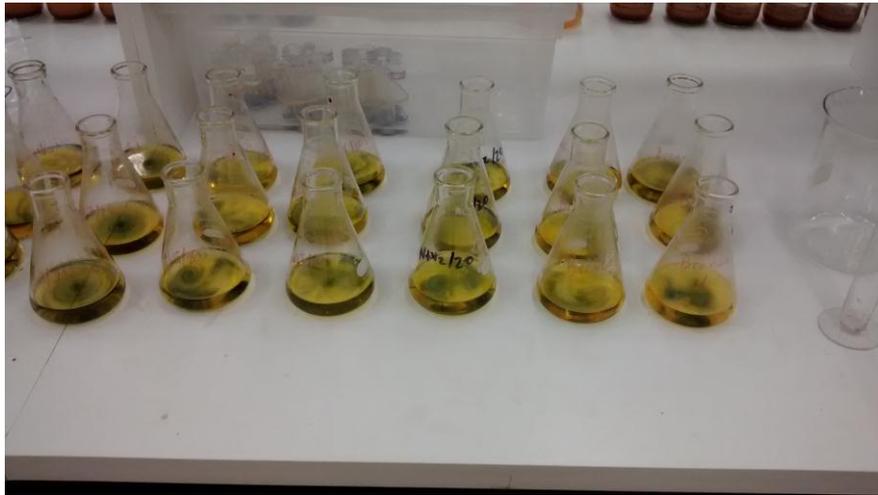


Figura 9: Amostras sendo preparadas para titulação.

O carbono da biomassa microbiana foi calculado pela fórmula: $CBM = (CI - CNI)/Kec$, onde CI e CNI representam, respectivamente, o total de carbono orgânico liberado das sub-amostras irradiadas e não irradiadas; e o Kec o fator que representa a quantidade de carbono proveniente da biomassa microbiana. Os valores de Kec citados na literatura são muito variáveis. Neste estudo utilizou-se o $Kec = 0,33$ (MENDONÇA; MATOS, 2005).

3.4. Análises estatísticas

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias, em cada época, foram comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Carbono da Biomassa Microbiana

Nas figuras 10, 11 e 12 são apresentados os teores de carbono da biomassa microbiana (CBM) após aplicação de vinhaça e adubo nitrogenado, nas três épocas de coleta. Independente da época de coleta, a aplicação de vinhaça (individualmente) resultou em maiores teores de CBM, comparada a aplicação de adubo nitrogenado (N). Barbosa (2010), estudando os efeitos dos sistemas orgânico e convencional (com e sem queima da palhada) de produção de cana-de-açúcar sobre indicadores biológicos de qualidade de um Latossolo Vermelho, encontrou valores de CBM, na profundidade de 0-10 cm, de 97,2; 98,02 e 208,6 mg kg⁻¹ de solo nos sistemas de cana crua, cana queimada e cana orgânica, respectivamente. Em comparação com os resultados deste trabalho, pode-se perceber o aumento no teor de CBM (353,13; 301,42 e 230,31 mg kg⁻¹ de solo, respectivamente, no primeiro, no quinto e no nono dia após a aplicação) no tratamento que recebeu apenas a vinhaça.

Um dia após a aplicação dos tratamentos (Figura 10), a biomassa microbiana respondeu a aplicação de vinhaça, cujo teor de CBM foi quase o dobro (1,92 vezes) do que aquele apresentado pela aplicação de adubo nitrogenado (N) e 1,63 vezes maior que a aplicação associada (N+V). Esses resultados demonstram a elevada sensibilidade da biomassa microbiana à aplicação de resíduos orgânicos ao solo. Demonstram ainda que a vinhaça é uma fonte de carbono de fácil mineralização que estimula o crescimento microbiano do solo em um curto espaço de tempo após a aplicação da mesma no solo.



Figura 10: Carbono da biomassa microbiana do solo cultivado com cana-de-açúcar um dia após aplicação de adubo nitrogenado (N), vinhaça (V) e a associação de adubo nitrogenado com vinhaça (N+V).

Segundo Reis e Rodella (2002), a elevação do pH para os tratamentos com aplicação de vinhaça está relacionada com a atividade microbiana, expressa através da liberação de CO₂. A atividade microbiana promovida pela aplicação da vinhaça favorece também a formação de agregados no solo, ou seja, os fungos, com o desenvolvimento de seus micélios, e as bactérias, com a produção de substâncias gomosas. Casarini et al. (1987) observaram, em estudo sobre os efeitos da irrigação com vinhaça sobre as populações microbianas em um Latossolo Vermelho distrófico, a predominância de fungos nos primeiros quinze dias após a aplicação de vinhaça no solo. Os fungos representaram entre 70 e 80% da biomassa microbiana da maioria dos solos (SIQUEIRA; FRANCO, 1988).

Na segunda coleta, cinco dias após a aplicação dos tratamentos, a vinhaça continuou estimulando o crescimento da biomassa microbiana do solo, com valores muito próximos àqueles da primeira coleta (Figura 11). Da mesma forma, a aplicação de adubo nitrogenado (N), assim como na primeira coleta, não serviu de estímulo para a microbiota do solo, apresentando valores praticamente iguais à coleta anterior. O efeito do adubo nitrogenado só foi verificado quando houve a presença de vinhaça (N+V), cuja associação elevou significativamente ($p \geq 0,05$) os teores de CBM, com valores semelhantes aos da vinhaça aplicada individualmente.



Figura 11: Carbono da biomassa microbiana do solo cultivado com cana-de-açúcar cinco dias após aplicação de adubo nitrogenado (N), vinhaça (V) e a associação de adubo nitrogenado com vinhaça (N+V).

Alves (2015) estudou os efeitos da aplicação de duas vinhaças provenientes de usinas destilatórias diferentes e outra derivada de uma destilação em laboratório sobre a fauna e microbiota do solo. O autor observou que o crescimento e metabolismo

microbiano aumentaram na presença de ambas as vinhaças, assim como também houve incremento na colonização dos fungos micorrízicos arbusculares nas raízes, em um Latossolo Vermelho-Amarelo. Sugeriu, contudo, que estes aumentos foram decorrentes do aumento da matéria orgânica e de outros nutrientes, adicionados ao solo pelas vinhaças.

Segundo Yancheng et al. (2009), as populações de microrganismos, bactérias em geral, e actinomicetos, em solo cultivado com cana-de-açúcar adubada com diferentes resíduos orgânicos, foram maiores quando solos foram tratados com vinhaça e torta de filtro em comparação com outros resíduos, o que implica uma melhoria na qualidade biológica do solo quando estes resíduos são utilizados.

Aos nove dias após aplicação da vinhaça e do adubo nitrogenado, verificou-se uma redução da biomassa microbiana em todos os tratamentos (Figura 12). Em relação à coleta anterior, verifica-se que o efeito combinado da vinhaça e do adubo nitrogenado (N+V) foi reduzido e se assemelhou ao efeito do adubo nitrogenado (N).

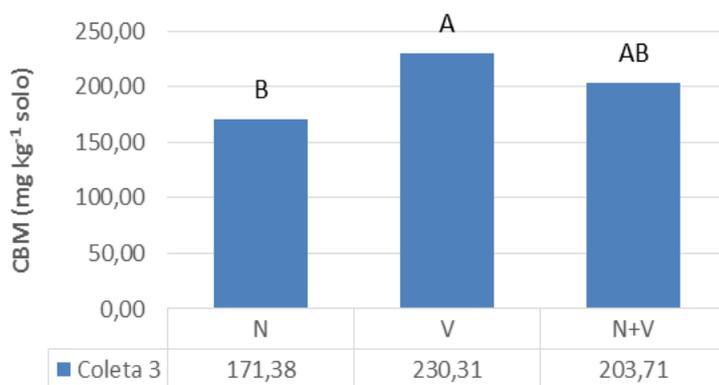


Figura 12: Carbono da biomassa microbiana do solo cultivado com cana-de-açúcar nove dias após aplicação de adubo nitrogenado (N), vinhaça (V) e a associação de adubo nitrogenado com vinhaça (N+V).

Alves (2015) também concluiu que os aumentos do CBM, promovidos pela vinhaça nos primeiros dias após a aplicação, diminuíram ao longo do tempo. Gómez et al. (2009) observaram que, imediatamente após a adição de vinhaça no solo, inicia-se um intenso ciclo respiratório e consumo da matéria orgânica lábil, o que tende a se estabilizar devido às fontes de carbono remanescentes serem mais complexas.

Na figura 13 é apresentada a dinâmica do carbono da biomassa microbiana do solo nas três épocas de coleta (um, cinco e nove dias após a aplicação da vinhaça e do

adubo nitrogenado). Pode-se observar que na adubação nitrogenada individualmente, os valores de CBM se mantiveram praticamente constante no período avaliado. Na vinhaça, os maiores valores de CBM foram observados um dia após a sua aplicação, sendo esses valores diminuídos ao longo do tempo. Já na associação de nitrogênio e vinhaça, houve um pico nos valores de CBM aos cinco dias após a aplicação, com diminuição na coleta seguinte.

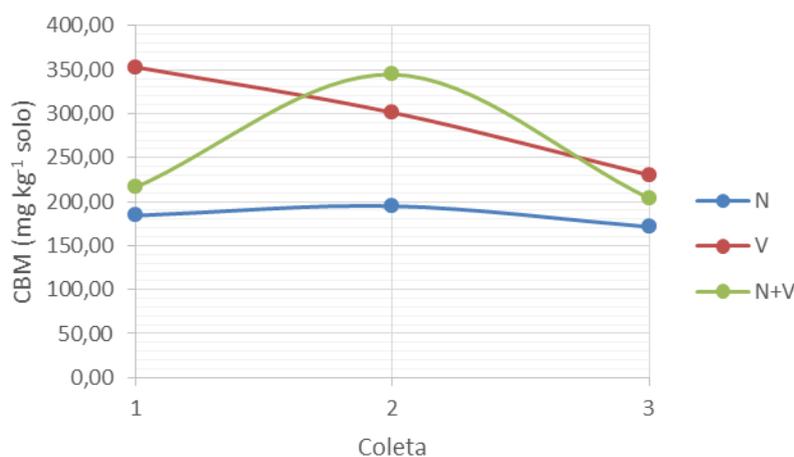


Figura 13: Dinâmica do carbono da biomassa microbiana do solo cultivado com cana-de-açúcar em três épocas. Coletas 1, 2 e 3 são respectivamente após 1, 5 e 9 dias após a aplicação da vinhaça (V), aplicação de adubo nitrogenado (N) e a associação de adubo nitrogenado com vinhaça (N+V).

Apesar do pouco efeito da adubação nitrogenada aplicada individualmente, de acordo com Vance et al. (2001) e Kanchickerimath e Singh (2001), a aplicação de doses balanceadas de nitrogênio altera o carbono da biomassa microbiana do solo, enquanto que doses desbalanceadas (insuficientes ou excessivas) não afetam ou diminuem o carbono da biomassa microbiana do solo. Portanto, existem relatos em outros estudos de que a adição de fertilizantes nitrogenados na superfície do solo afeta a biomassa microbiana do solo e sua atividade, não apenas nas camadas superficiais, mas também nas camadas mais profundas (ZAMAN et al., 2002).

4.2. Carbono Lábil

Os teores de carbono lábil (CL) foram influenciados pela aplicação de vinhaça e adubo nitrogenado, aplicados individualmente ou associados, coletados aos cinco e aos nove dias após aplicação dos produtos (Figuras 15 e 16). Na primeira coleta, entretanto,

um dia após a aplicação não houve efeito dos produtos sobre os teores de CL (Figura 14).

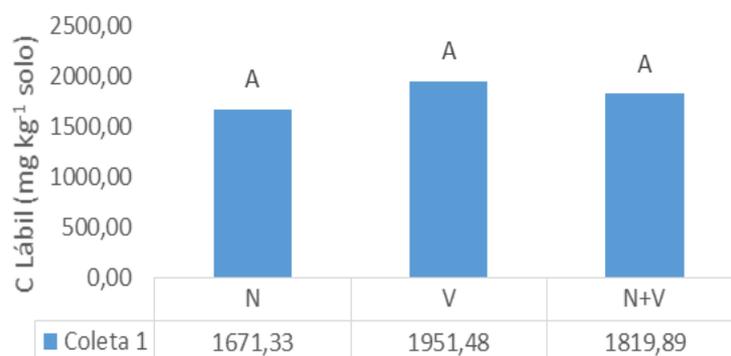


Figura 14: Carbono lábil do solo cultivado com cana-de-açúcar um dia após aplicação de adubo nitrogenado (N), vinhaça (V) e a associação de adubo nitrogenado com vinhaça (N+V).

Aos cinco dias após a aplicação dos produtos verificou-se que os teores de CL foram superiores nos tratamentos que receberam a vinhaça (V e N+V). Isso demonstra que esse resíduo apresenta em sua constituição carbono de fácil decomposição, elevando os teores de CL em curto período, tendo como consequência o aumento da microbiota do solo.

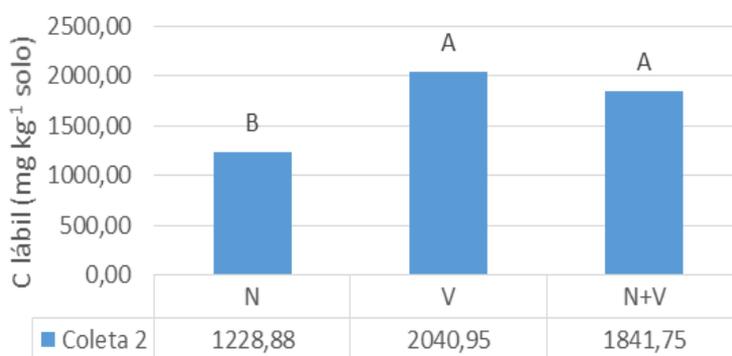


Figura 15: Carbono lábil do solo cultivado com cana-de-açúcar cinco dias após aplicação de adubo nitrogenado (N), vinhaça (V) e a associação de adubo nitrogenado com vinhaça (N+V).

Zolin et al. (2011) verificaram que já a partir da primeira aplicação de vinhaça, os teores de carbono orgânico tenderam a aumentar com o tempo de aplicação da

vinhaça. Canellas et al. (2003) também perceberam alterações químicas e melhoria na fertilidade e qualidade da matéria orgânica no solo com a adição de matéria orgânica na lavoura de cana-de-açúcar, por longo prazo. Nesse trabalho de Canellas et al. (2003), o aumento do teor de carbono orgânico influenciou positivamente a densidade, a CTC e a porosidade total do solo.

Na coleta realizada aos nove dias após a aplicação da vinhaça (Figura 16), verificou-se uma redução do efeito da vinhaça e um aumento da influência do adubo nitrogenado sobre o acúmulo de CL no solo.

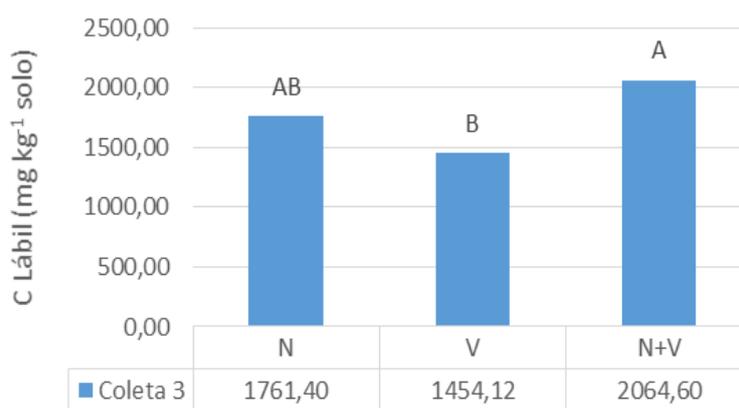


Figura 16: Carbono lábil do solo cultivado com cana-de-açúcar nove dias após aplicação de adubo nitrogenado (N), vinhaça (V) e a associação de adubo nitrogenado com vinhaça (N+V).

Reis e Rodella (2002) incubaram amostras de um Cambissolo com o objetivo de relacionar a cinética de degradação de materiais orgânicos com as alterações na acidez do solo. A vinhaça foi o material que apresentou os maiores valores de carbono mineralizado aliados a uma elevada velocidade de degradação. Ainda de acordo com esses autores, a rápida mineralização do carbono orgânico da vinhaça pode criar um ambiente redutor responsável pela diminuição da acidez, influenciada também pela atividade microbiana.

Zani et al. (2014) avaliaram as mudanças nos estoques de C do solo após a mudança do manejo, com ou sem aplicação de vinhaça, em produção de cana no Sudeste do Brasil. Os resultados mostraram um aumento de 8,3% e 10,3% no estoque de C orgânico nas áreas com aplicação de vinhaça a 1 m e 0,3 m de profundidade do solo, respectivamente.

Além de ter efeito sobre o carbono lábil e microbiano do solo, o uso da vinhaça em áreas agrícolas, especialmente em lavoura de cana, traz benefícios indiscutíveis tanto do ponto de vista agrônomo quanto econômico e social (GIACHINI; FERRAZ, 2009). Barros et al. (2010) observaram, durante 10 anos, melhoria da disponibilidade dos macronutrientes em decorrência do uso da vinhaça. Vasconcelos et al. (2010) também observaram aumento do carbono orgânico total do solo e melhoria das propriedades físicas do solo, com uso da vinhaça.

No entanto, Silva et al. (2007) alertam que, quando aplicada em altas doses, pode acarretar efeitos indesejáveis como o comprometimento da qualidade da cana para produção de açúcar, salinização do solo e poluição do lençol freático.

A aplicação de vinhaça também pode interferir diretamente na liberação de gases de efeito estufa para a atmosfera. Santos et al. (2009a) descreveram alterações significativas na liberação de CO₂ após 60 dias de incubação de um solo que recebeu vinhaça, onde verificou-se uma redução na quantidade de CO₂ liberado de 51 e 42,5% nos respectivos níveis de 200 e 400 m³ ha⁻¹ de vinhaça aplicada. O aumento do tempo de incubação para 120 dias resultou em um aumento de 78,3 e 72,6% da liberação de CO₂ para os volumes de 200 e 600 m³ ha⁻¹ de vinhaça, respectivamente. Paredes (2011) avaliou a emissão de CH₄ e N₂O proveniente da vinhaça em lagoas e canais de distribuição e após a fertirrigação. O autor observou que, após a aplicação de vinhaça no solo, as perdas de CH₄ foram insignificantes ou indetectáveis. Entretanto, as perdas de N₂O podem variar de 0,6 a 2,5% do N total existente no produto.

5. CONCLUSÕES

- 1) A aplicação de vinhaça no solo aumenta os teores de carbono da biomassa microbiana.
- 2) A aplicação de adubo nitrogenado no solo não altera o carbono da biomassa microbiana ao longo de nove dias após sua aplicação.
- 3) A aplicação de vinhaça no solo aumenta os teores de carbono lábil aos cinco dias após a sua aplicação.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABBRUZZINI, T.F. **Qualidade e quantidade da matéria orgânica do solo em cultivo convencional e orgânico de cana-de-açúcar.** Tese Doutorado, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, 2011. 92 p.

ABER, J. D.; MCDOWELL, W.; NADELHOFFER, K.; MAGILL, A.; BERNTSON, G.; KAMAKEA, M.; MCNULTY, S.; CURRIE, W.; RUSTAD, L.; FERNANDEZ, I. Nitrogen saturation in temperate forest ecosystems: hypotheses revisited. **Bioscience**, v. 48, p. 921-934, 1998.

ALVES, P.R.L. **Avaliação ecotoxicológica da vinhaça de cana-de-açúcar no solo.** Tese Doutorado, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, 2015. 138 p.

BARBOSA, L.D.A. **Impacto de sistemas de cultivo orgânico e convencional da cana-de-açúcar nos atributos do solo.** Tese Mestrado, Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 2010. 80 p.

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

BLAIR, G.J.; LEFROY, R.D.B.; LISLE, L. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and the development of a carbon management index for agricultural systems. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 46, n. 7, p. 1459-1466, 1995.

BODDEY, R.M.; POLIDORO, J.C.; RESENDE, A.S.; ALVES, B.J.R.; URQUIAGA, S. Use of the ¹⁵N natural abundance technique for the quantification of the contribution of N₂ fixation to sugar cane and other grasses. **Functional Plant Biology**, v. 28, n. 9, p. 889-895, 2001.

CANELLAS, L.P.; VELLOSO, A.C.X.; MARCIANO, C.R.; RAMALHO, J.F.G.P.; RUMJANEK, V.M.; REZENDE, C.E.; SANTOS, G.D.A. Propriedades químicas de um Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhico e adição de vinhaça por longo tempo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 5, p. 935-944, 2003.

CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P.C.O.; CONTIM, T.L.M.; DIAS, F.L.F.; ROSSETO, R.; MARCELINO, R.; COIMBRA, R.B.; QUAGGIO, J.A. Ammonia volatilisation from urease inhibitor-treated urea applied to sugarcane trash blankets. **Scientia Agricola**, v. 65, n. 4, p. 397-401, 2008.

CANTARELLA, H.; ROSSETTO, R. Fertilizantes para cana-de-açúcar. In: CORTEZ, Luis Augusto Barbosa (Coord.). **Bioetanol de cana-de-açúcar: P&D para produtividade e sustentabilidade**. São Paulo: Blucher, p. 405-421, 2010.

CASARINI, D.C.P.; CUNHA, R.C.D.A.; MASET FILHO, B. Effects of irrigation with vinasse and the dynamics of its constituents in the soil: II—microbiological aspects. **Water Science & Technology**, v. 19, n. 8, p. 167-176, 1987.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira**. 2014. Disponível em: <www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/14_12_19_09_02_49_boletim_cana_portugues_-_3o_lev_-_2014-15.pdf>. Acesso: 06 fev. 2015.

COSTA, M.C.G.; VITTI, G.C.; CANTARELLA, H. Volatilização de fontes nitrogenadas em cana-de-açúcar colhida sem despalha a fogo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 4, p. 631-637, 2003.

CUNHA, E.Q.; STONE, L.F.; FERREIRA, E.P.B.; DIDONET, A.D.; MOREIRA, J.A.A.; LEANDRO, W.M. Sistemas de preparo do solo e culturas de cobertura na produção orgânica de feijão e milho. II - Atributos biológicos do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 2, p. 603-611, 2011.

DINI-ANDREOTE, F.; ANDREOTE, F.D.; COSTA, R.; TAKETANI, R.G.; VAN ELSAS, J.D.; ARAÚJO, W.L. Bacterial soil community in a Brazilian sugarcane field. **Plant Soil**, v. 336, n.1-2, p. 337-349, 2010.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Centro Nacional de Pesquisa de Solos Rio de Janeiro, 2006. 306 p.

FERREIRA, M.E.; FERREIRA, L.G.; MIZIARA, F.; SOARES-FILHO, B.S. Modeling landscape dynamics in the central Brazilian savanna biome: future scenarios and perspectives for conservation. **Journal of Land Use Science**, v. 8, n. 4, p. 403-421, 2013.

FRANCO, H.C.J.; VITTI, A.C.; FARONI, C.E.; CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P.C.O. Estoque de nutrientes em resíduos culturais incorporados ao solo na reforma de áreas com cana-de-açúcar. **STAB**, v. 25, n. 6, p. 32-36, 2007.

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**, v. 32 (Special Issue), p. 2763-2770, 2008.

FRANCO, H.C.J.; TRIVELIN, P.C.O.; FARONI, C.E.; VITTI, A.C.; OTTO, R. Stalk yield and technological attributes of planted cane as related to nitrogen fertilization. **Scientia Agricola**, v. 67, n. 5, p. 579-590, 2010.

FREIRE, W.J.; CORTEZ, L.B. **Vinhaça de cana de açúcar**. Livraria e Editora Agropecuária, Guaíba, 2000. 203 p.

GIACHINI, C.F.; FERRAZ, M.V. Benefícios da utilização de vinhaça em terras de plantio de cana-de-açúcar - revisão de literatura. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**, v. 3, p. 1-15, 2009.

GLÓRIA, N.A.; ORLANDO FILHO, J. **Aplicação de vinhaça como fertilizante**. São Paulo: Coopersucar, 1983. 38p.

GÓMEZ, S.P.M.; FLÓREZ, J.C.M.; CORREA, C.R.B.; MOLINA, R.M. Influencia de la aplicación de vinaza en actividad y biomasa microbiana en un *Entic Dystropept* y un *Fluventic haplustoll* del Valle del Cauca, Colombia. **Acta Agronómica**, v. 58, n. 1, p. 41-45, 2009.

GUMIERE, T. **Biogeografia de comunidades fúngicas em áreas cultivadas com cana-de-açúcar**. Tese Doutorado – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba-SP, 2012. 75 p.

HART, S.; NASON, G.; MYROLD, D.; PERRY, D. Dynamics of gross nitrogen transformations in an old- growth forest: the carbon connection. **Ecology**, v. 75, n. 4, p. 880-891, 1994.

IBGE. **Mapa de Biomas e de Vegetação**. 2004. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/21052004biomashtml.shtm>> Acesso em: 06 fev. 2015.

ISLAM, K.R.; WEIL, R.R. Microwave irradiation of soil for routine measurement of microbial biomass carbon. **Biology and Fertility of Soils**, v. 27, n. 4, p. 408-416, 1998.

JENKINSON, D.S.; POWLSON, D.S. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil-I. Fumigation with chloroform. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 8, n. 3, p. 167-177, 1976.

KANCHIKERIMATH, M.; SINGH, D. Soil organic matter and biological properties after 26 years of maize–wheat–cowpea cropping as affected by manure and fertilization in a Cambisol in semiarid region of India. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 86, n. 2, p. 155-162, 2001.

LAL, R. Carbon sequestration. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences**, v. 363, n. 1492, p. 815-830, 2008.

LOPES, A.S.; DAHER, E. Agronegócio e Recursos Naturais no Cerrado: desafios para uma coexistência harmônica. In: FALEIRO, F.G. & NETO, A.L.F. **Savanas: Desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais**, p. 173-209, 2008.

MENDES, R.; PIZZIRANI-KLEINER, A.A.; ARAUJO, W.L.; RAAIJMAKERS, J.M. Diversity of cultivated endophytic bacteria from sugarcane: Genetic and biochemical characterization of *Burkholderia cepacia* complex isolates. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 73, n. 22, p. 7259-7267, 2007.

MENDONÇA, E.S; MATOS, E.S. **Matéria orgânica do solo: métodos de análises**. Viçosa: UFV, 2005. 107 p.

MOREIRA, J.R.; GOLDEMBERG, J. The alcohol program. **Energy policy**, v. 27, n. 4, p. 229-245, 1999.

MORO, C.C.; RODRIGUES, J.A.; SILVA, M.C.D.; LIMA, E.P.; MACEDO, M.F. Utilização da vinhaça como fertilizante no cultivo da cana de açúcar. **Revista Cognitio**, v. 2, n 1, 2011.

MYERS, N.; MITTERMEIER, R.A.; MITTERMEIER, C.G.; FONSECA, G.A.; KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, n. 6772, p. 853-858, 2000.

NEVE, S.; HOFMAN, G. Influence of soil compaction on carbon and nitrogen mineralization of soil organic matter and crop residues. **Biology and Fertility of Soils**, v. 30, n. 5-6, p. 544-549, 2000.

OLIVEIRA, G.C.; DIAS JUNIOR, M.S.; RESCK, D.V.S.; CURI, N. Caracterização química e físico-hídrica de um Latossolo Vermelho após vinte anos de manejo e cultivo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 2, p. 327-336, 2004.

OLIVEIRA, E.G.; FERREIRA, M.E.; ARAÚJO, F.M. Diagnóstico do uso da terra na região Centro-Oeste de Minas Gerais, Brasil: A renovação da paisagem pela cana-de-açúcar e seus impactos socioambientais. **Sociedade & Natureza**, v. 24, n. 3, p. 545-555, 2012.

PAREDES, D.D.S. **Emissão de óxido nitroso e metano proveniente da vinhaça em lagoas e canais de distribuição e após a fertirrigação**. Tese Mestrado, Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2011. 90 p.

PAUL, E.A.; CLARK, F.E. **Soil microbiology and biochemistry**. Academic Press, San Diego, 1989. 275 p.

PMGCA – PROGRAMA DE MELHORAMENTO GENÉTICO DA CANA-DE-AÇÚCAR - UFV. **Cultivares RB**. 1998. Disponível em: <<http://www.canaufv.com.br/cultivaresRB/RB867515%20.pdf>>. Acesso: 20 fev. 2015.

RAIJ, B.V. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Ceres/ Potafos, 1991. 343 p.

REIS JUNIOR, F.B.; MENDES, I.C. **Biomassa microbiana do solo**. Documentos Embrapa Cerrados, 2007. 40 p.

REIS, T.C.; RODELLA, A.A. Cinética de degradação da matéria orgânica e variação do pH do solo sob diferentes temperaturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, n. 3, p. 619-626, 2002.

ROCHETTE, P.; ANGERS, D.A.; CHANTIGNY, M.H.; MACDONALD, J.D.; BISSONNETTE, N.; BERTRAND, N. Ammonia volatilization following surface application of urea to tilled and no-till soils: a laboratory comparison. **Soil and Tillage Research**, v. 103, n. 2, p. 310-315, 2009.

ROSCOE, R.; MACHADO, P.L.O.A. **Fracionamento físico do solo em estudos da matéria orgânica**. Embrapa Solos, 2002.

SANTOS, T.M.C.; SANTOS, M.A.L.; SANTOS, C.G.; SANTOS, V.R.; PACHECO, D.D.S. Fertirrigação com vinhaça e seus efeitos sobre evolução e liberação de CO₂ no solo. **Revista Caatinga**, v. 22, n. 1, p. 141-145, 2009a.

SERRANA. Boletim Técnico Fertilizantes: **Dinâmica do Nitrogênio no Solo**, 2000. Disponível em: <<http://pt.scribd.com/doc/3188358/Dinamica-do-Nitrogenio-noSolo>> Acesso em: 21 abr. 2015.

SHANG, C.; TIESSEN, H. Organic matter lability in a tropical Oxisol: evidence from shifting cultivation, chemical oxidation, particle size, density, and magnetic fractionations. **Soil Science**, v. 162, n. 11, p. 795-807, 1997.

SILVA, A.J.N.; CABEDA, M.S.V.; CARVALHO, F.G. Matéria orgânica e propriedades físicas de um Argissolo Amarelo Coeso sob sistemas de manejo com cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 3, p. 579-585, 2006.

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

SILVA, F.A.M.S.; ASSAD, E.D.; STEINKE, E.T.; MULLER, A.G.; Clima do Bioma Cerrado. In: ALBUQUERQUE, A.C.S.; SILVA, A.G. **Agricultura Tropical: quatro décadas de inovações tecnológicas, institucionais e políticas**, v. 2, p. 93-148, 2008.

SILVA, S.A.; LIMA, J.S.S.; SOUZA, G.S.; OLIVEIRA, R.B.; SILVA, A.F. Variabilidade espacial do fósforo e das frações granulométricas de um Latossolo Vermelho Amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 41, n. 1, p. 1-8, 2010.

SIQUEIRA, J.O.; FRANCO, A.A. Biotecnologia do solo: fundamentos e perspectivas. **Ministério da Educação e Cultura**, 1988. 235 p.

SOUZA, E.L.; MACEDO, I.C. **Etanol e bioeletricidade: a cana-de-açúcar no futuro da matriz energética**. São Paulo: UNICA, 2010. 314 p.

TEJADA, M.; GONZALEZ, J.L. Effects of the application of a compost originating from crushed cotton gin residues on wheat yield under dryland conditions. **European Journal of Agronomy**, v. 19, n. 2, p. 357-368, 2003a.

TEJADA, M.; GONZALEZ, J.L. Application of a byproduct of the two-step olive oil mill process on rice yield. **Agrochimica**, v. 47, n. 1, p. 94-102, 2003b.

TEJADA, M.; GONZALEZ, J.L. Effects of application of a byproduct of the two-step olive oil mill process on maize yield. **Agronomy Journal**, v. 96, n. 7, p. 692-699, 2004.

TOLMASQUIM, M.T.; OLIVEIRA, A.S. **Alternativas energéticas sustentáveis no Brasil**. Relume Dumará, 2004. 487 p.

TRINSOUTROT, J.; NICOLARDOT, B.; JUSTES, E.; RECOUS, S. Decomposition in the field of residues of oilseed rape grown at two levels of nitrogen fertilization: Effects on the dynamics of soil mineral nitrogen between successive crops. **Nutrient Cycling in Agroecosystem**, v. 56, n. 2, p. 125- 137, 2000.

ÚNICA – UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR. **Histórico do setor sucroenergético**. 2012. Disponível em: <www.unica.com.br/setor-sucroenergetico> Acesso em: 10 fev. 2015.

URQUIAGA, S.; LIMA, R.M.; XAVIER, R.P.; RESENDE, A.S.; ALVES, B.J.R.; BODDEY, R.M. Avaliação da eficiência do processo de fixação biológica de nitrogênio em diferentes variedades de cana-de-açúcar. **Agronomia**, v. 37, p. 55-58, 2003.

VASCONCELOS, R.F.B.; CANTALICE, J.R.B.; SILVA, J.A.N.; OLIVEIRA, V.S.; SILVA, Y.J.A.B. Limites de consistência e propriedades químicas de um Latossolo amarelo distrocoeso sob aplicação de diferentes resíduos da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 3, p. 639-648, 2010.

VANCE, E.D.; CHAPIM III, F.S. Substrate limitations to microbial activity in taiga forest floors. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 33, n. 2, p. 173-188, 2001.

VIEIRA, M.X. **Eficiência agrônômica da adubação de soqueira de cana-de-açúcar com cloreto de amônio**. Tese Mestrado – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba-SP, 2009. 134 p.

VITTI, A.C. **Adubação nitrogenada da cana-de-açúcar (soqueira) colhida mecanicamente sem a queima prévia: Manejo e efeito na produtividade**. Tese Doutorado - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba-SP, 2003. 114 p.

VITTI, A.C.; TRIVELIN, P.C.O.; GAVA, G.J.C.; FRANCO, H.C.J.; BOLOGNA, I.R.; FARONI, C.E. Produtividade da cana-de-açúcar relacionada à localização de adubos nitrogenados aplicados sobre os resíduos culturais em canavial sem queima. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 3, n. 3, p. 491-498, 2007.

YANCHENG, M.; QIZHAN, T.; ZHONG, L.; GUIFEN, C.; YING, W. Impact of several organic materials of sugar industry on soil microbe population in sugarcane field. **Southwest China Journal of Agricultural Sciences**, v. 22, n. 2, p. 389-392, 2009.

ZAMAN, M.; CAMERON, K.C.; DI, H.J.; INUBUSHI, K. Changes in mineral N, microbial biomass and enzyme activities in different soil depths after surface applications of dairy shed effluent and chemical fertilizer. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 63, n. 2-3, p. 275-290, 2002.

ZANI, C.F.; BARNEZE, A.S.; CERRI, C.C. **Soil carbon stocks in response to management changes due to vinasse application in sugarcane production in southeast of Brazil**, 2014.

ZECH, W.; SENESI, N.; GUGGENBERGER, G.; KAISER, K.; LEHMANN, J.; MIANO, T.M.; MILTNER, A.; SCHROTH, G. Factors controlling humification and mineralization of soil organic matter in the tropics. **Geoderma**, v. 79, n. 1, p. 117-161, 1997.

ZOLIN, C.A.; PAULINO, J.; BERTONHA, A.; FREITAS, P.S.L.; FOLEGATTI, M.V. Estudo exploratório do uso da vinhaça ao longo do tempo - Características do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 1, p. 22-28, 2011.