

**Universidade de São Paulo  
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Quantidade e qualidade da matéria orgânica do solo em sistemas de colheita  
com e sem queima da cana-de-açúcar**

**Rodrigo Vianezi Czycza**

**Dissertação apresentada para obtenção do título de  
Mestre em Ciências. Área de concentração: Solos e  
Nutrição de Plantas**

**Piracicaba  
2009**

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

Rodrigo Viane Czycza  
Engenheiro Agrônomo

**Quantidade e qualidade da matéria orgânica do solo em sistemas de colheita com e sem queima da cana-de-açúcar**

Orientador:  
Prof. Dr. **CARLOS EDUARDO P. CERRI**

**Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em Ciências. Área de concentração: Solos e Nutrição de Plantas**

**Piracicaba  
2009**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP**

Czyzca, Rodrigo Viane

Quantidade e qualidade da matéria orgânica do solo em sistemas de colheita com e sem queima da cana-de-açúcar / Rodrigo Viane Czyzca. - - Piracicaba, 2009.  
92 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2009.  
Bibliografia.

1. Biomassa microbiana 2. Cana-de-açúcar 3. Carbono 4. Espectroscopia no infravermelho  
5. Fluorescência 6. Matéria orgânica do solo 7. Nitrogênio 8. Palhada 9. Queimada I. Título

CDD 633.61  
C999p

**"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"**

*Aos meus pais, Floriano e Valmi, e aos meus irmãos Cezar e Robson  
Por terem sempre me ensinado o caminho correto por meio do exemplo.*

*À minha querida noiva Tamiris  
Pelo companheirismo, amor, força, incentivo  
e por todos os momentos vividos.*

*Dedico*



## AGRADECIMENTOS

A Deus;

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo (ESALQ / USP), por meio do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, pela oportunidade de realização do curso;

Ao Dr. Carlos Eduardo Pellegrino Cerri, Professor Associado do Departamento de Ciência do Solo da ESALQ / USP, pela orientação, convivência, ensinamentos, amizade, profissionalismo sempre presente na nossa convivência;

Aos docentes dos departamentos de Solo e Nutrição de Plantas e Fitotecnia, pelos ensinamentos transmitidos durante as disciplinas cursadas, e durante o estágio de docência;

Ao conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) pela concessão da bolsa de estudo entre março e agosto de 2008;

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pela concessão da bolsa de estudo e reserva técnica (processo 08/52468-8) entre setembro de 2008 e fevereiro de 2010;

À Débora Milori pesquisadora da Embrapa Instrumentação Agropecuária de São Carlos, por possibilitar a realização das análises espectroscópicas e auxílio com sugestões construtivas nas interpretações das mesmas;

À Usina São Martinho e ao pessoal que deu apoio no trabalho desde a escolha das áreas até a execução do projeto no campo;

Aos grandes amigos e companheiros de orientação: Jair, Rodrigo, Gean, Adilson, pela saudável convivência, incentivo, companheirismo e pelas sugestões e críticas construtivas;

Aos colegas de sala, Gilma, Diana e Luisa que sempre estavam dispostos a auxiliar nas atividades acadêmicas, troca de idéias e pela convivência neste período;

Aos amigos e colegas da pós-graduação: Adriana, Alexandre, Aliandra, Benedito, Cíntia, Diana, Emidio, Fabrício, Fernando Gaurbuio, Fernando, Flávio, Gabriel Barth, Gabriel Marques, Ingrid, João Carvalho, João, Josiane, Julius, Leonardo, Leônidas, Mariana, Magnus, Marco Antônio, Márcia, Raphael, Roberta, Susana, Suzana, pela saudável convivência;

Aos técnicos e funcionários do Departamento de Ciência do Solo da ESALQ / USP, Eleusa, Luís Silva, Claudinei Lara, João Granja, Vanda, Marta, Lillian;

A todos aqueles que de alguma forma contribuíram para execução deste trabalho.

***Muito obrigado!***

## SUMÁRIO

<b>RESUMO</b> .....	<b>9</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>11</b>
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>13</b>
<b>2 DESENVOLVIMENTO</b> .....	<b>15</b>
2.1 Revisão Bibliográfica.....	15
2.1.1 Origem e importância da cana-de-açúcar .....	15
2.1.2 Sistemas de manejo da cana-de-açúcar e questões ambientais.....	16
2.1.3 Matéria orgânica do solo.....	17
2.1.4 Estoque de carbono .....	18
2.1.5 Importância do manejo da palhada nas propriedades do solo.....	19
2.1.5.1 Propriedades físicas influenciadas pela matéria orgânica.....	19
2.1.5.2 Propriedades químicas influenciadas pela matéria orgânica .....	21
2.1.5.1 Propriedades biológicas influenciadas pela matéria orgânica .....	22
2.1.6 Substâncias húmicas do solo.....	22
2.1.6.1 Características químicas e estruturais das substâncias húmicas .....	25
2.1.6.2 Fracionamento químico e caracterização das substâncias húmicas.....	26
2.2 Material e métodos.....	28
2.2.1 Caracterização da área de estudo .....	28
2.2.2 Cronossequência avaliada.....	29
2.2.3 Coleta e preparo das amostras de terra .....	30
2.2.4 Densidade e granulometria do solo.....	31
2.2.5 Caracterização química do solo .....	31
2.2.6 Estimativas de carbono e nitrogênio da biomassa microbiana do solo.....	32
2.2.7 Cálculo dos estoques de carbono e nitrogênio do solo .....	33
2.2.8 Fracionamento químico da matéria orgânica.....	33
2.2.8.1 Extração dos ácidos húmicos.....	33
2.2.9 Caracterização das substâncias húmicas.....	34
2.2.9.1 Fluorescência .....	34
2.2.9.2 Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR) .....	35
2.2.10 Análise estatística .....	36

2.3 Resultados e discussão .....	36
2.3.1 Caracterização inicial do solo.....	36
2.3.2 Densidade do solo .....	39
2.3.3 Caracterização química dos solos.....	41
2.3.4 Teor de carbono no solo .....	45
2.3.5 Camada Equivalente do solo .....	49
2.3.6 Estoque de carbono no solo.....	50
2.3.7 Teor de nitrogênio no solo.....	55
2.3.8 Estoque de Nitrogênio.....	57
2.3.9 Relação C/N do solo.....	62
2.3.10 Carbono da biomassa microbiana.....	63
2.3.11 Nitrogênio da biomassa microbiana .....	67
2.3.12 Relação C da BM / C total.....	69
2.3.13 Fluorescência.....	70
2.3.14 Espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier.....	75
<b>3 CONCLUSÕES .....</b>	<b>81</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>83</b>

## RESUMO

### **Quantidade e qualidade da matéria orgânica do solo em sistemas de colheita com e sem queima da cana-de-açúcar**

Há tendências de expansão da área cultivada com cana-de-açúcar devido ao aumento da demanda mundial por biocombustíveis. Por razões econômicas e legais a colheita da cana-de-açúcar sem queima vem crescendo significativamente. Entretanto, pouco se conhece sobre o efeito desta palhada da cana sobre a dinâmica e estabilidade do carbono no solo. O incremento no teor de carbono no solo pode acarretar benefícios nos âmbitos agrônomo, ambiental e até mesmo econômico. Neste contexto, o objetivo deste estudo foi quantificar e comparar os estoques de carbono e nitrogênio do solo e avaliar a qualidade da matéria orgânica por meio da caracterização das substâncias húmicas em área cultivada com cana-de-açúcar com e sem queima da palhada. Foram utilizadas cronossequências de 6 e 12 anos com e sem queima da palhada, além de uma área sob vegetação nativa (usada como referência). As áreas localizam-se na Usina São Martinho, em Pradópolis, estado de São Paulo. O solo é classificado como Latossolo Vermelho distroférico de textura muito argilosa. As áreas com o manejo sem queima da palhada apresentaram maiores estoques de carbono em todas as profundidades avaliadas em comparação as áreas com queima. O incremento obtido entre as áreas de 6 e 12 anos de manejo sem queima foi de  $1,77 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  de carbono e  $0,25 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  de nitrogênio para a camada 0-30 cm de profundidade. Quanto aos aspectos químicos relacionados à fertilidade do solo, não ocorreram diferenças significativas em decorrência do manejo da palhada, corroborando aos resultados obtidos pelas análises espectroscópicas de fluorescência. As avaliações espectroscópicas mostraram que entre as áreas de 12 anos de cultivo não ocorreram diferenças no grau de humificação. Já a área de 19 anos sem queima apresentou maior grau de humificação em comparação às demais situações avaliadas nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm tanto para os ácidos húmicos como para os ácidos fúlvicos. As análises de Infravermelho com Transformada de Fourier indicaram maiores concentrações de grupos fenólicos e ácidos carboxílicos na área de 19 sem queima e menores valores para a área sob vegetação nativa nas duas profundidades avaliadas para os ácidos húmicos. Para os ácidos fúlvicos não verificou-se diferenças entre as situações avaliadas.

Palavras-chave: Estoque de carbono; Estoque de Nitrogênio; Biomassa microbiana (C e N); Fluorescência; Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier; Substâncias húmicas; Manejo de cana crua; Grau de humificação.



## ABSTRACT

### **Soil organic matter quantity and quality under burned and unburned sugarcane harvesting system**

There is a trend for expansion in the area cultivated with sugarcane, mainly due to the increase in global demand for biofuels. Due to economic and legal reasons unburned sugarcane harvesting system is increasing rapidly. However, little is known about the sugarcane trash effect on carbon dynamics and stability in soils. The increase in soil carbon content can promote benefits on agronomic, environmental and also on economic aspects. In this context, the objective of this study was to quantify and compare soil carbon and nitrogen stocks and to evaluate soil organic matter quality through the characterization of humic substances in areas cultivated with sugarcane under burned and unburned harvesting system. Chronosequences with 6 and 12 years under burned and unburned sugarcane and an adjacent area under native vegetation (used as reference) were evaluated. The areas were located at Sao Martinho Mill, in Pradópolis, Sao Paulo State. The soil is classified as clayey Oxisol (Latosolo Vermelho distroférico de textura muito argilosa). Unburned sugarcane soils presented higher carbon stocks in all evaluated layers compared to the burned areas. The increments of 1.77 and 0.25 Mg ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup> on soil carbon and soil nitrogen, respectively, were observed between the 6 and 12 years under unburned sugarcane in the 0-30 cm layer. No significant differences were observed for soil chemical attributes neither for the spectroscopic (fluorescence) analyses due to the harvesting system. Spectroscopic results showed no differences on humification degrees between areas with 12 years under sugarcane. The area with 19 years under unburned sugarcane showed higher humification degree for the 0-10 and 10-20 cm layers in comparison with the other evaluated areas, not only for the humic acid but also for the fulvic acid. Fourier Transformed Infrared analyses on humic acids indicated higher concentrations of phenolic groups and carboxylic acids in the area under 19-year old unburned sugarcane and lower values in the native vegetation for the two evaluated soil layers. For the fulvic acids no differences were observed among the evaluated areas.

**Keywords:** Carbon stock; Nitrogen stock; Microbial biomass C and N; Fluorescence; Fourier Transformed Infrared spectroscopy; Humic substances; Sugarcane management; Humification degree



## 1 INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor de cana-de-açúcar do mundo com uma área aproximada de 7 milhões de hectares e produção de 550 milhões de toneladas (safra 2007/2008). Da área total cultivada com cana-de-açúcar, 3,7 milhões de hectares estão localizados no estado de São Paulo os quais representam 52,8% da área total do país e 58% da produção nacional (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, 2009). Projeções apontam que para os próximos anos esta área será aumentada para 10 milhões de ha em decorrência da potencialidade de diversos países em utilizar o etanol como biocombustível (MACEDO et al., 2008). Tal aspecto é reforçado pelo fato de que o bioetanol é uma opção de mitigação dos efeitos do aquecimento global através da substituição dos combustíveis fósseis (CERRI et al., 2007).

A cultura da cana-de-açúcar pode ser manejada sob dois sistemas de colheita: com e sem queima da palhada. A adoção do manejo sem queima pode acarretar em significativo incremento da matéria orgânica do solo (MO) em função da adição anual de 10 a 15 Mg ha<sup>-1</sup> de matéria seca de palha que ficam depositadas sobre a superfície do solo. Desta forma, o comportamento dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo podem apresentar diferença significativas (BALL-COELHO et al., 1992).

A interação da MO com as propriedades químicas do solo ocorre, principalmente, pela geração de cargas do material orgânico humificado, minimizando perdas de micronutrientes pela formação de complexos e quelatos, assim como disponibilizando nutrientes às plantas. A interação com as propriedades físicas do solo ocorre, sobretudo, pela contribuição na formação e estabilidade dos agregados do solo (BRONICK; LAL, 2005). Sob o aspecto biológico, a biomassa microbiana (BM) representa cerca de 1 a 4% da MO. Estes microorganismos são sensivelmente influenciados pelas alterações ambientais e pelo manejo do solo, e estão relacionados com a ciclagem de nutrientes (MARCHIORI; MELO, 1999).

Já o material orgânico humificado, produto da avançada decomposição da palhada de cana-de-açúcar, é representado pelas substâncias húmicas (SH) que podem ser fracionadas em ácidos húmicos (AH), ácidos fúlvicos (AF) e humina, onde cada uma apresenta características estruturais e grau de humificação diferenciados. Estas substâncias húmicas apresentam nas suas estruturas os principais grupamentos químicos: carboxílicos (-COOH), alcoólicos (-OH), fenólicos (-OH), carbonil (C=O), quinona (anel C=O), metoxil (OCH<sub>3</sub>) e amínico (-NH<sub>2</sub>). A

diferença entre os ácidos húmicos e a humina, ocorre em função da concentração destes agrupamentos (SILVA; MENDONÇA, 2007). Mudanças no manejo do solo podem influenciar na estabilização e comportamento destas substâncias, afetando conseqüentemente o comportamento dos atributos químicos e microbiológicos do solo.

Atualmente, em decorrência dos avanços tecnológicos e utilização de análises espectroscópicas é possível estudar com maior nível de detalhamento as frações da MO. Existem diversas técnicas, sendo que as mais utilizadas nos estudos da MO são Ressonância magnética nuclear (RMN), Ressonância paramagnética eletrônica (RPE), Espectroscopia na região do infravermelho e do ultravioleta-visível, e Fluorescência (CERETA et al., 2008).

Neste contexto, os objetivos deste estudo foram: a) quantificar e comparar os estoques de C e N totais do solo e da BM nos diferentes sistemas de manejo (com e sem queima); b) avaliar a influência do manejo da palha na qualidade da MO por meio do fracionamento químico e caracterização das SH com auxílio de técnicas espectroscópicas; c) avaliar as possíveis alterações nas propriedades químicas (macro, CTC, SB, pH,  $Al^{3+}$ ) em função da presença ou ausência da palha por longos períodos de cultivo.

## **2 DESENVOLVIMENTO**

### **2.1 Revisão Bibliográfica**

#### **2.1.1 Origem e importância da cana-de-açúcar**

A cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.), gramínea originária da Nova Guiné, foi uma das primeiras culturas a serem adaptadas ao cultivo em larga escala no mundo (BRANDES, 1956). Atualmente, a cana-de-açúcar é cultivada comercialmente em mais de 70 países, onde são colhidos anualmente aproximadamente 20 milhões de hectares nas regiões situadas entre as latitudes 35°N e 35°S (NICKELL, 1977; FAO, 2007). Os maiores produtores são o Brasil, a Índia e a China, com 33, 18 e 7% da produção mundial, respectivamente (FAO, 2009). Por ser o Brasil o maior produtor mundial e com o objetivo de atender as propostas do Protocolo de Quioto, principalmente quanto às questões geopolíticas, econômicas e ambientais, atualmente há significativa tendência para a expansão da área de cana-de-açúcar plantada mundialmente nos países tropicais (MACEDO et al., 2008; BASTIAN-PINTO, 2009).

Estimativas do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 2007) indicam aumento significativo da área cultivada nos próximos 10 anos no Brasil, passando a representar 10,3 milhões de ha, em decorrência da potencialidade de diversos países em utilizarem o etanol como biocombustível (MACEDO et al., 2008). Um dos fatores que apresenta influência para o crescimento da demanda de fontes alternativas para a utilização de biocombustíveis é o aumento nos últimos anos do preço dos combustíveis fósseis, assim como eventuais esgotamentos das reservas mundiais destes combustíveis (BASTIAN-PINTO, 2009).

O etanol produzido da cana-de-açúcar apresenta expressiva aceitação na substituição dos combustíveis fósseis. A cana por ser uma planta com ciclo fotossintético C4, apresenta alta eficiência na conversão da radiação solar em biomassa. Além da produção de álcool, a cultura é matéria prima para a produção de açúcar (GOLDENBERG, 2007), com estimativa na produção nacional de 37 milhões de toneladas de açúcar para o ano de 2009 (CONAB, 2009).

### 2.1.2 Sistemas de manejo da cana-de-açúcar e questões ambientais

Há dois sistemas de manejo adotados para a colheita da cana-de-açúcar. Tradicionalmente, a palhada da cana é queimada antes da colheita em diversos países tropicais visando o aumento do desempenho operacional dos trabalhadores braçais. Além disso, a queima tem o objetivo de reduzir a quantidade de impurezas da matéria-prima, controlar a população de plantas daninhas, insetos e patógenos (CERRI et al., 2007; SALVADOR, 2007). No entanto, em decorrência de implicações ambientais, principalmente associadas às emissões de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O, e outros gases poluentes emitidos pela queima da cana os quais podem causar problemas respiratórios (ANDREA; MERLET, 2001; CERRI et al., 2007), foi estabelecido o Decreto nº 47.700, de 11/03/2003 que regulamenta a Lei nº 11.241, de 20/09/2002, o qual dispõe sobre a eliminação gradativa da queima da palha da cana-de-açúcar no decorrer dos anos até 2021. Este decreto impulsionou o manejo de colheita mecânica sem a queima.

O manejo sem queima da palha da cana proporciona deposição anual de 10 a 15 Mg de matéria seca por hectare na superfície do solo. A variação de massa seca depositada é atribuída à variedade cultivada, idade da planta e região do cultivo (SARTORI, 2001). Esta deposição pode proporcionar diversas alterações e benefícios no solo, tais como melhoria das condições físicas, químicas e biológicas (SIX et al., 2002). Proporciona ainda, melhor ciclagem de nutrientes, evitando a insolação direta na superfície do solo, alterando conseqüentemente o comportamento das plantas daninhas. Além de possibilitar o incremento da MO no solo e conseqüentemente, benefícios na estabilidade dos agregados, influencia na dinâmica dos nutrientes no solo, afetando a produtividade (BRONICK; LAL, 2005). Os nutrientes que apresentam significativas perdas com o manejo da queima é o boro e o nitrogênio. Biederbeck et al. (1980), observaram perdas de N entre 50 e 70% em cultivo de cana-de-açúcar colhida com queima da palha.

Apesar de apresentar inúmeros benefícios com o manejo sem queima da palhada, há riscos de má brotação da soqueira quando em excesso de palha, porém minimizados com regulação eficiente das colhedoras. Além destes, o manejo sem queima propicia a diminuição da eficiência do transporte da cana, aumento de materiais enviados para a indústria com baixos teores de açúcar e aumento das perdas ocasionadas pelo corte basal. No entanto, estas limitações apresentam pouca importância frente às significativas contribuições que a MO propicia ao sistema solo-planta-atmosfera (SALVADOR, 2007).

### 2.1.3 Matéria orgânica do solo

A MO do solo é representada pelos resíduos vegetais em vários estágios de decomposição, incluindo a fração mais estável denominada de húmus, biomassa microbiana (BM), sistema radicular das plantas e restos culturais depositados na superfície do solo (BAYER; MIELNICZUK, 2008).

A fração orgânica lábil adicionada ao solo, que é representada pela MO facilmente decomponível, apresenta ciclagem muito rápida, sendo em média de 3 a 4 meses. Aproximadamente 80% do material orgânico depositado no solo é perdido na forma de gases durante o processo de decomposição pelos microorganismos. Outros 20% permanecem na forma mais estável no solo (MIELNICZUK, 2008). Destes 20%, aproximadamente 75 a 90% é caracterizado pelas SH do solo (STEVENSON, 1994; SILVA; MENDONÇA, 2007), e o restante como substâncias não húmicas. A fração não húmica pode contribuir com 10 a 15% do C orgânico total dos solos minerais, sendo representada pelos carboidratos, lignina, lipídeos, ácidos orgânicos, polifenóis, ácidos nucleicos, proteínas etc. Os carboidratos, polifenóis solúveis e núcleos polifenólicos da lignina são grandes fontes de N e C na forma aromática para a síntese das SH, sendo a lignina uma das principais precursoras das SH na rota da humificação (SILVA; MENDONÇA, 2007). Esta MO humificada apresenta funções específicas no solo, influenciando principalmente nas propriedades químicas e físicas do solo (KONONOVA, 1966).

Nos solos de clima tropical são encontrados teores entre 1 a 5% de C dependendo das condições ambientais, textura do solo e tipo de vegetação. A sua dinâmica é influenciada pelos mecanismos que controlam a ciclagem do C, sendo importante contribuinte dos aspectos químicos e físicos do solo (ALBERS et al., 2008). Além destes, o aumento da taxa de decomposição da MO do solo em resposta da elevação da temperatura média global, constitui o principal mecanismo favorável ao incremento das emissões de gases do solo para a atmosfera (ROSCOE, 2006). Desta forma, o manejo adequado do solo pode contribuir significativamente na mitigação destes gases do efeito estufa (BOLIN; SUKUMAR, 2000).

O teor de MO é provavelmente o principal indicativo da qualidade do solo, pois o seu declínio ao longo do tempo indica alguma inadequação no sistema de manejo adotado, podendo ser baixa fertilidade, déficit na produção de resíduos vegetais, excesso de revolvimento do solo,

erosão acelerada, entre outros, assim como o incremento indica manejo eficiente do solo (MIELNICZUK, 2008).

Um dos principais fatores responsáveis pelos baixos teores de MO nas regiões de clima tropical e subtropical é a dificuldade da produção de biomassa vegetal. No entanto, nestas áreas o principal limitante de produtividade é o teor de N no solo, por este ser um dos constituintes das proteínas das plantas, e conseqüentemente, afetando a produção de biomassa (BAYER; MIELNICZUK, 2008). Porém, em solos com manejo adequado os teores de C no solo podem ser semelhantes ou superiores aos encontrados nas regiões de clima temperado. Isto ocorre porque solos com maior grau de intemperismo apresentam óxidos de Fe e Al na sua constituição mineralógica que apresentam significativa interação com a MO, conseqüentemente maior estabilidade da fração orgânica à decomposição pelos microorganismos em comparação a solos com menor grau de intemperismo (PARFITT et al., 1997).

#### **2.1.4 Estoque de carbono**

As mudanças no manejo e manutenção dos resíduos culturais podem auxiliar no incremento e restauração dos níveis de C orgânico no solo, na sustentabilidade do sistema de produção e uso do solo (SUMAN et al., 2009). Segundo Cerri et al. (2003), os poucos artigos que relatam os efeitos da preservação dos resíduos culturais da cana, mostram que o sistema de colheita mecanizado favorece o acúmulo de MO. Vários autores tais como: Dominy; Haynes e Van Antwerpen, (2002), Graham et al. (2002) e Souza et al. (2005), encontraram incremento do teor de C em solos de textura média. Galdos (2007) observou incremento do C em solos de textura argilosa. Nos solos de textura arenosa o aumento foi menos intenso em decorrência da menor estabilidade dos agregados do solo (BALL-COELHO et al., 1993). Canellas et al. (2007), avaliando os estoques de C no solo em área de cana com e sem queima da palhada após 55 anos de cultivo, verificaram incremento de 40% para a camada superficial e 35% em subsuperfície. O manejo da cana-de-açúcar no sistema conservacionista além de possibilitar incremento do C no solo, minimiza as perdas em 70% de outros nutrientes essenciais ao desenvolvimento das plantas (ROBERTSON; THORBURN, 2007).

Contudo, o estoque de C em solos agricultáveis assim como a ciclagem dos compostos orgânicos são amplamente condicionados pelas práticas de manejo. A manutenção de cobertura

do solo durante o ano, com ênfase nos períodos de maior precipitação e maiores temperaturas, assim como um aporte contínuo e abundante de resíduos vegetais, servem para contrabalancear a rápida decomposição pelos agentes decompositores, além de contribuir para a manutenção dos estoques de C. Além destes fatores, textura, mineralogia, espécie de material vegetal e constituição química dos resíduos vegetais também têm importância (CONANT; PAUSTIAN; ELLIOT, 2001; LEIFELD; KÖGEL-KNABNER, 2005; SILVA; MENDONÇA, 2007; BAYER; MIELNICZUK, 2008).

O incremento no estoque de C no solo possibilita uma série de benefícios ao sistema solo-planta. As áreas podem ser cultivadas por um período maior antecedendo a renovação da cultura sem que ocorram perdas econômicas significativas. Canellas et al. (2003) verificaram que a contribuição da palha possibilitou prolongar de 4 para 8 anos de cultivo sem renovação da cana em áreas experimentais conduzidas por aproximadamente 50 anos com o manejo sem queima. Este manejo possibilitou maior incremento nos teores e estoque de C, uma vez que parte do C poderia ser perdido durante a reforma do canavial quando o solo seria preparado para o plantio do próximo ciclo por meio de aração, gradagem e subsolagem.

Em solos cujo manejo não apresenta deposição de palhada, além de não possibilitar aumento do teor e estoque de C no solo, no momento da reforma possibilita perdas significativas por erosão, sendo a MO carregada com as partículas do solo (GALDOS, 2007).

## **2.1.5 Importância do manejo da palhada nas propriedades do solo**

### **2.1.5.1 Propriedades físicas influenciadas pela matéria orgânica**

As práticas de manejo inadequadas como intenso tráfego de máquinas, colheita com queima da palhada e ausência de rotação de culturas, podem degradar algumas propriedades físicas do solo, proporcionando deficiente agregação das partículas do solo pelo baixo conteúdo de MO ou elevada densidade (BRONICK; LAL, 2005; SUMAN et al., 2009).

Das propriedades físicas, a mais afetada pela MO é a agregação, pelo fato da MO atuar como agente ligante na sua formação em decorrência do elevado número de cargas presentes na MO. A partir do seu efeito sobre a agregação, indiretamente são afetadas as demais

características físicas do solo, tais como porosidade, infiltração e retenção de água, aeração, entre outras. Em conseqüência, pode ocorrer degradação do solo com imediata redução da produção, acarretando prejuízos financeiros (BALL-COELHO 1993; BRONICK; LAL, 2005; BAYER; MIELNICZUK, 2008).

A formação dos agregados ocorre pelas forças físicas envolvidas entre umedecimento e secamento do solo e ação de compressão do sistema radicular das plantas. Posteriormente, a MO atua como um dos fatores determinantes na estabilização destes agregados, em decorrência das ligações químicas entre os compostos da MO e partículas minerais do solo (BAYER; MIELNICZUK, 2008). Silva e Mielniczuk (1997) observaram que a importância da MO na estabilidade dos agregados é dependente principalmente da textura e mineralogia do solo, sendo mais significativa em solos com maior grau de intemperismo e de textura arenosa. O processo de estabilização se dá pela interação das ligações formadas pelos radicais dos compostos orgânicos com a superfície do mineral através de pontes de H, forças de Van der Waals, entre outras. A importância da MO em solos altamente intemperizados ocorre pelo predomínio de cargas positivas nos solos, sendo a MO com carga oposta atuando como agente ligante.

Um dos agentes importantes para a estabilização dos microagregados são os polissacarídeos, os quais compõe entre 5 a 25% da MO (GUERRA et al., 2008). Estes polímeros são mucilagens provenientes do metabolismo microbiano, decomposição do sistema radicular, resíduos vegetais e animais e da exsudação radicular. A formação é constante no solo desde que se apresenta aporte periódico de MO a fim de fornecer substrato para a atividade microbiana (BAYER; MIELNICZUK, 2008).

Outra fração da MO que auxilia na estabilização dos agregados são as hifas de fungos. Estas contribuem para enlaçar e unir os microagregados do solo, formando posteriormente os macroagregados. Assim como no caso de polissacarídeos, a agregação através das hifas de fungos é efêmera e a estabilidade dos agregados depende da manutenção da alta concentração de fungos, além da deposição de MO a ser degradada (EASH; KARLEN; PARKIN, 1994; BAYER; MIELNICZUK, 2008). Os mecanismos de formação geralmente ocorrem em conjunto no solo, entretanto, dependendo das condições edafoclimáticas uma via pode predominar sobre a outra.

### 2.1.5.2 Propriedades químicas influenciadas pela matéria orgânica

A MO através da deposição da palhada no solo, influencia significativamente nos atributos químicos do solo. Muitos nutrientes apresentam interação com a MO influenciando na ciclagem e adsorção dos nutrientes, evitando desta forma perdas por lixiviação, com liberação gradativa às plantas em curto espaço de tempo (BRONICK; LAL, 2005). Esta influência da MO nas características químicas do solo, ocorre pela geração de cargas provenientes da MO mais humificada, denominada de SH por apresentarem alta superfície específica comparada com as argilas do solo (ALVAREZ-PUEBLA et al., 2005). Em decorrência disto, influenciam significativamente na capacidade de troca catiônica (CTC), no ponto de carga zero (PCZ) e complexação de elementos tóxicos. Estes parâmetros são fundamentais em solos tropicais em decorrência da acidez e alto grau de intemperismo na maior parte dos solos. A MO do solo pode representar entre 20 a 90% da CTC total dos solos, dependendo da classe textural, mineralogia e teor de MO presente nestes solos (CANELLAS et al., 2003; ALVAREZ-PUEBLA et al., 2005; SILVA; MENDONÇA, 2007; BAYER; MIELNICZUK, 2008).

A MO é considerada uma fonte fundamental de nutrientes às plantas, disponibilizando elementos essenciais às plantas tais como N, fósforo (P) e enxofre (S). Em relação aos micronutrientes, a formação de complexos com compostos orgânicos reduz a possibilidade de precipitação como óxidos no solo. Desta forma, a complexação de Zn e Cu por ácidos orgânicos de baixo peso molecular aumenta a sua disponibilidade às plantas, porque o quelato torna-se uma forma de depósito desses elementos. No entanto, a meia-vida do quelato é curta resultando em rápida decomposição dos compostos orgânicos pelos microorganismos e liberação contínua e rápida dos micronutrientes às plantas (BAYER; MIELNICZUK, 2008). Canellas et al. (2003) verificaram, para um Cambissolo cultivado por longo tempo com cana-de-açúcar, que a manutenção da palhada na colheita por 55 anos proporcionou melhorias nas propriedades químicas do solo, como aumento da CTC, redução do ponto de efeito salino nulo (PESN), aumento nos teores de micronutrientes e acúmulo de MO no solo.

Desta forma o manejo do solo visando a manutenção dos resíduos vegetais, pode proporcionar maior produção de ácidos orgânicos no solo, conseqüentemente melhor fertilidade e sustentabilidade agrícola (SILVA; RIBEIRO, 1995).

### 2.1.5.1 Propriedades biológicas influenciadas pela matéria orgânica

A principal fração da MO representada pela fração viva é a BM. A BM atua como agente de transformação da MO no ciclo de nutrientes e no fluxo de energia (DE-POLLI; GUERRA, 2008; INSAM; WETT, 2008). Representa em média entre 1 a 4% da MO do solo e 1 a 5% do N total do solo. Os compostos orgânicos são eventualmente decompostos pelos microorganismos, e consideráveis quantidades de C e N são metabolizados e perdidos na forma de gases no final do processo. A emissão dos gases CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O, é amplamente dependente das condições físico-químicas, qualidade do composto, potencial redox e do habitat dos microorganismos (INSAM; WETT, 2008).

Os microorganismos são sensivelmente influenciados pelas alterações ambientais e manejo do solo, influenciando na ciclagem de nutrientes no solo (MARCHIORI; MELO, 1999). Catellan e Vidor (1990) verificaram correlação positiva entre o teor de MO e a BM em diferentes sistemas de cultura. Isto ocorre porque a relação do C<sub>microorganismos</sub> versus C<sub>orgânico total do solo</sub> aumenta e diminui rapidamente conforme ocorram elevação ou redução da MO do solo num ecossistema, e a constância dessa relação indica o novo equilíbrio desse sistema (ANDERSON; DOMSCH, 1989; DE-POLLI; GUERRA, 2008). Esta relação pode ser utilizada como um parâmetro para monitorar a dinâmica da MO nos cultivos da cana-de-açúcar, por exemplo, fornecendo maior consistência aos resultados em comparação à interpretação de cada parâmetro separadamente (SPARLING, 1992; CARDOSO, 2004). Galdos (2007) estudando o comportamento da BM em solos de cana-de-açúcar em cronossequência constituída por áreas com e sem queima da palhada, verificou diferença no comportamento da BM no solo. Inicialmente, após a deposição, ocorreu um incremento da atividade microbiana, e posteriormente redução. Este incremento inicial da atividade microbiana ocorre pela entrada de resíduos vegetais.

### 2.1.6 Substâncias húmicas do solo

As substâncias húmicas podem ser definidas como os componentes mais estáveis da MO do solo, constituído por uma mistura heterogênea de compostos orgânicos altamente

polimerizados, sendo subdivididas operacionalmente, em frações denominadas de humina, AH e AF (STEVENSON, 1994).

As diferentes frações de C orgânico humificado do solo apresentam características químicas, físicas e morfológicas diferenciadas entre si, e a distribuição destas frações no solo podem indicar a qualidade da MO (CANELLAS et al., 2003).

Estudos conduzidos por Quindeau et al. (2001) verificaram que a constituição química do material vegetal apresenta importância na diferenciação química dos compostos orgânicos presentes no solo, conseqüentemente afetando o tipo de composto final destes materiais. Tal efeito também foi comprovado por Grandy, Neff e Weintraub, (2007). Filley et al. (2008) verificaram que as concentrações de lignina e polissacarídeos que são precursoras das SH, são influenciadas principalmente pelas propriedades geoquímicas do solo, diversidade de espécies de plantas presentes, sistema de cultivo, utilização de fertilizantes e manejo do solo.

As SH são provenientes de diversos compostos orgânicos geralmente de coloração escura com elevado peso molecular, separadas em função das características de solubilidade (GUERRA et al., 2008). Sua formação é caracterizada por um processo complexo baseado na síntese e ou, re-síntese dos produtos da mineralização dos compostos orgânicos depositados no solo (CAMARGO; SANTOS; GUERRA, 1999). Os AH e AF têm sido vistos como grandes polímeros de produtos de degradação tais como fragmentos de lignina e polifenóis. Nos últimos anos, diversos autores definiram as SH pelo menor tamanho molecular e menor alteração química relativa ao material original das plantas (PICCOLO, 2002; SUTTON; SPOSITO, 2005; KELLEHER; SIMPSON, 2006). No entanto, não há um consenso sobre o processo de humificação, embora a lignina é aceita como um importante precursor (ALBERS et al., 2008). É possível simplificar os vários caminhos da humificação em três vias principais em função das características químicas do material orgânico e condições nas quais o material se encontra, sendo elas: via de herança, insolubilização e neo-síntese microbiana (GUERRA et al., 2008).

A via de herança descreve uma relação direta entre os compostos insolúveis lignificados presentes na MO pouco transformada pela ação microbiana. Este material constitui a humina herdada ou residual, representando a fração do húmus encontrada em ambiente desfavorável à atividade microbiana tais como: solos turfosos, hidromórficos ou alcalinos. Além das condições desfavoráveis à atividade dos microorganismos, é dependente do estado físico e químico da MO.

A humina de neo-síntese é representada pela fração da MO proveniente da ação microbiana, onde após a lise das células microbianas ocorre a insolubilização dos polissacarídeos oriundos da biodegradação protoplasmática. Parte destes polissacarídeos são incorporados as cadeias laterais das frações extraíveis formando os ácido fúlvico, e a maior parte permanece na forma não extraível, formando a humina de neo-síntese microbiana (SILVA; MENDONÇA, 2007).

A terceira via denomina-se de insolubilização e refere-se à humificação de compostos fenólicos solúveis a partir da oxidação de quinonas por meio de ação enzimática. Posteriormente, ocorre polimerização formando compostos que podem sofrer uma policondensação (aumento do tamanho do núcleo aromático, peso molecular) dos núcleos aromáticos formando os AF, que posteriormente condensam formando os AH (GUERRA et al., 2008).

Tanto a 2º como a 3º vias ocorrem em solos com melhor drenagem, onde geralmente são depositados resíduos mais lenhosos com maior acúmulo de compostos orgânicos com natureza aromática. Estas vias de formação das SH podem ocorrer ao mesmo tempo, ou uma pode estar predominando sobre a outra, dependendo principalmente do tipo de substrato e condições ambientais. Independentemente da rota predominante, a humificação é um processo em que ocorre a estabilização do C anteriormente encontrado em formas mais lábeis, contribuindo para fixar o C no solo. No processo de degradação do material vegetal, os basidiomicetos são considerados o principal grupo de fungos envolvidos na transformação de moléculas orgânicas recalcitrantes, dos quais se originam as SH do solo (SILVA; MENDONÇA, 2007).

Assumindo qualquer uma das várias possibilidades para o processo de estabilização dos compostos orgânicos no solo, os AH representam a fração intermediária entre o C estabilizado (humina) e os ácidos orgânicos oxidados livres na solução do solo (AF livres ou associados). Os AH são portanto, considerados como marcadores naturais do processo de humificação refletindo as condições de manejo do solo (KONONOVA, 1982).

O melhor entendimento desta fração pode facilitar a compreensão dos compostos químicos do solo em decorrência de sua interação, conseqüentemente obtendo-se melhor entendimento nos aspectos relacionados entre o solo e a planta (KONONOVA, 1982).

### 2.1.6.1 Características químicas e estruturais das substâncias húmicas

As SH diferenciam-se uma das outras pela cor, massa molecular, grau de polimerização e teor de C, oxigênio (O), hidrogênio (H) e N (STEVENSON, 1994). Há tendência dos AH apresentarem maior teor de C, menor de O e teor similar de H em relação aos AF. Estes dados são comumente utilizados na diferenciação do grau de humificação nos solos. Solos que apresentam maior concentração de AH e humina podem ser considerados como mais humificados (SILVA; MENDONÇA, 2007).

Os valores de maior magnitude para a relação O/C refletem maiores teores de grupamentos carboxílicos e carboidratos, enquanto menor relação indica incremento da condensação da MO, assim como a relação H/C indica maior alifaticidade e menor proporção de anéis aromáticos. Outra relação importante é  $E_4/E_6$  a qual esta associada à maior presença de componentes aromáticos. A relação C/N apresenta uma tendência de redução conforme o avanço do grau de humificação, o que é decorrente das maiores perdas de  $CO_2$  e incorporação de N nos compostos orgânicos (SILVA; MENDONÇA, 2007).

Diversos autores têm usado as características químicas da fração AH para avaliar indiretamente alterações na qualidade da MO de acordo com as diferentes formas de manejo e tipos de solo (MARTIN-NETO; VIEIRIA; SPOSITO, 1994; MARTIN-NETO et al., 2001; NOVOTNY; MARTIN-NETO, 2002; DICK et al., 2005; DOBBS et al., 2009).

Os estudos avançados destas frações da MO, proporcionam maiores conhecimentos quanto ao comportamento no solo. Os AF e AH apresentam grupamentos reativos que potencializam a geração de cargas dissociadas, uma vez que grande parte destes grupamentos dissociam-se gerando cargas negativas ou positivas, dependendo do pH e grupo funcional presente no solo. A diferença de concentração de cargas geradas entre os AH e AF está relacionada principalmente com a presença e tipo de material predominante (SILVA; MENDONÇA, 2007). Além da geração de cargas pelos grupos funcionais, as SH apresentam alta superfície específica. Das SH, a fração com maior representatividade na geração de cargas é a dos AF, sendo menor para os AH e Humina (ALVAREZ-PUEBLA et al., 2005).

### 2.1.6.2 Fracionamento químico e caracterização das substâncias húmicas

O material húmico do solo é constituído por um conjunto de compostos e de pesos moleculares diferenciados conforme anteriormente apresentados. Parte destes compostos estão ligados fortemente a componentes inorgânicos do solo, necessitando de técnicas e equipamentos específicos para o processo de extração e leitura do material. Estes cuidados são necessários para não alterar demasiadamente a natureza molecular dos compostos orgânicos e conseqüentemente os resultados (FELBECK, 1971). A extração dos AH pode ser realizada por diversos solventes, podendo ser bases fortes, sais neutros ou solventes orgânicos. Todos os extratores apresentam limitações quanto à extração ou na modificação química estrutural das SH. No entanto, o extrator mais utilizado e proposto pela Sociedade Internacional de Substâncias Húmicas (IHSS) é o hidróxido de sódio (base forte). Este solvente apresenta maior eficiência de extração em comparação aos demais (GUERRA et al., 2008).

Como já mencionado, o fracionamento visa à extração das SH compartimentalizando-as em três grupos principais: AF, AH e humina. A fração dos AF na forma livre são solúveis em água e em todos os valores de pH. A fração dos AH, apresenta solubilidade em soluções básicas, enquanto a humina é insolúvel em água e soluções alcalinas (STEVENSON, 1994; TAN, 2003; GUERRA et al., 2008).

A partir deste fracionamento é possível um melhor entendimento das funções de cada componente, principalmente em relação aos aspectos da fertilidade do solo e qualidade ambiental, por influenciar no comportamento dos nutrientes no solo e poluentes no solo e água. Desta maneira contribui no entendimento dos fatores que governam sua estabilização, auxiliando na busca de práticas de manejo que possam contribuir para a sua preservação (SILVA; MENDONÇA, 2007; CERETA et al., 2008). Uma das ferramentas utilizadas para auxiliar a sua caracterização são as análises espectroscópicas.

Atualmente existem diversos métodos espectroscópicos que podem ser utilizados visando a obtenção de informações específicas sobre os compostos orgânicos. Os métodos mais utilizados para obtenção de informações relacionada a área agrônômica são: ressonância paramagnética eletrônica (RPE), ressonância magnética nuclear (RMN), fluorescência e o infravermelho (STEVENSON, 1994; CERETA et al., 2008).

A RPE tem sido utilizada para estudos da MO desde a década de 90. Atualmente, é a técnica espectroscópica mais utilizada para estimar o grau de humificação da MO, assim como utilizada para quantificar radicais livres do tipo semiquinonas em AH e fúlvicos, o qual se caracteriza em uma avaliação qualitativa da fração húmica da MO (CERETA et al., 2008). Bayer et al. (1996) observaram que em solos com maior adição de resíduos vegetais, os AH apresentaram menor concentração de radicais livres do tipo semiquinona, em comparação aos solos com menor adição de resíduos. Estas características representam menor grau de humificação da MO. A análise através da RPE apresenta ampla aplicabilidade nos estudos da MO por reduzir o risco de alterações da MO, os quais possam ocorrer durante o procedimento do fracionamento químico (CERETA et al., 2008).

A RMN é uma técnica versátil com ampla utilização nas análises estruturais de materiais complexados. Permite identificar e quantificar grupos funcionais das SH tais como: C alquílico, C-O-alquílico, C aromático e C presente nas amostras. A técnica ainda permite mensurar o grau de aromaticidade das SH (MILORI et al., 2002; CANELLAS et al., 2007; CERETA et al., 2008). Pode ser utilizada para avaliar a estrutura e humificação das SH porém, apresenta limitação de uso em função do alto custo das análises (MILORI et al., 2002). Stevenson (1994) relata que em solos onde não receberam aporte de material orgânico periodicamente, o conteúdo de compostos aromáticos presente nos AH é superior aos solos com aporte de material orgânico.

A espectroscopia de fluorescência vem sendo utilizada para avaliar o grau de humificação das SH em solos sob climas tropicais e subtropicais em diferentes sistemas de manejo (DOBBSS et al., 2009). Diferentemente do potencial do RMN e EPR as análises de fluorescência não apresentam limitações na avaliação da MO ou das SH nos solos tropicais em decorrência da alta concentração de Fe (MILORI et al., 2006). Além desta vantagem, a técnica de fluorescência apresenta menores custos de análise e maior facilidade na determinação dos materiais orgânicos, além de poder ser utilizada para caracterização estrutural e funcional dos AH em comparação ao RMN e RPE (MILORI et al., 2002).

Em decorrência dos fatores citados, está sendo intensificada a utilização desta análise para a qual diversos autores (KALBITZ et al., 1999; ZSOLNAY et al., 1999; MILORI et al., 2002) têm demonstrado a potencialidade para avaliar o grau de humificação de materiais orgânicos de amostras em solução. Milori et al. (2002) demonstraram boa correlação entre a intensidade de emissão de fluorescência com excitação no azul (465 nm) e a concentração de radicais livres do

tipo semiquinonas medido por RPE para amostras de AH. Esta alta correlação deve-se ao fato que a excitação neste comprimento de onda é ressonante com estruturas originadas da oxidação de grupos fenólicos e quinonas em geral, e conseqüentemente, a intensidade de fluorescência é proporcional ao grau de humificação do material orgânico.

A radiação de infravermelho corresponde à parte do espectro eletromagnético entre a região visível e de microondas. A região de maior interesse espectroscópico está situada entre 4000 – 400 nm (STEVENSON, 1994). Os espectros são caracterizados por bandas específicas para cada molécula, que são identificados através de tabelas (SILVERSTEIN, 1994; SANTOS, 2008).

A aplicação do infravermelho em complementação aos dados obtidos por RMN permite identificar tanto estruturas moleculares (componentes alifáticos e aromáticos), como grupos funcionais reativos (COOH, OH, C=O, NH<sub>2</sub>), em decorrência de serem empregados níveis de energia que permitem distinguir as vibrações moleculares dos grupos funcionais. O infravermelho tem sido extensivamente utilizado nas pesquisas sobre caracterização das SH, pois de acordo com Stevenson (1994), fornece considerável entendimento sobre a natureza, a reatividade e o arranjo estrutural de grupos funcionais contendo oxigênio. Os espectros dos AH nesta região são relativamente simples, possuindo poucas bandas de absorção geralmente alargadas uma vez que, a complexidade do ambiente químico que envolve os grupamentos funcionais dos AH resulta em uma série de sobreposições de bandas de absorção.

Segundo Benites et al. (1999) a introdução da técnica da transformada de Fourier para a determinação dos espectros de infravermelho proporcionou maior velocidade na leitura dos espectros, permitindo a obtenção de um somatório de muitos espectros. Tal fato proporciona uma melhoria na definição dos sinais e exatidão nas análises, redução do custo do equipamento tornando-se um método simples e de baixo custo comparado a outras técnicas espectroscópicas, além da pequena quantidade de amostra requerida na análise.

## **2.2 Material e métodos**

### **2.2.1 Caracterização da área de estudo**

A área de estudo está localizada na Usina São Martinho (latitude 21°22' Sul, longitude 48°03' Oeste, altitude = 620 m) no município de Pradópolis, na região nordeste do Estado de São

Paulo, geomorfologicamente denominada de Cuestas Basálticas. O clima, segundo Koppen, é o Aw: tropical com verão chuvoso e inverno seco, com temperatura média de 22,5 °C com precipitação média anual de 1.470 mm. O solo é classificado como Latossolo Vermelho distrófico (EMBRAPA, 2006) ou Orthic Ferralsol segundo a classificação da FAO (2006). Sua caracterização mineralógica é representada por um índice Ki de 0,95 e percentagem de hematita, goethita, caulinita e gibsita de 5,9; 7,0; 29,4 e 19,6%, respectivamente.

Em geral as áreas de cana da região apresentam aproximadamente 50 anos de cultivo após a conversão da vegetação nativa, além de apresentarem os dois sistemas de manejo de colheita: colheita da cana-de-açúcar com e sem queima da palhada. A referida usina apresenta uma das áreas mais antigas de cana sem queima do Brasil (19 anos), sendo localizada em um ponto estratégico de representatividade das condições de cultivo de cana, principalmente do estado de São Paulo (CONAB, 2009).

### **2.2.2 Cronossequência avaliada**

Como estratégia para avaliação da quantidade e qualidade da MO do solo, utilizou-se uma cronossequência de 6 anos de cultivo de cana-de-açúcar com queima da palhada (6cq), 6 anos sem queima (6sq), 12 anos com queima (12cq) e 12 anos sem queima (12sq) da palhada antecedendo a reforma, além de uma área adjacente sob vegetação nativa (VN) remanescente, classificada como Mata Atlântica Ombrófila, que será utilizada como referência

As referidas áreas apresentam condições similares sob os aspectos de textura do solo, clima e topografia, variando somente o tempo de cultivo da cana e o manejo da colheita (com e sem queima). Adicionalmente observou-se uma área cultivada com cana-de-açúcar por 19 anos sem queima (19sq). Esta área possui solo de textura média diferindo das demais áreas mencionadas que apresentam textura argilosa. Por este motivo, a referida área não foi incluída nas avaliações sobre a quantidade de matéria orgânica do solo, mas sim nos estudos sobre a qualidade do material orgânico adicionado ao solo pela decomposição da palhada da cana.

A reforma das áreas foi realizada em 2002 e 1996 para as áreas de 6 e 12 anos, respectivamente. As operações realizadas envolveram a utilização de grade aradora, grade niveladora, subsolador e novamente uso de grade niveladora. O espaçamento entre linhas foi de 1,5 m. A adubação mineral utilizada na Usina para a cana planta é de 50 kg ha<sup>-1</sup> de N, 125 kg ha<sup>-1</sup>

de P e 125 kg ha<sup>-1</sup> de K. Na cana soca são comumente realizadas aplicações de 90 kg ha<sup>-1</sup> de N e 120 kg ha<sup>-1</sup> de K na projeção da soqueira.

### 2.2.3 Coleta e preparo das amostras de terra

As amostras de terra foram coletadas através da abertura de trincheiras e mini-trincheiras em cada uma das 6 áreas avaliadas. Em cada área foram abertas 1 trincheira central e 4 mini-trincheiras periféricas distanciadas de aproximadamente 50 m (Figura 1). A trincheira central apresentava dimensões de 150 x 120 x 80 cm de comprimento, altura e largura respectivamente, sendo as profundidades de coleta de 0-10, 10-20, 20-30, 40-50, 50-60, 70-80 e 90-100 cm. As 4 mini-trincheiras apresentaram dimensões de 40 x 40 x 40 cm de comprimento, altura e largura respectivamente, coletando-se amostras nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-30 cm de profundidade.

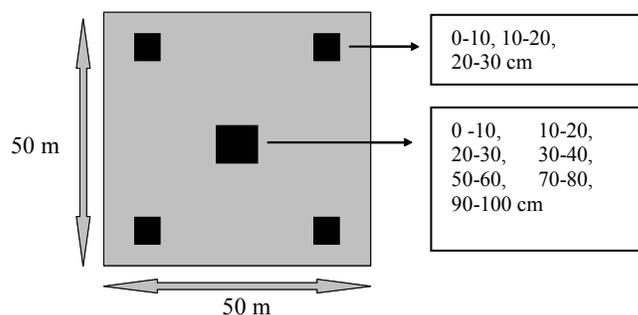


Figura 1 - Esquema da localização das trincheiras utilizadas para a amostragem de solo para cada situação de estudo

A coleta de terra foi realizada em duas das quatro faces de cada trincheira, para fins de determinação dos estoques de C e N total no solo, C e N da BM e caracterização química do solo (P, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, pH<sub>água</sub>, pH<sub>CaCl2</sub>, H<sup>+</sup>Al, Al<sup>3+</sup>). Amostras indeformadas de terra foram coletadas em cada profundidade de amostragem para determinação da densidade do solo.

A coleta de terra para o fracionamento químico da matéria orgânica foi realizada nas áreas de VN, 12sq, 12cq e 19sq, nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm.

Após coletadas, as amostras de terra foram secas ao ar, homogeneizadas, tamisadas em peneiras de malha de 2 mm e quarteadas para a sequência de análises. Para determinação de C e

N total foram moídas manualmente aproximadamente 3 gramas de terra passando em peneira de malha de 0,150 mm. As determinações dos teores foram realizadas pelo método da combustão via seca através de um analisador elementar FlashEA 1122HT da marca Thermo Electron (NELSON; SOMMERS, 1986).

#### **2.2.4 Densidade e granulometria do solo**

A densidade do solo foi determinada pelo método do cilindro volumétrico (EMBRAPA, 1979), através da utilização de cilindros de aço inox com volume interno de 980 cm<sup>3</sup>. As amostras de terra foram secas em estufa de circulação forçada à 105 °C, até massa constante, calculando-se posteriormente, a densidade relativa do solo conforme a equação 1.

$$D = \text{massa da terra seca (g)} / \text{volume anel (cm}^3\text{)} \quad (1)$$

As classes granulométricas foram analisadas para as camadas de 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 50-60, 70-80 e 90-100 cm para cada ponto da cronossequência nos dois sistemas de manejo da palhada (com e sem queima da palhada) conforme pode ser verificado na Tabela 1. A determinação foi realizada pelo método do densímetro segundo metodologia proposta pela Embrapa (1979). Foram pesadas 40 g de terra peneiradas em malha de 2 mm e agitadas durante 16 h com solução de NaOH 0,1 mol L<sup>-1</sup> posteriormente passada em peneira de 0,2 mm, onde foi coletada a areia e a solução do solo com NaOH em provetas de 1000 ml, para posterior agitação manual e leitura pelo densímetro. Posteriormente, com auxílio de planilha eletrônica foi calculada a porcentagem de argila e areia. O teor de silte foi calculado por diferença, com base nos teores de argila mais areia (Silte = 100 – (argila + areia)).

#### **2.2.5 Caracterização química do solo**

Após o preparo das amostras foi realizada a determinação do pH em água e cloreto de cálcio 0,01 mol L<sup>-1</sup>. O P e os cátions trocáveis tais como: K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> foram extraídos pelo método da resina trocadora de cátions e ânions, de acordo com a descrição de Raij e Quaggio

(1983). Na determinação da acidez potencial do solo utilizou-se o método descrito pela Embrapa (1979), extraindo o  $H^+ + Al^{3+}$  com uma solução de  $Ca(OAc)_2$   $0,5 \text{ mol L}^{-1}$  tamponada a pH 7,0. A CTC potencial a pH 7,0 (T) e saturação por bases (V%) foram obtidas a partir de cálculos com base nos teores dos elementos anteriormente determinados.

### **2.2.6 Estimativas de carbono e nitrogênio da biomassa microbiana do solo**

As amostras de terra para determinação do C e N da BM foram coletadas nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm em duas épocas: estação seca (agosto 2008) e estação chuvosa (fevereiro 2009). Em cada área foram coletadas 10 amostras de terra, totalizando 120 amostras (considerando-se as 6 áreas e 2 épocas de coleta). Após a coleta as amostras foram devidamente condicionadas em sacos plásticos deixando um respiro para manter a atividade biológica nas amostras.

As determinações dos teores de C e N da BM foram realizadas pelo método da fumigação-extração segundo metodologia proposta por Vance et al. (1987). Este procedimento consiste na pesagem de 20 g de terra entre 50 e 60% da capacidade de campo, realizando fumigação através da incubação por 24 hs sob pressão de  $-0,03 \text{ MPa}$  na presença de clorofórmio purificado (ausência de álcool). Na seqüência foram realizadas extrações com sulfato de potássio  $0,5 \text{ mol L}^{-1}$  nas amostras fumigadas e em seus respectivos controles. Posteriormente, foram agitadas durante 30 minutos a 140 rpm, centrifugadas a 2000 rpm por 10 minutos e filtradas em sistema de seringa de teflon Millipore com tela de silk screen. Os extratos foram analisados quanto ao teor de C total pelo método via úmida o qual se baseia na digestão das amostras com dicromato de potássio e ácidos sulfúrico e fosfórico. Após a oxidação, o excesso de dicromato foi titulado com solução de sulfato ferroso amoniacal. O C da BM foi obtido pela diferença entre as amostras fumigadas e não fumigadas (testemunhas). Para este o fator de correção foi de 0,38, o qual representa a eficiência de extração (SPARLING et al., 1990)

Já a determinação de N-microbiano foi realizada pelo método da ninhidrina (JOERGENSEN; MUELLER, 1996), sendo a detecção realizada em um espectrofotômetro a 570 nm. Para este, o fator de correção utilizado foi de 3,1, o qual representa a eficiência de extração de N-ninhidrina (SPARLING, 1992).

### 2.2.7 Cálculo dos estoques de carbono e nitrogênio do solo

Para cada camada de solo amostrada foram calculados os estoques de C e N do solo e apresentados em  $\text{Mg ha}^{-1}$ . O estoque foi calculado através da multiplicação do teor de C (%) pela densidade aparente do solo ( $\text{g cm}^{-3}$ ) e espessura (cm), conforme equação 2.

$$E = \text{Teor de Carbono (\%)} * \text{Densidade (g cm}^{-3}\text{)} * \text{Espessura (cm)} \quad (2)$$

Em decorrência das áreas terem apresentado densidades diferentes entre elas, o cálculo do estoque utilizando camada fixa acarreta em comparações de diferentes massas de terra. Desta forma, foi realizado um ajuste para uma mesma massa de solo, considerando a densidade da área nativa como referência, conforme descrito por diversos autores (AYANABA; TUCKWELL; JENKINSON, 1976; ELLERT; BETTANY, 1995). O cálculo foi realizado da seguinte forma: i) fixou-se uma profundidade de solo como referência (vegetação nativa), ii) calculou-se a média ponderada da densidade da VN em relação as suas respectivas camadas de solo ( $M_{EC}$ ), iii) calculou-se a média ponderada da densidade de cada situação em relação as suas respectivas camadas de solo ( $M_{SIT}$ ), e iv) determinou-se a camada de solo equivalente para cada situação (Equação 3).

$$\text{Camada Equivalente de solo (cm)} = (M_{CE} / M_{SIT}) * 30 \quad (3)$$

### 2.2.8 Fracionamento químico da matéria orgânica

#### 2.2.8.1 Extração dos ácidos húmicos

Para o procedimento de extração das SH foram utilizadas amostras compostas oriundas de 5 amostras simples, as quais foram peneiradas em peneira de 2 mm de malha antes de serem submetidas à extração. O fracionamento foi realizado segundo a técnica da solubilidade diferencial, em meio ácido ou alcalino das frações correspondentes, separando-as em AF, AH e humina de acordo com o procedimento sugerido pela International Humic Substance Society –

IHSS (SWIFT, 1996). Resumidamente, 35 g de solo foram agitados durante 12 h em 350 mL de uma solução de NaOH 0,1 M. Os extratos foram centrifugados 2 vezes a 10000 rpm durante 30 minutos, separando-os dos resíduos de solo e a humina. Os extratos foram então coletados, acidificados a pH 1-2 com HCl 6 M, decantados durante 12 h e os AH separados dos fúlvicos por sifonamento e centrifugação a 10000 rpm durante 30 minutos. Os AH foram redissolvidos em um volume mínimo de uma solução de KOH 0,1 M + KCl para atingir a concentração de 0,3 M de K e centrifugados novamente. Posteriormente, foram resuspendidos em solução de HCl 0,1 M + HF 0,3 M, agitados durante 12 h, centrifugados, dialisados em membrana de diálise da marca SpectraPor (6.000 – 8.000 Dalton) até a condutividade elétrica da solução apresentar valor inferior a  $4 \mu\text{S cm}^{-1}$ , e finalmente liofilizados.

Os AF antes de serem dializados em membrana de diálise (1000 Dalton) e liofilizados foram passados por uma resina macroporosa (XAD8) de troca, tendo como finalidade extrair somente os AF e concentrar as amostras (SCHNITZER, 1982). Após a liofilização as amostras foram moídas em almofariz de ágar para as posteriores análises espectroscópicas.

## **2.2.9 Caracterização das substâncias húmicas**

### **2.2.9.1 Fluorescência**

Para a realização das análises de fluorescência, foram utilizadas amostras de AH e AF moídos em almofariz de Ágar. Foram pesados 2 mg da amostra de AH e AF e dissolvidos em uma solução de bicarbonato de sódio ( $\text{NaHCO}_3$ )  $0,05 \text{ mol L}^{-1}$  em balão de 10 ml ajustando o pH igual a 8 (Milori et al., 2002). Essa concentração foi utilizada para minimizar o efeito de reabsorção de fluorescência e reduzir interação entre moléculas. Após o preparo das soluções, os espectros de emissão de fluorescência, excitação e varredura sincronizada foram medidos utilizando-se o espectrômetro de luminescência Perkin Elmer modelo LS-50B. A abertura das fendas de entrada e de saída foi 10 nm e a velocidade de varredura foi de  $500 \text{ nm min}^{-1}$ . Os espectros de fluorescência foram obtidos nos modos de emissão para as metodologias propostas por Zsolnay et al. (1999) e Milori et al. (2002); e no modo de varredura sincronizada, segundo a metodologia proposta por Kalbitz et al. (1999).

Na metodologia proposta por Zsolnay et al. (1999), mediu-se o espectro de emissão com excitação em 240 nm, intervalo de varredura entre 300 e 700 nm e filtro de 290 nm. A área sob a

emissão entre 580 e 671 nm ( $A_4$ ), dividida pela área sob a emissão entre 300 e 390 nm ( $A_1$ ), denominado  $A_4/A_1$ , foi utilizada como índice de humificação. A metodologia proposta por Milori et al. (2002) propõe que o grau de humificação do ácido húmico seja diretamente proporcional a área sob o espectro de emissão com excitação em 465 nm ( $A_{465}$ ). Os espectros para utilização desta metodologia foram obtidos no intervalo de varredura entre 480 e 700 nm e com filtro de 290 nm.

Para a metodologia proposta por Kalbitz et al. (1999) foram obtidos espectros de varredura sincronizada entre 220 e 650 nm, com filtro de 290 nm, tomando como diferença constante de comprimento de onda 55 nm ( $\Delta\lambda = \lambda_{em} - \lambda_{ex}$ ). A avaliação do índice de humificação foi realizada a partir da razão entre as intensidades de fluorescência em 400 e 360 nm e 470 e 360 nm.

#### **2.2.9.2 Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR)**

A preparação das amostras foi realizada segundo metodologia estabelecida por Stevenson (1994), utilizando-se pastilhas de 1 mg das SH para cada 100 mg de brometo de potássio (KBr). Posteriormente, foram realizadas para cada análise, 32 varreduras no intervalo de 4000 a 400  $\text{cm}^{-1}$ . No momento da leitura dos espectros de FTIR procedeu-se à correção automática da linha base em 4.000, 2.000 e 400  $\text{cm}^{-1}$ , igualando-se a zero.

As análises foram realizadas em um espectrômetro da marca Perkin-Elmer modelo Spectrum 1000, pertencente a Embrapa Instrumentação Agropecuária, localizada em São Carlos – SP. Foram obtidos espectros de FTIR das amostras de AH e de AF das áreas de VN, 12sq, 12cq e 19sq, nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm.

As avaliações foram realizadas a fim de se obter informações a respeito da composição dos grupos funcionais dos AH e AF extraídos das amostras de solo. A análise dos resultados consiste fundamentalmente na correlação, pico a pico, entre o espectro observado e as bandas dos grupos funcionais caracterizados e identificados na literatura.

### **2.2.10 Análise estatística**

Após tabulados os dados, foram realizadas análises de variância para identificar as diferenças significativas entre os tratamentos (áreas e camadas) pelo procedimento ANOVA. As médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. As análises foram realizadas através do programa Statistical Analysis Systems (SAS, 1997). Adicionalmente, foram realizadas análises de correlação entre os estoques de carbono, nitrogênio e BM em função do sistema de manejo, assim como correlacionando a mudança de manejo com aspectos químicos do solo e com os índices relativos a caracterização das SH.

## **2.3 Resultados e discussão**

### **2.3.1 Caracterização inicial do solo**

Os teores de argila, silte e areia foram determinados para cada ponto da cronosequência nos dois sistemas de manejo da palhada (com e sem queima da palhada) conforme Tabelas 1 e 2. Os resultados demonstram a predominância da textura muito argilosa em todas as áreas estudadas segundo o Sistema Brasileiro de Classificação do Solo (EMBRAPA, 2006), sendo o teor médio geral de  $677 \text{ g kg}^{-1}$  de argila no solo. A área de 19 anos sem queima da palha apresenta textura média com teor de argila de  $360 \text{ g kg}^{-1}$ .

Tabela 1 - Teores de argila, silte e areia para as áreas de VN, 6 anos com e sem queima da palhada na Usina São Martinho, Pradópolis-SP

Profundidade	Argila	Silte	Areia
--cm--	-----g kg <sup>-1</sup> -----		
-----Vegetação nativa-----			
0-10	669	195	136
10-20	649	220	131
20-30	697	183	120
30-40	669	213	118
50-60	684	208	108
70-80	680	219	101
90-100	665	237	98
-----6 anos sem queima-----			
0-10	683	218	98
10-20	649	260	91
20-30	654	255	91
30-40	659	251	90
50-60	712	206	82
70-80	674	251	75
90-100	662	280	58
-----6 anos com queima-----			
0-10	694	244	62
10-20	685	263	52
20-30	684	266	50
30-40	701	251	48
50-60	719	227	54
70-80	659	120	221
90-100	623	159	218

Tabela 2 - Teores de argila, silte e areia para as áreas de 12 anos com e sem queima da palhada e 19 anos sem queima na Usina São Martinho, Pradópolis-SP

Profundidade	Argila	Silte	Areia
--cm--	-----g kg <sup>-1</sup> -----		
-----12 anos sem queima-----			
0-10	677	115	208
10-20	616	181	203
20-30	641	159	199
30-40	669	125	205
50-60	680	137	183
70-80	672	122	206
90-100	661	131	207
-----12 anos com queima-----			
0-10	685	123	192
10-20	684	120	196
20-30	678	199	123
30-40	659	217	125
50-60	688	192	120
70-80	683	193	124
90-100	702	187	111
-----19 anos sem queima-----			
0-10	330	40	630
10-20	360	30	610
20-30	380	20	590

A estratégia de se utilizar uma cronossequência foi adotada para permitir o estudo da dinâmica temporal do C do solo, sem a necessidade de ter que aguardar longo período de tempo até que potenciais alterações nos estoques de C e N do solo e nas características das SH pudessem ocorrer. A vantagem desta forma de avaliação em estudos de médio e longo prazo é a praticidade de amostragem em uma só época, uma vez certificadas que as áreas apresentam condições similares sob os aspectos de textura do solo, clima e topografia, variando somente o tempo de cultivo da cana e o manejo da colheita (com e sem queima). Contudo, a variabilidade de alguns atributos do solo em áreas agrícolas pode ser um fator limitante da utilização da estratégia da cronossequência. Este é o caso da área cultivada com cana-de-açúcar por 19 anos, que apresenta textura média, diferindo das demais áreas mencionadas que apresentam textura muito argilosa. Por tal motivo, a área cultivada com cana-de-açúcar por 19 anos não foi incluída nas avaliações sobre o estoque de C, N e aspectos relacionados a fertilidade do solo, mas sim na caracterização das substâncias húmicas.

### 2.3.2 Densidade do solo

A densidade do solo apresentou menores valores para a área da VN em comparação às demais áreas da cronossequência, o que se deve pela não interferência antrópica. É de se esperar que os elevados níveis de MO provenientes da deposição da liteira e o bom desenvolvimento do sistema radicular das plantas proporcionem melhor estruturação do solo, refletindo nos menores valores de densidade. Resultados semelhantes foram obtidos por Galdos (2007), verificando menor densidade em áreas de VN em comparação às áreas de cana-de-açúcar. Em áreas de vegetação de Cerrado, comparando com áreas cultivadas com grãos, Carvalho et al. (2009) obtiveram resultados similares com menores valores de densidade para a área sem interferência antrópica.

Foi verificada diferença significativa entre a VN e as demais áreas avaliadas, assim como entre a área de 12cq com as demais áreas até 30 cm de profundidade, apresentando maiores valores de densidade para a área de 12cq e menores para a VN (Tabela 3). Isto ocorreu provavelmente pela mudança estrutural do solo através da menor agregação na área com queima, em função da utilização de máquinas agrícolas no manejo da cultura, associada como a menor deposição de resíduos culturais no solo.

Tabela 3 - Densidade do solo em  $\text{g cm}^{-3}$  nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-30 cm nas áreas de cana-de-açúcar com 6 e 12 anos com e 6 e 12 anos sem queima após a reforma do canavial, e uma área de vegetação nativa para a fins de comparação. Os resultados apresentam médias de cinco repetições e seus respectivos desvios padrões

Áreas	Camada de solo (cm)			DMS	CV %
	0-10	10-20	20-30		
	----- g cm <sup>-3</sup> -----				
VN	0,84 ± 0,08 c	0,97 ± 0,06 c	0,98 ± 0,03 d	0,09	6,30
6 sq	1,18 ± 0,01 b	1,21 ± 0,07 b	1,18 ± 0,05 c	0,09	4,20
12sq	1,06 ± 0,05 b	1,23 ± 0,09 b	1,16 ± 0,06 c	0,10	5,02
6cq	1,08 ± 0,07 b	1,11 ± 0,03 b	1,30 ± 0,06 b	0,10	5,30
12cq	1,39 ± 0,08 a	1,39 ± 0,09 a	1,42 ± 0,07 a	0,14	6,00
DMS	0,27	0,13	0,11		
CV%	6,01	5,88	4,80		

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. DMS - Diferença mínima significativa, CV% - Coeficiente de variação. As siglas VN – Área de vegetação nativa; 6sq e 6cq - áreas de 6 anos de cultivo sem e com queima respectivamente; 12sq e 12cq – áreas de 12 anos de cultivo sem e com queima respectivamente.

Na camada 0 - 30 cm, não ocorreu diferença estatística entre as áreas sem queima da palhada de cana-de-açúcar, sendo seus valores maiores em relação a área de VN, e inferior em relação às áreas com queima da palhada, com exceção da área de 6cq até 20 cm de profundidade (Tabela 3). Galdos (2007) verificou que as áreas de cana com 8 anos sem queima apresentaram, até a camada de 30 cm de profundidade, menores valores de densidade, quando comparados às áreas de 4 e 6 anos sem queima, assim como para as áreas com 2, 4, 6 e 8 anos com queima. Luca et al. (2008) verificaram diferença significativa nas camadas superficiais do solo para um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico e para um Neossolo Quartzarênico. Quando avaliaram um Latossolo Vermelho distroférico com textura argilosa não verificaram diferença estatística entre as áreas com e sem queima da palha.

Em profundidade foram verificados maiores valores de densidade para a profundidade de 10-20 cm para a maioria das situações de cana avaliada neste estudo, sendo que seus valores variaram de 1,11 a 1,39 g cm<sup>-3</sup>. Braida et al. (2006) avaliando a densidade de um Nitossolo Vermelho distrófico e um Argissolo Vermelho-Amarelo, concluíram que quanto maior for a quantidade de palha sobre o solo, menor é a densidade do solo resultante, isso ocorre devido a dissipação da energia gerada sobre os restos culturais no momento do uso das máquinas agrícolas.

Para a profundidade entre 20 e 30 cm os valores da densidade para as áreas sem queima foram menores que as das demais áreas com cana (Tabela 3). Nas áreas de cana com queima, ocorreu incremento da densidade em profundidade para a área de 6cq. Para a área de 12cq o valor da densidade ficou estabilizado em 1,39 g cm<sup>-3</sup> demonstrando compactação em todo o perfil do solo. Todavia, Braunack e Peatey (1999) observaram aumento significativo na densidade em solos de textura média a argilosa até 25 cm de profundidade, ocasionados pelo uso de máquinas na colheita da cana crua. Souza et al. (2005) também verificaram maior densidade do solo em textura média quando submetido à colheita mecanizada da cana sem queima, comparado à colheita manual com a queima.

Luca et al. (2008) avaliando a densidade em solos de 2 classes texturais, verificaram que aquele de textura arenosa apresentou maiores valores de densidade em comparação ao solo de textura argilosa. Diebold (1954) afirma que solos de texturas média e arenosa, com teor de silte menor que 400 g kg<sup>-1</sup>, são mais suscetíveis à compactação. Entretanto, aqueles de textura fina não podem ser compactados às densidades máximas no mesmo nível dos solos textura arenosa. Isso

ocorre porque os solos de textura argilosa apresentam proporcionalmente, maior espaço com microporos que são resistentes à compactação (HOWARD; SINGER; FRANTZ, 1981).

### 2.3.3 Caracterização química dos solos

Na Tabela 4 estão apresentadas as médias dos valores de pH em água e em solução de  $\text{CaCl}_2$ . Os dados não apresentaram diferenças para os valores de pH entre as áreas de cana nas três profundidades avaliadas (0-10, 10-20 e 20-30 cm). A exceção foi a área de 6sq na profundidade de 20 a 30 cm, sendo menor em comparação às demais situações.

A área sob VN apresentou menores valores de pH em comparação as demais situações. Este fato pode ser explicado pela não aplicação de calcário. Resultados semelhantes foram obtidos por Maia e Ribeiro (2004) que verificaram em um Argissolo Amarelo elevação do pH em áreas de cana após a conversão da VN.

Para avaliações em profundidade dentro de uma mesma área, são verificadas semelhanças nos valores de pH exceto para a área de 6cq, a qual apresentou maior acidificação em superfície. Como nesta área de 6cq há baixa deposição anual de palhada, tende ao longo do tempo acidificar as camadas superficiais em decorrência do baixo efeito tampão da MO em não neutralizar a acidez ativa (FRANCHINI et al., 1999). De Maria et al. (1999) verificaram menor acidificação em áreas com maior aporte de MO no solo em decorrência do efeito tampão. Resultados semelhantes foram encontrados por Souza e Alves (2003) avaliando diferentes práticas de manejo do solo para um Latossolo Vermelho distrófico com textura argilosa.

Os valores da acidez potencial ( $\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$ ) foram maiores para a área de VN, corroborando os menores valores de pH encontrados nesta área (Tabela 4). Com a mudança do uso do solo e correção da acidez, os valores de  $\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$  reduziram, e apresentaram diferença significativa em todas as situações avaliadas em relação à VN.

Tabela 4 - Valores de pH em água e CaCl<sub>2</sub> acidez trocável (H + Al), capacidade de troca catiônica (CTC<sub>T</sub>), saturação de bases (V%) num Latossolo Vermelho, para cada ponto da cronosequência com colheita com e sem queima. Os resultados apresentam médias de cinco repetições

Prof (cm)	VN	6sq	12sq	6cq	12cq	CV%	DMS
-----pH água-----							
0 - 10	4,55 Ab	5,79 Aa	5,74 Aa	5,67 Aa	5,72 Ca	2,36	0,25
10 - 20	4,47 Ab	5,46 Aa	5,59 Aa	5,52 Aa	5,86 Ba	4,83	0,49
20 - 30	4,61 Ac	5,53 Ab	5,65 Aba	5,78 Aba	6,01 Aa	4,31	0,45
DMS	0,22	0,62	0,29	0,37	0,12		
CV%	2,81	6,57	3,03	3,92	1,19		
----- pH CaCl <sub>2</sub> -----							
0 - 10	4,06 Ab	5,16 Aa	5,04 Aa	5,03 Aa	4,91 Ba	4,00	0,37
10 - 20	3,98 Ab	4,99 Aa	4,94 Aa	4,84 Aa	4,97 Ba	3,92	0,35
20 - 30	4,05 Ab	5,00 Aa	5,02 Aa	5,15 Aa	5,18 Aa	4,44	0,40
DMS	0,23	0,46	0,31	0,39	0,21		
CV%	3,38	5,44	3,62	4,58	2,42		
----- H <sup>+</sup> + Al <sup>3+</sup> (mmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> ) -----							
0 - 10	98,96 Aa	47,24 Ab	63,08 Ab	53,28 Ab	61,04 Ab	14,00	17,15
10 - 20	85,12 Aa	51,64 Ab	65,32 Ab	56,32 Ab	55,92 Ab	16,37	19,48
20 - 30	70,04 Ba	49,44 Ab	58,32 Ab	43,88 Ab	44,44 Bb	16,15	16,27
DMS	20,18	12,45	14,20	18,7	11,37		
CV%	14,12	14,92	13,52	21,67	12,53		
----- CTC <sub>T</sub> (mmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> ) -----							
0 - 10	121,32 Aa	84,50 Ab	104,92 Aa	78,70 Ab	109,04 Aa	10,78	20,34
10 - 20	102,18 ABa	80,64 Aa	101,34 Aa	76,26 Aa	101,82 Aa	16,02	28,06
20 - 30	80,58 Bab	71,54 Aab	88,06 Ba	63,38 Ab	88,08 Aa	12,31	18,29
DMS	25,6	13,36	10,78	21,04	25,45		
CV%	14,97	10,03	6,51	17,13	15,14		
----- V %-----							
0 - 10	18,36 Ac	44,30 Aa	40,06 Aab	32,60 Ab	43,88 Aa	13,00	8,82
10 - 20	16,60 Ac	35,68 Aab	35,72 Aab	26,66 Abc	44,42 Aa	16,31	9,84
20 - 30	12,98 Bc	44,30 Ab	34,02 Ab	30,90 Ab	49,54 Aa	18,39	11,07
DMS	3,02	11,00	9,16	8,75	6,86		
CV%	11,19	15,37	14,83	27,26	8,85		

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%, sendo que as letras minúsculas comparam os valores na horizontal e as maiúsculas comparam valores na vertical. DMS - Diferença mínima significativa, CV% - coeficiente de variação.

Assim como para o pH do solo, a acidez potencial apresentou valor superior em superfície para a área de 6cq (Tabela 4). Isso pode ser decorrente do menor conteúdo de MO nesta área, indicando que a oxidação da MO pode ser um componente importante na contribuição da acidez (CANELLAS et al., 2003). Entre as áreas cultivadas com cana-de-açúcar não foi verificada diferença estatística. Estes resultados diferem daqueles obtidos por Canellas et al. (2003) que avaliaram este parâmetro em áreas de cana com e sem queima, onde os valores obtidos foram 8 e 12,8 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> para áreas de cana com e sem queima, respectivamente.

A capacidade de troca de cátions a pH 7 ( $CTC_T$ ) apresentou valores inferiores para as áreas de 6 anos de cultivo em comparação as demais situações avaliadas, principalmente na profundidade de 0-10 e 10-20 cm (Tabela 4). As áreas de VN, 12cq e 12sq, não apresentaram diferença estatística entre si, contudo, a alta  $CTC_T$  para a VN deve-se principalmente a maior acidez potencial. Canellas et al. (2003) verificaram incremento de 57% da CTC após 55 anos de cultivo da cana mantendo a palhada sobre o solo em comparação a cana com queima.

A saturação de bases (V%) até a profundidade avaliada (0-30 cm) foi similar para todas as situações estudadas, exceto para a VN que apresentou valor inferior na profundidade de 20-30 cm. Estes resultados corroboram com os obtidos por Silva e Ribeiro (1995) que avaliando o comportamento em Podzólico Amarelo, sugeriram tal efeito a concentração de resíduos vegetais depositados em superfície. No presente estudo, quando são comparados os valores entre as áreas sob VN com as de cana-de-açúcar, a VN apresentou valores inferiores. Desta maneira, os maiores valores de saturação de bases foram obtidos pelas áreas de cana sem queima e 12cq. Além da contribuição da aplicação anual de fertilizantes, o manejo sem queima da palhada apresenta outra fonte de cátions que é proveniente da decomposição da palhada depositada. A área de 6cq apresentou valor menor do que as demais áreas de cana em função dos menores teores de  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$  (Tabela 5).

Na Tabela 5 são apresentados os teores de P disponível para as 5 situações avaliadas e suas respectivas camadas de amostragens. Maiores valores foram obtidos nas camadas superiores para todas as áreas avaliadas. Estes resultados são similares aos obtidos por De Maria et al. (1999). Os maiores teores de P em superfície devem-se principalmente a baixa mobilidade do elemento no solo. Para as áreas sem queima da palhada foram observados maiores teores em superfície, provavelmente em decorrência da deposição da palhada no solo favorecendo para o incremento do teor no solo.

Tabela 5 - Valores de fósforo disponível (P), potássio trocável (K<sup>+</sup>), cálcio trocável (Ca<sup>2+</sup>), magnésio trocável (Mg<sup>2+</sup>), num Latossolo Vermelho para cada ponto da cronossequência com colheita com e sem queima. Os resultados apresentam médias de cinco repetições

Prof	VN		6sq		12sq		6cq		12cq		CV%	DMS
----- P* disponível (mg kg <sup>-1</sup> ) -----												
0 - 10	14,8	Ab	28,62	Aa	20,44	Aab	23,44	Aab	14,36	Ab	25,48	9,80
10 - 20	7,90	Bb	23,40	Aa	18,18	Aa	15,26	ABab	7,85	Bb	29,91	8,22
20 - 30	5,94	Bc	21,28	Aa	17,54	Aab	14,68	Bb	5,72	Bc	23,25	5,74
DMS	5,01		9,54		6,57		8,73		5,00			
CV%	31,12		23,13		20,8		29,07		31,85			
----- K <sup>+</sup> trocável (mmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> ) -----												
0 - 10	2,02	Ad	5,70	Ac	10,70	Ab	3,20	Ad	15,32	Aa	16,97	2,37
10 - 20	1,00	Bc	5,02	Ab	6,55	Bb	1,46	Bc	11,48	Aa	27,82	2,69
20 - 30	0,56	Cc	3,80	Ab	3,44	Cbc	0,68	Cc	6,90	Ba	52,93	3,08
DMS	0,28		2,22		2,22		0,58		4,40			
CV%	13,68		27,2		19,05		19,46		23,19			
----- Ca <sup>2+</sup> trocável (mmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> ) -----												
0 - 10	4,54	Ab	19,66	Aa	19,25	Aa	14,85	Aa	21,04	Aa	25,79	7,38
10 - 20	3,85	Ab	15,29	Aa	19,14	Aa	13,06	Aa	20,13	Aa	31,39	8,49
20 - 30	1,83	Ac	11,22	Ab	17,38	Aab	13,86	Aab	17,27	Aa	30,13	7,45
DMS	3,30		8,9		4,17		4,95		10,44			
CV%	19,78		34,3		13,29		21,07		31,79			
----- Mg <sup>2+</sup> trocável (mmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> ) -----												
0 - 10	4,54	Ac	11,62	Ab	11,62	Ab	7,3	Ac	14,98	Aa	16,53	3,13
10 - 20	1,98	Bc	8,57	ABab	10,00	ABab	5,28	Abc	14,00	Aa	36,16	5,5
20 - 30	0,90	Bd	6,92	Bbc	8,74	Bb	4,92	Bc	15,52	Aa	21,35	3,03
DMS	2,39		3,27		2,32		2,36		5,79			
CV%	57,25		21,48		13,58		23,99		23,15			

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 %, sendo que as letras minúsculas comparam os valores na horizontal e as maiúsculas comparam valores na vertical. DMS - Diferença mínima significativa, CV % - coeficiente de variação, P\* extração por resina

Para as áreas de VN e 12cq os teores de P disponível foram inferiores em comparação aos demais tratamentos. A VN apresentou menor teor de P por não ter sido realizada adição desses nutrientes via fertilizantes. Na área de 12cq, apesar de ter sido corrigido o teor de P antes da implantação da cultura, apresentou menor valor em decorrência da extração do elemento pela cana uma vez que a maior aplicação foi efetuada no plantio. Outra explicação para os menores teores pode ser em decorrência das perdas do elemento durante a queima da palhada. Silva e Ribeiro (1995) também verificaram menores teores de P para a VN quando avaliaram o teor em áreas de até 25 anos de cultivo com a cana-de-açúcar.

Para o P em profundidade, nas áreas com manejo sem queima da palhada não ocorreram diferenças estatísticas, apesar da tendência geral de diminuição dos teores do referido elemento. Este comportamento demonstra que mesmo o elemento sendo pouco móvel no solo, a

manutenção em profundidade pode ser auxiliada pela deposição dos resíduos culturais. Adicionalmente, o manejo da cana com a fertilização e incorporação de N e K contribuiu para a sua manutenção em profundidade. Para as áreas de cana com queima da palhada, justamente por não ter a deposição da palhada, o P apresentou menores valores em profundidade. Canellas et al. (2003) verificaram que as áreas com o manejo da cana sem queima apresentaram valores superiores em comparação a área queimada, e a diferença por eles obtida foi de 8,7 vezes maior para o P.

Houve tendência de aumento dos teores de  $K^+$  trocável no solo nas áreas mais antigas de cultivo de cana antes da reforma (12 anos), principalmente nas camadas superficiais até 20 cm de profundidade. Foi observado que para todas as camadas avaliadas, a área de 12cq apresentou maiores teores de K no solo, seguida pela área de 12sq e 6sq (Tabela 5). Verificou-se que os maiores teores foram encontrados nas áreas com 12 anos de cultivo, o que é relevante uma vez que o manejo da reforma auxilia na redistribuição do  $K^+$  no perfil do solo. Entretanto, para todas as áreas avaliadas, os maiores teores estão localizados em superfície em decorrência do K proveniente das folhas da cana, que ao atingir a senescência são deslocados pela água das chuvas até o solo, uma vez que o elemento na planta encontra-se “livre”, e não fazendo parte estrutural das plantas (MEURER, 2006).

Os maiores teores de  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$  trocável no solo são encontrados nas áreas de cana em comparação a área da VN. Isto deve-se provavelmente devida à aplicação de calcário, que apresenta os elementos em sua composição. Entre as áreas de cana, os teores de  $Ca^{2+}$  foram similares estatisticamente, indicando que os solos foram corrigidos e o manejo para a manutenção do teor está sendo eficiente. Silva e Ribeiro (1995) verificaram resultados semelhantes em um Argissolo Amarelo cultivado com cana por 25 anos de cultivo no estado de Alagoas. Maia e Ribeiro (2004) verificaram maiores resultados na área de VN em comparação as áreas de cana cultivada 30 anos após a conversão. Este fato foi explicado pelo material de origem do solo, assim como pela absorção e possível lixiviação do elemento no perfil do solo em decorrência de ser um Argissolo.

#### **2.3.4 Teor de carbono no solo**

Houve diminuição do teor de C nas áreas de cana em comparação a área da VN,

principalmente na camada superficial do solo (0-10 cm) (Tabela 6). O teor de C na área sob VN para a camada de 0-10 cm foi de 27,6 g kg<sup>-1</sup>, enquanto que para as áreas de cana-de-açúcar os valores variaram entre 14,4 e 21,67 g kg<sup>-1</sup>. Isso representa redução entre 21 a 48 % do teor de C em comparação à VN (Figura 2). Maia e Ribeiro (2004) verificaram que após 30 anos de cultivo com cana-de-açúcar em um Argissolo Amarelo, houve uma redução em comparação a área de VN, de 21,2 para 12,2 g kg<sup>-1</sup> na camada superficial. Davidson e Ackerman (1993) verificaram perdas de 30 % de carbono do solo 20 anos após a conversão de floresta em cultivo de cana-de-açúcar. Silva et al. (2007) observaram decréscimo no teor após a conversão da vegetação nativa para cana, seguida por um gradativo aumento nos estoques após 25 anos de cultivo. Os resultados obtidos no presente estudo são similares aqueles apresentados por Silva et al. (2007), com redução inicial e gradativo aumento posterior com o cultivo da cana sem queima.

Comparando as áreas de cana com queima versus sem queima da palhada, verificou-se maiores teores de C nas áreas sem queima para todas as profundidades avaliadas (Tabela 6). Tais resultados coincidem com aqueles relatados por Razafimbelo et al. (2006), que observaram redução de 15% nos teores quando manejado com queima da palhada em comparação ao manejo mecanizado para a profundidade de 0-10 cm, passando de 23,7 para 20,7 g kg<sup>-1</sup> de C no solo.

Tabela 6 - Teor de Carbono do solo nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-30 cm nas áreas de cana-de-açúcar com 6 e 12 anos com e sem queima após a reforma, e uma área de vegetação nativa para fins de comparação. Os resultados apresentam médias de cinco repetições e seus respectivos desvios padrões

Área	Camada de solo (cm)									DMS	CV %
	0-10			10-20			20-30				
	-----g kg <sup>-1</sup> -----										
VN	27,63	± 4,33	Aa	18,54	± 0,26	ABb	13,69	± 1,64	ABb	5,5	16
6 sq	20,09	± 2,08	BCa	15,84	± 0,04	ABCb	13,28	± 0,87	ABb	2,76	10
12sq	21,67	± 1,30	Ba	19,45	± 0,13	Aa	17,05	± 1,17	Ab	2,29	7
6cq	14,41	± 1,73	Da	12,95	± 0,27	Ca	11,11	± 3,81	Ba	4,90	23
12cq	16,28	± 1,17	CDa	14,77	± 0,17	BCa	12,11	± 1,69	Bb	2,64	11
DMS	4,57			4,35			3,99				
CV %	12,07			14,10			15,68				

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 %, sendo que as letras minúsculas comparam os valores na horizontal e as maiúsculas comparam valores na vertical. DMS - Diferença mínima significativa, CV % - coeficiente de variação.

Na profundidade de 0-10 cm, o teor de C para a VN foi superior estatisticamente em comparação às demais áreas, assim como o menor teor ocorreu para a área de 6cq (Figura 2).

Para a área de 12cq o teor foi superior a área de 6cq em decorrência da pequena, porem constante adição de resíduos culturais provenientes da ponteira da cana. Para as demais profundidades avaliadas (10-20 e 20-30 cm), os teores de C das áreas de cana sem queima foram semelhantes estatisticamente quando em comparação a área da VN (Tabela 6).

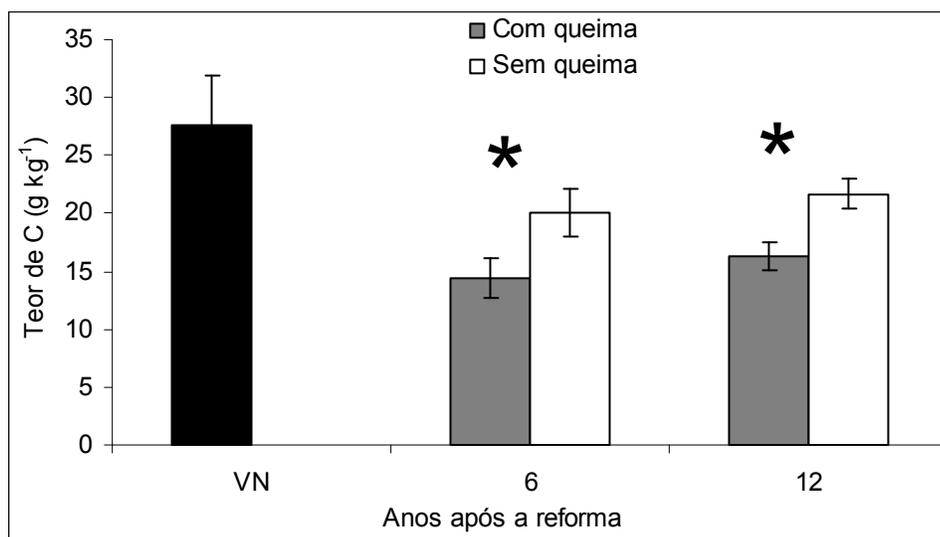


Figura 2 - Teor de carbono do solo na profundidade de 0-10 cm para a vegetação nativa e para as áreas de cana, seis e doze anos após a reforma. O asterisco indica que houve diferença estatística a 5% de significância pelo teste de Tukey entre os tratamentos com e sem queima, para cada ponto da cronossequência. O desvio padrão está representado pelas linhas verticais acima das barras

O efeito do manejo nos teores de C total foi mais evidente na camada superficial do solo (0-10 cm), fato esperado uma vez que a palhada não foi incorporada, mas depositada sobre o solo. Estes resultados corroboram com os dados de Razafambielo et al. (2006) que obtiveram teores de C 15 % superior na camada de 0-5 cm de profundidades, para todas as áreas em comparação as maiores profundidades avaliadas. Resultados obtidos por Robertson e Thorburn (2007) avaliando C total em áreas com 6 anos de cultivo de cana na Austrália em três condições climáticas (Subtropical, Tropical e Tropical úmido), verificaram que na região tropical entre as áreas de cana com e sem queima apresentaram diferença significativa com maior teor na área sem queima em relação a área com queima para a maioria das avaliações até a profundidade de 10 cm. Para a região com clima tropical úmido, ocorreu diferença significativa até a profundidade de 25 cm. Para as regiões com clima subtropical, tanto para o C como para o N não houve diferenças estatísticas em função do manejo da colheita. Vallis et al. (1996) verificaram após condução de experimento por 12 anos na Austrália, incremento lento do estoque de C nas áreas sem queima, enquanto que nas demais áreas o teor ficou constante. Contudo, há experimentos que não

apresentaram correlação direta entre a manutenção de palhada no solo e os teores de C (GALDOS, 2007).

Neste estudo, avaliando os teores de C nas diferentes profundidades dentro de cada área, verificou-se que para a VN e 6sq os teores foram superiores estatisticamente na camada de 0-10 cm em comparação às demais profundidades. Para a área de 12sq em profundidade, ocorreu um decréscimo, mas não significativo até a profundidade de 20 cm, ou seja, ficando os valores muito próximos entre si (Tabela 6). Isto ocorreu provavelmente em decorrência da área de 12sq apresentar maior concentração de raízes no solo em função dos anos de cultivo que antecederam a reforma, conseqüentemente maiores teores de C em profundidade. Para as demais áreas os teores foram similares até os 20 cm superficiais, diferenciando somente na profundidade de 20-30 cm. A razão por não ter ocorrido diferença estatística nestas profundidades, deve-se provavelmente ao fato das áreas de cana-de-açúcar com queima não apresentarem significativa deposição da palhada no solo, impossibilitando um elevado incremento no teor de C na camada superficial. Porém, o teor de C em profundidade pode ter sido mantido pelo estabelecimento do sistema radicular até esta profundidade, uma vez que não ocorreu revolvimento do solo por meio da renovação da cultura (Tabela 6). Resende et al. (2006) não verificaram diferença significativa nos teores de C após 16 anos de cultivo sem queima da palhada em comparação a área com queima no estado de Pernambuco. Para a área de 12sq o teor de C não se diferenciou entre a camada de 0-10 e 10-20 cm. Blair et al. (2000) em experimento conduzido na Austrália, verificaram que o teor de C da camada superficial após 4 anos de cultivo foi maior na área sem queima em relação a área com queima. Graham et al. (2002) avaliando área de cana-de-açúcar na África do Sul, após 61 anos de cultivo no manejo com e sem queima, verificaram que o C apresentou maior teor para o tratamento sem queima da palha mas com aplicação de fertilizantes em relação as demais áreas, sendo elas em ordem decrescente: sem queima e sem aplicação de fertilizantes, queima parcial da palhada com fertilizante, queima total da palhada com fertilizante, queima parcial sem fertilizante e queima total sem fertilizante para a camada de 5 cm superficial. Para a profundidade de 0-10 cm a área sem queima se diferenciou significativamente das demais situações.

Conforme Galdos et al. (2009), a dinâmica do C pode ser influenciada pelo grau de revolvimento do solo durante a reforma do canavial, pois parte do C presente no solo pode ser perdido por meio do manejo da reforma. Six et al. (2002) verificaram correlação positiva entre o

grau de distúrbio por meio do manejo na reforma e aumento da mineralização do C do solo.

### 2.3.5 Camada Equivalente do solo

Tomando como referência os 30 cm superficiais do solo sob VN, estão relacionadas na Figura 3 as camadas equivalentes de solo, as quais serão utilizadas para se obter os estoques de C e N do solo. A necessidade do ajuste é para que se possam comparar os dados de estoques sem correr risco de conclusões equivocadas por utilizar massas diferentes para cada caso. Por exemplo, considerando que o solo apresenta densidade diferente, e calculando-se o estoque de C para uma profundidade fixa, os estoques de C nas áreas de maior densidade seriam superiores em comparação as demais situações. Isto é decorrente da maior massa de solo considerada nas áreas de maior densidade, superestimando os estoques. Portanto, as camadas equivalentes obtidas a partir da área sob VN foram: 23,4; 23,2; 26,4 e 19,9 cm para as situações de 6sq, 6cq, 12sq e 12cq, respectivamente (Figura 3).

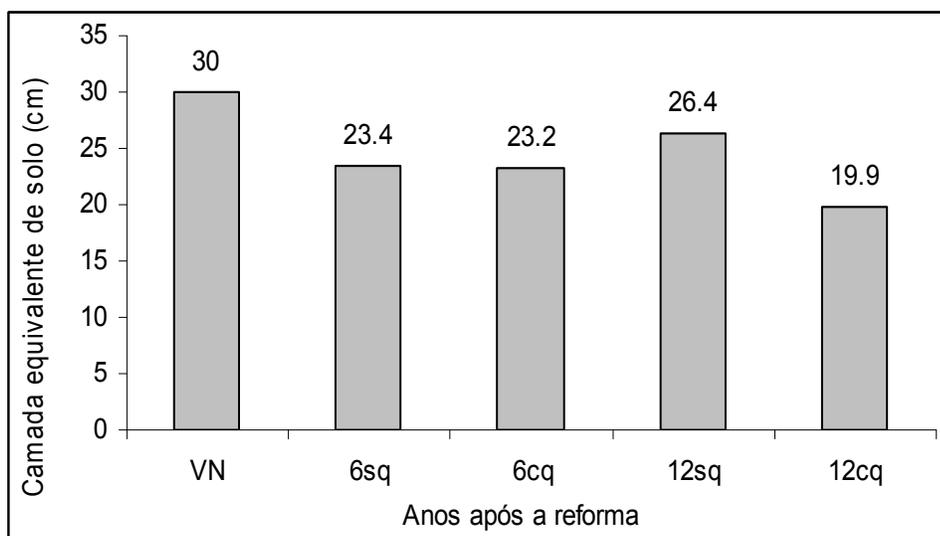


Figura 3 - Camadas equivalentes de solo para comparar a mesma massa de solo nas diferentes áreas da cronosequência. As siglas VN – Área de vegetação nativa; 6sq e 6cq - áreas de 6 anos de cultivo sem e com queima respectivamente; 12sq e 12cq – áreas de 12 anos de cultivo sem e com queima respectivamente

### 2.3.6 Estoque de carbono no solo

O estoque de C foi calculado a partir do teor de C e da densidade do solo para cada camada avaliada (Tabela 7). Inicialmente foram calculados os estoques sem ajuste pela densidade para a profundidade de 0-30 cm (Figura 4). Os estoques de C neste caso foram similares entre as áreas de cana-de-açúcar e VN, exceto entre as áreas de 6sq e 6cq. Os valores obtidos foram de 54,6; 47,5; 58,5; 59,3 e 60,7 Mg ha<sup>-1</sup>, respectivamente para VN, 6cq, 6sq, 12cq e 12sq. Verificou-se que entre as áreas de 6 anos de cultivo, o manejo conservacionista proporcionou incremento de 11 Mg ha<sup>-1</sup>, passando de 47,5 para 58,5 Mg ha<sup>-1</sup>, este incremento representa 1,83 Mg ha<sup>-1</sup> por ano de cultivo.

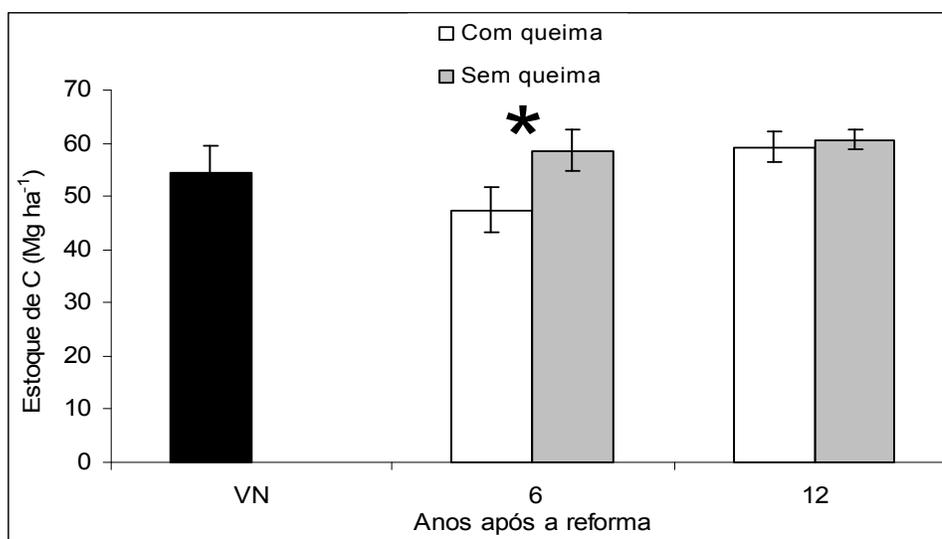


Figura 4 - Estoque de carbono do solo na profundidade de 0-30 cm, na vegetação nativa (VN) e nas áreas de cana-de-açúcar, seis e doze anos após a reforma, sem correção para mesma massa de solo. A presença do asterisco indica que houve diferença estatística a 5% de significância entre os tratamentos com e sem queima, para cada ponto da cronosequência. O desvio padrão está representado pelas linhas verticais acima das barras

Uma vez que o estoque de C esta diretamente relacionado com a densidade do solo, foi realizado o cálculo com o ajuste para a mesma massa de solo. Com esta correção ocorreu redução para as áreas de cana-de-açúcar em relação aos valores iniciais na camada 0-30 cm (Figura 5). Esta diminuição é decorrente da maior densidade do solo obtida nestas áreas (Tabela 3). A área de 12cq apresentou maior decréscimo no estoque quando realizada a correção pela mesma massa de solo, passando de 59,3 para 27,1 Mg ha<sup>-1</sup>, ou seja, decréscimo de 32,2 Mg ha<sup>-1</sup>. Isso pode ser

decorrente da maior densidade aparente do solo, o que foi ocasionado pelo intenso tráfego de máquinas agrícolas e menor quantidade de MO do solo depositada por intermédio dos resíduos culturais.

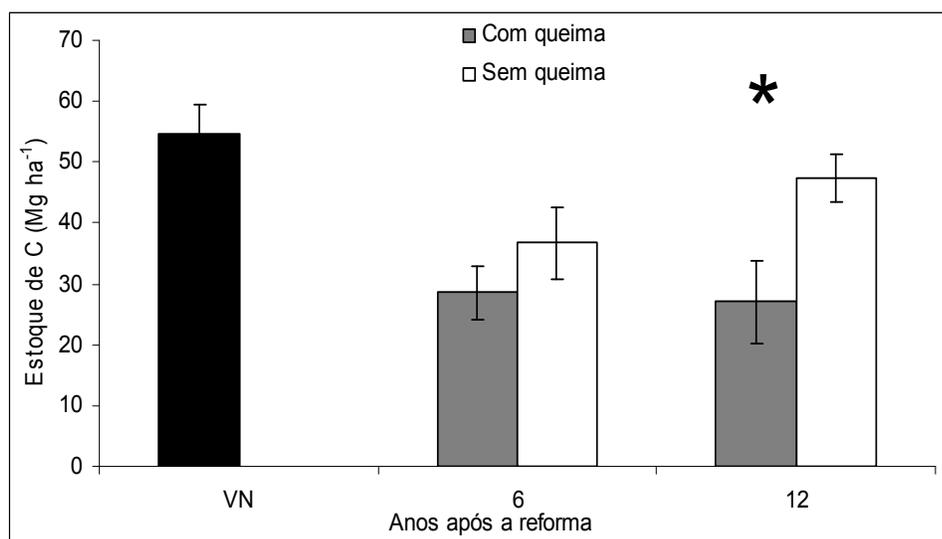


Figura 5 - Estoque de carbono do solo na profundidade de 0-30 cm, na vegetação nativa (VN) e nas áreas de cana, seis e doze anos após a reforma, com correção para mesma massa de solo. O asterisco indica que houve diferença estatística a 5% de significância pelo teste de Tukey entre os tratamentos com e sem queima, para cada ponto da cronosequência. O desvio padrão está representado pelas linhas verticais acima das barras

Confirmado o efeito da densidade do solo nos estoques de C, a discussão dos resultados foi efetuada somente para os dados ajustados para a mesma massa de solo. Após esta correção para a camada de 0-30 cm, não ocorreu diferença estatística entre as áreas da VN e 12sq. No entanto ocorreu para as demais áreas de cana em comparação a área da VN. Quando manejada a cana com queima da palhada, verificou-se diferença entre as áreas de 6cq e 12cq, assim como comparando ambas com a área de 6sq para a camada de 0-30 cm de solo (Tabela 7). Canellas et al. (2007) verificaram após 55 anos de condução, decréscimo de 40% no estoque de C na área com queima em comparação a área sem queima da palhada para a camada superficial do solo (0-20 cm), sendo significativa a 1 % de probabilidade conforme indicada pelos autores.

Para a camada 0-10 cm com correção pela mesma massa de solo, a área sob VN apresentou maior estoque de C em comparação às demais situações. Contudo, entre as áreas de 6sq e 6cq o sistema conservacionista apresentou maior estoque ( 9,4 versus 12,0 Mg ha<sup>-1</sup> de C). Para as áreas de 12 anos os estoques obtidos foram de 8,3 e 14,8 Mg ha<sup>-1</sup> de C sendo que a área

sem queima apresentou maior estoque. O incremento anual entre as áreas de 6 anos com queima em relação a sem queima foi de 0,43 Mg ha<sup>-1</sup>, e entre as áreas de 12 anos foi de 0,54 Mg ha<sup>-1</sup> por ano. Razafimbelo et al. (2006) avaliando áreas de cana com 6 anos de cultivo com e sem queima, obtiveram na camada de 0-10 cm incremento de 3,9 Mg ha<sup>-1</sup> de C, o que equivale a 0,65 Mg ha<sup>-1</sup> de C por ano. Graham et al. (2002) após 61 anos de manejo, verificaram diferença estatística dos estoques para a camada de 10 cm de profundidade, sendo as áreas de cana com o manejo sem a queima da palha na presença da aplicação de fertilizantes, maiores que para as áreas de cana com queima sem aplicação de fertilizantes.

Tabela 7 - Estoque de carbono do solo nas profundidades de 0-10, 0-30, 0-50 e 0-100 cm nas áreas de cana-de-açúcar com seis e doze anos com e sem queima após a reforma com correção para mesma massa de solo, e uma área de vegetação nativa para fins de comparação. Os resultados apresentam médias de cinco repetições e seus respectivos desvios padrões

Áreas	Camada de solo (cm)			
	0-10	0-30	0-50	0-100
	-----Mg ha <sup>-1</sup> -----			
VN	23,21 ± 3,64 a	54,61 ± 4,93 a	73,96	108,65
6sq	12,01 ± 1,74 bc	36,66 ± 5,89 bc	59,44	93,71
12sq	14,84 ± 1,43 b	47,33 ± 3,98 ab	76,04	113,47
6cq	9,41 ± 1,45 cd	28,57 ± 4,33 c	44,46	66,26
12cq	8,27 ± 0,99 d	27,13 ± 6,78 c	43,10	69,26
DMS	3,58	12,55		
CV%	13,95	17,53		

VN – Área de vegetação Nativa; 6sq e 6cq - áreas de 6 anos de cultivo sem e com queima respectivamente; 12sq e 12cq – áreas de 12 anos de cultivo sem e com queima respectivamente. DMS - Diferença mínima significativa, CV% - coeficiente de variação. Médias seguidas pela mesma letra na vertical não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

A Tabela 7 aponta que a maior parte do C no solo é encontrada na camada superficial. Quando avalia-se a camada superficial do solo (0-10 cm), verifica-se que ela representa entre 30 e 42 % do estoque de C presente até os 30 cm superficiais. Estes resultados corroboram com os obtidos por Graham et al. (2002) observando o valor de 35 % para um Vertissolo cuja mineralogia predominante é do tipo 2:1.

Quando foram avaliados os 30 cm superficiais verificou-se que o incremento entre as áreas de 6 e 12 anos sem queima da palhada foi de 1,77 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. Para a mesma camada de solo sob VN, verificou-se que 50% do C estava estocado em relação ao C contido até 100 cm de profundidade (Tabela 7). Para as áreas sob cana-de-açúcar os valores variaram entre 39 e 43%.

Nesta profundidade ocorreram diferenças significativas nos estoques quando comparou-se a área sob VN com as áreas sem queima da palhada. Entre as áreas de cana foram verificados maiores estoques naquelas sem queima da palhada em comparação as áreas com queima. Isto se deve à deposição da palhada no solo em decorrência do manejo conservacionista. No presente estudo foi verificada diferença significativa somente entre a área de 12sq com as áreas de queima da palhada (Tabela 7). Em estudo realizado em um Vertissolo da África do Sul, não foi observada diferença estatística para os 30 cm de profundidade entre as áreas de cana-de-açúcar para as situações com e sem queima e presença versus ausência de fertilizantes (GRAHAM et al., 2002). Luca et al. (2008) avaliando o manejo da cana com versus sem queima da palhada, obtiveram estoques de 47,9 e 54,2 Mg ha<sup>-1</sup> respectivamente, para um Latossolo Vermelho distrófico após três anos de cultivo na região nordeste do Estado de São Paulo. Já para um Argissolo Vermelho-Amarelo e um Neossolo Quartzarênico, ocorreu uma variação entre 20,9 e 28,5 Mg ha<sup>-1</sup> de C na camada de 0-20 cm de profundidade.

Os estoques de C no solo até 100 cm de profundidade apresentaram valores semelhantes entre as áreas de 12sq (113 Mg ha<sup>-1</sup>) e VN (98 Mg ha<sup>-1</sup>). Assim como para as demais profundidades avaliadas, foram verificados maiores estoques para as áreas de cana sem queima em comparação as áreas com queima da palhada. Conforme mostra a Tabela 7, essa tendência ocorreu desde as camadas superficiais do solo. Este fato demonstra a importância da palhada nos teores de C, pois o incremento de C entre as áreas com e sem queima da palha na profundidade de 0-100 cm foi de 41 e 65 % respectivamente, para as áreas de 6 e 12 anos (Tabela 7). Galdos et al. (2009) também observaram maiores estoques de C em área de 8 anos de cultivo com cana-de-açúcar para a profundidade de 0-100 cm, quando compararam os dois manejos com queima e sem queima da palhada na em Pradópolis - SP.

O incremento nos estoques de C é maior para as áreas com maior período sob manejo sem queima da palhada. Além disso, conforme aumenta-se a profundidade, maior é a diferença entre os estoques de C comparando a área com queima versus sem queima da palhada. Para as áreas de 6 anos a diferença passou de 8,1 Mg ha<sup>-1</sup> na profundidade de 0-30 cm para 27,5 Mg ha<sup>-1</sup> na profundidade de 0-100 cm (Figura 6). Resultados semelhantes foram obtidos por Galdos et al. (2009), avaliando áreas de cana em cronosequência de 2, 6 e 8 anos com e sem queima, que verificaram maiores estoques nas áreas de cana sem queima, sendo a diferença nos estoques maiores para a profundidade de 100 cm, principalmente para a área de 8 anos de cultivo.

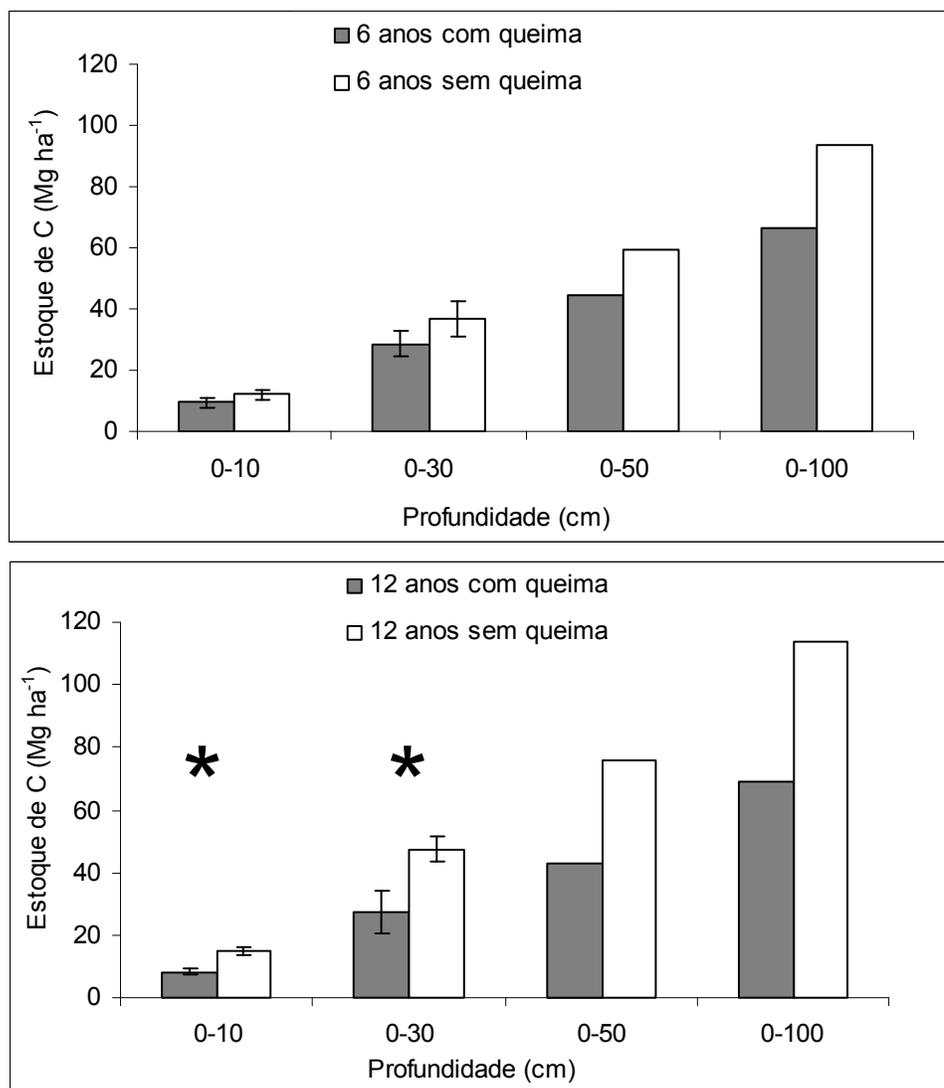


Figura 6 - Estoque de carbono do solo nas profundidades de 0-10, 0-30, 0-50 e 0-100 cm nas áreas de cana-de-açúcar com seis e doze anos após a reforma, com correção para mesma massa de solo. O asterisco indica que houve diferença estatística a 5% de significância entre os tratamentos com e sem queima. O desvio padrão está representado pelas linhas verticais acima das barras

Quanto ao comportamento dos estoques de C em relação a profundidade no solo, verificou-se que os maiores incrementos ocorreram para as áreas sem queima da palhada. Para a área de 12sq na camada 0-100 cm o estoque foi de 113 Mg ha<sup>-1</sup> de C, enquanto que a área de 6sq apresentou valores de 94 Mg ha<sup>-1</sup> de C. Este incremento da área de 6 para 12 anos sem queima foi de 21 % ou de 3,3 Mg ha<sup>-1</sup> de C por ano (Figura 7).

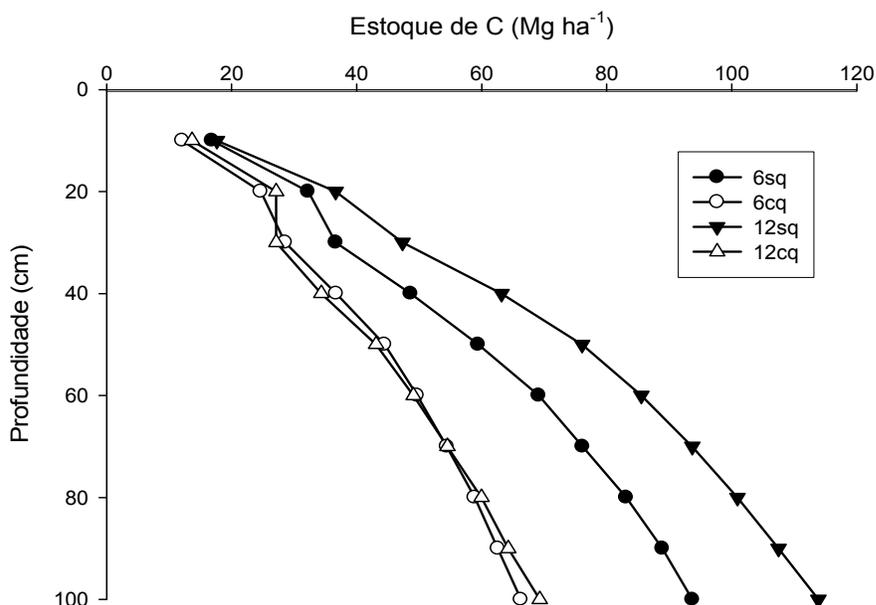


Figura 7 - Estoque de carbono acumulado no solo até a profundidade de 100 cm, nas áreas de cana com seis e doze anos após a reforma, nos manejos com e sem queima, corrigido para mesma massa de solo. VN – Área de vegetação Nativa; 6sq e 6cq - áreas de 6 anos de cultivo sem e com queima respectivamente; 12sq e 12cq áreas de 12 anos de cultivo sem e com queima respectivamente

Observou-se ainda que a maior parte dos artigos relacionados a dinâmica da matéria orgânica apresenta somente resultados de teores no solo e não de estoque. Contudo, segundo Galdos et al. (2009), o estoque de C é um conceito com maior utilidade na avaliação do impacto de diferentes manejos do solo, por se tratar da medida de massa em um volume específico de solo, além de levar em consideração a densidade do solo.

### 2.3.7 Teor de nitrogênio no solo

Foram observados maiores teores de N para as áreas de VN e 12sq até 20 cm de profundidade, diferenciando-se estatisticamente das demais áreas avaliadas (Tabela 8). Assim como ocorreu para os teores de C, os maiores teores de N observados devem-se à deposição da liteira na área de VN e de restos culturais no caso das áreas de cana. Para as áreas com queima, os teores foram inferiores em decorrência da eliminação da maior parte dos resíduos orgânicos.

Tabela 8 - Teor de nitrogênio no solo nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-30 cm nas áreas de cana-de-açúcar com seis e doze anos com e sem queima após a reforma e uma área de vegetação nativa para fins de comparação. Os resultados apresentam médias de cinco repetições e seus respectivos desvios padrões

Área	Profundidade (cm)						DMS	CV
	0-10		10-20		20-30			
	-----g kg <sup>-1</sup> -----							%
VN	2,20 ± 0,45	Aa	1,45 ± 0,26	ABb	1,05 ± 0,17	ABb	0,53	20
6sq	1,24 ± 0,21	Ba	1,01 ± 0,04	Cb	0,95 ± 0,05	Bb	0,22	12
12sq	1,78 ± 0,11	Aa	1,66 ± 0,13	Aab	1,50 ± 0,08	Ab	0,19	7
6cq	1,25 ± 0,15	Ba	1,15 ± 0,27	BCa	1,12 ± 0,49	ABa	0,56	28
12cq	1,25 ± 0,17	Ba	1,20 ± 0,17	BCa	1,10 ± 0,12	ABa	0,26	13
DMS	0,47		0,37		0,45			
CV %	16		15		21			

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%, sendo que as letras minúsculas comparam os valores na horizontal e as maiúsculas comparam valores na vertical. DMS - Diferença mínima significativa, CV% - coeficiente de variação. As siglas VN – Área de vegetação nativa; 6sq e 6cq - áreas de 6 anos de cultivo sem e com queima respectivamente; 12sq e 12cq – áreas de 12 anos de cultivo sem e com queima respectivamente.

Na profundidade de 20-30 cm, apesar da área de 12sq ter apresentado uma tendência de maior teor de N no solo, ocorreu diferença estatística somente quando comparado com a área de 6sq apresentando teores de 0,95 e 1,5 g kg<sup>-1</sup> para as áreas de 6sq e 12sq respectivamente. Para as demais situações os teores foram similares entre si (Tabela 8). Luca et al. (2008) avaliando áreas de cana com e sem queima da palhada após 3 anos em um Latossolo Vermelho distroférrico até 40 cm de profundidade, não verificaram diferença estatística entre as áreas, sendo que os teores variaram de 1,04 a 1,45 g kg<sup>-1</sup> de N. Os mesmos autores avaliando os teores de N em um Argissolo Vermelho-Amarelo ditrófico, observaram valores variando de 0,45 a 0,71 g kg<sup>-1</sup> de N, e variação de 0,19 a 0,50 g kg<sup>-1</sup> de N para um Neossolo Quartzarênico. Para nenhum dos solos foi verificada diferença estatística entre os tratamentos com e sem queima da palhada. Robertson e Thorburn (2007) avaliando o teor de N em áreas de cana na Austrália em três condições climáticas (Subtropical, Tropical e Tropical úmido), após 6 anos de cultivo observaram na região tropical entre as áreas de cana com e sem queima, diferença significativa com maior teor na área sem queima em relação a área com queima para a maioria das avaliações até a profundidade de 10 cm. Para a região com clima tropical úmido, ocorreu diferença significativa até a profundidade de 25 cm. Para as regiões com clima subtropical os mesmos autores não observaram diferença estatística em função do manejo da colheita. Graham et al. (2002) avaliando área de cana-de-açúcar na África do Sul, após 61 anos de cultivo no manejo com e sem queima, verificaram que tanto o C como o N apresentaram maiores teores para os tratamento sem queima da palha, (mas

com aplicação de fertilizantes) em relação as demais situações avaliadas até 10 cm de profundidade.

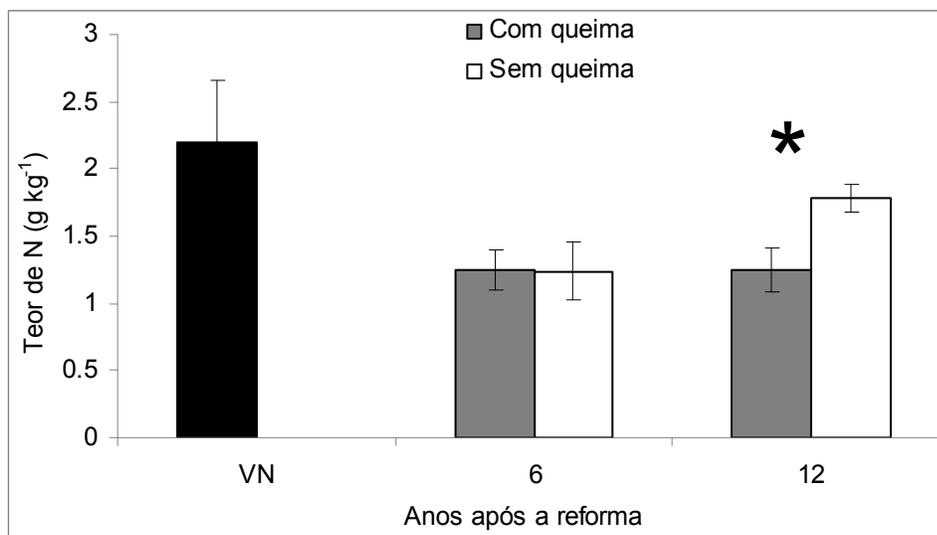


Figura 8 - Teor de nitrogênio do solo na profundidade de 0-10 cm, para a vegetação nativa e nas áreas de cana, seis e doze anos após a reforma, com correção para mesma massa de solo. O asterisco indica que houve diferença estatística a 5% de significância entre os tratamentos com e sem queima, para cada ponto da cronosequência. O desvio padrão está representado pelas linhas verticais acima das barras

### 2.3.8 Estoque de Nitrogênio

Assim como realizado para os cálculos dos estoques de C, calculou-se também os estoques de N considerando o teor e a densidade do solo. Inicialmente foi desconsiderado o ajuste para a mesma massa de terra. Neste caso, a tendência para o N foi a mesma descrita para o C, no qual a VN apresentou estoques próximos em relação as áreas de 12 anos de cultivo para a camada de 0-30 cm de profundidade. Os estoques para as áreas de 12cq e 12sq após a reforma apresentaram valores de 4,86 e 5,18 Mg ha<sup>-1</sup> respectivamente, enquanto que para a área sob VN obteve-se 4,33 Mg ha<sup>-1</sup> (Figura 9).

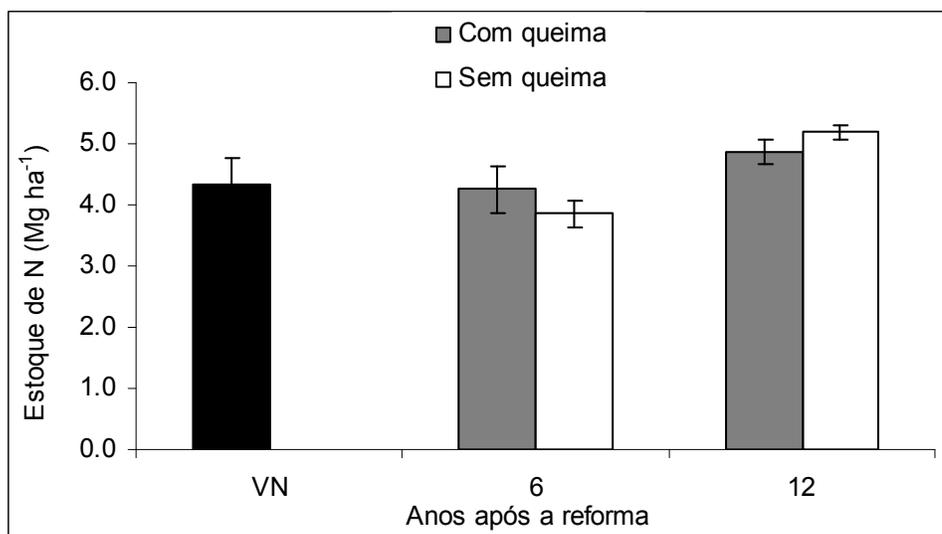


Figura 9 - Estoque de nitrogênio do solo na profundidade de 0-30 cm, na vegetação nativa (VN) e nas áreas de cana, 6 e 12 anos após a reforma do canal, sem correção para mesma massa de solo. O desvio padrão está representado pelas linhas verticais acima das barras

Quando realizado o ajuste para a mesma massa de solo, os estoques de N reduziram-se semelhantemente ao que ocorreu para o C no solo (Figura 10). A redução foi maior para as áreas de 6cq, passando (de 4,26 para 3,25 Mg ha<sup>-1</sup>) 6sq (de 3,85 para 3,11 Mg ha<sup>-1</sup>) e 12cq (de 4,86 para 3,29 Mg ha<sup>-1</sup>). O motivo para tais reduções é provavelmente em função da maior densidade do solo nestas áreas, ocasionada pelo tráfego de máquinas nas áreas de cana, o qual pode ter contribuído para a compactação do solo.

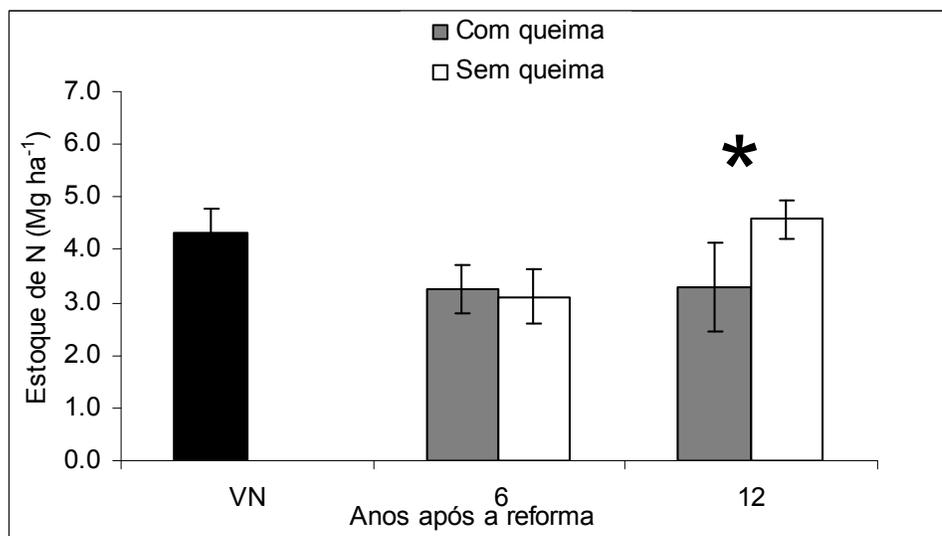


Figura 10 - Estoque de nitrogênio do solo na profundidade de 0-30 cm, na vegetação nativa (VN) e nas áreas de cana, 6 e 12 anos após a reforma do canal, com correção para mesma massa de solo. O asterisco indica que houve diferença estatística a 5% de significância entre os tratamentos com e sem queima, para cada ponto da cronossequência. O desvio padrão está representado pelas linhas verticais acima das barras

Em decorrência da interferência da densidade do solo nos estoques, assim como ocorreu para o C, os resultados serão discutidos somente com relação aos dados ajustados para a mesma massa de solo. Na Tabela 9 pode-se verificar que o N na camada superficial (0-10 cm), foi superior para as áreas de VN e 12sq, quando comparada com as demais áreas avaliadas. O maior estoque na área de 12sq deve-se provavelmente a maior deposição da palhada, assim como para a VN, estes resultados são coerentes com os obtidos para o C conforme já discutidos anteriormente. Para as áreas de 12cq, 6cq e 6sq os resultados foram similares entre si variando de 3,11 a 3,29 Mg ha<sup>-1</sup> (Tabela 9).

Tabela 9 - Estoque de nitrogênio do solo nas profundidades de 0-10, 0-30, 0-50 e 0-100 cm nas áreas de cana-de-açúcar com seis e doze anos com e sem queima após a reforma do canavial com correção pela mesma massa de solo, e uma área de vegetação nativa para fins de comparação. Os resultados apresentam médias de cinco repetições e seus respectivos desvios padrões

Área	Camada de solo (cm)			
	0-10	0-30	0-50	0-100
	-----Mg ha <sup>-1</sup> -----			
VN	1,87 ± 0,35 a	4,33 ± 0,43 a	5,77	8,23
6sq	1,07 ± 0,23 c	3,11 ± 0,51 ab	4,97	7,60
12sq	1,48 ± 0,12 b	4,59 ± 0,36 a	7,27	10,77
6cq	1,05 ± 0,16 c	3,25 ± 0,47 ab	4,75	6,84
12cq	1,05 ± 0,23 c	3,29 ± 0,83 b	5,20	8,15
DMS	0,37	1,23		
CV%	15,16	18,3		

VN – Área de vegetação Nativa; 6sq e 6cq - áreas de 6 anos de cultivo sem e com queima respectivamente; 12sq e 12cq – áreas de 12 anos de cultivo sem e com queima respectivamente. DMS - Diferença mínima significativa, CV% - coeficiente de variação. Médias seguidas pela mesma letra na vertical não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Na profundidade de 0-30 cm, ocorreu diferença estatística entre as áreas de 12 anos, sendo superior para o manejo sem queima com estoque de 4,59 Mg ha<sup>-1</sup> em relação ao com queima 3,29 Mg ha<sup>-1</sup>, resultando em incremento de 39 %. No entanto, foi significativa somente entre as áreas de 12 anos de cultivo, sendo que para as demais situações não ocorreu diferença estatística (Tabela 9). Resultados semelhantes foram obtidos por Luca et al. (2008) comparando áreas com e sem queima da palha em Latossolo Vermelho distroférico após 4 anos de cultivo. Os autores relatam estoques de 3,37 e 3,74 Mg ha<sup>-1</sup> para as áreas com e sem queima, respectivamente. Já para as avaliações de um Agissolo Vermelho-Amarelo distrófico e um Neossolo Quartzarênico,

os estoques variaram entre 0,87 e 2,17 Mg ha<sup>-1</sup> de N. Nesta profundidade de 0-30 cm, verifica-se ainda que o estoque de N em relação ao contido na camada de 0-100 cm foi de 53; 41; 47; 43 e 40% respectivamente para as áreas de VN, 6sq, 6cq, 12sq, 12cq. Como pode-se observar, para as áreas de cana-de-açúcar a proporção foi similar, sendo que a área de 12cq apresentou maior proporção entre os estoques nas camadas de 0-30 e 0-100 cm, fato este decorrente da maior densidade do solo em superfície.

O aumento do N em função do tempo na camada 0-30 cm, passou de 3,1 para 4,6 Mg ha<sup>-1</sup> entre as áreas de 6sq para 12sq respectivamente. proporcionando um incremento de 0,25 Mg ha<sup>-1</sup> de N por ano, ou de 48 % no período dos 6 anos (Tabela 9). Canellas et al. (2007) verificaram acréscimo no estoque de N de 35 % na camada superficial, passando de 4,14 para 6,25 Mg ha<sup>-1</sup> para as áreas de cana com queima e sem queima respectivamente, e 20% para a camada subsuperficial do solo. Esta redução é plausível, pois há relação estreita entre o estoque de C e N no solo, já que a maior parte do N do solo encontra-se nos compostos orgânicos (CAMARGO; SANTOS; GUERRA, 1999).

A diferença nos teores e estoques de N ocorreu pela eliminação da palhada pela combustão realizada na pré colheita da cana, fator que condiciona a uma estabilização ao longo do tempo, porém abaixo dos valores originais sob VN. Para as áreas onde se realiza colheita mecanizada, a produção da palhada permanece no solo, conseqüentemente seus teores e estoques são elevados com tendendência de estabilizar após vários anos de cultivos. Diante destes resultados, pode-se verificar que o sistema conservacionista com a manutenção da palhada no solo possibilita um incremento no estoque de N semelhante ao ocorrido para o estoque de C no solo (CANELLAS et al., 2007; LUCAS et al., 2008; GALDOS et al., 2009).

Na Figura 11 verifica-se o comportamento dos estoques de N nas camadas de 0-10, 0-30, 0-50 e 0-100 cm de profundidade para as áreas de 6 e 12 anos de cultivo. O comportamento para as áreas de 12 anos foram semelhante ao ocorrido para os estoques de C no solo, onde ocorreu diferença estatística nas profundidades 0-10 e 0-30 cm. Para as demais profundidades (0-50 e 0-100 cm) não foi efetuada análise estatística, uma vez que foi obtida somente uma repetição a partir das camadas abaixo de 40 cm para cada área. Galdos (2007) avaliando área de 2 e 8 anos de cultivo, também verificou diferença estatística quando calculou os estoques para 0-10, 0-20, 0-50 e 0-100 cm de profundidade.

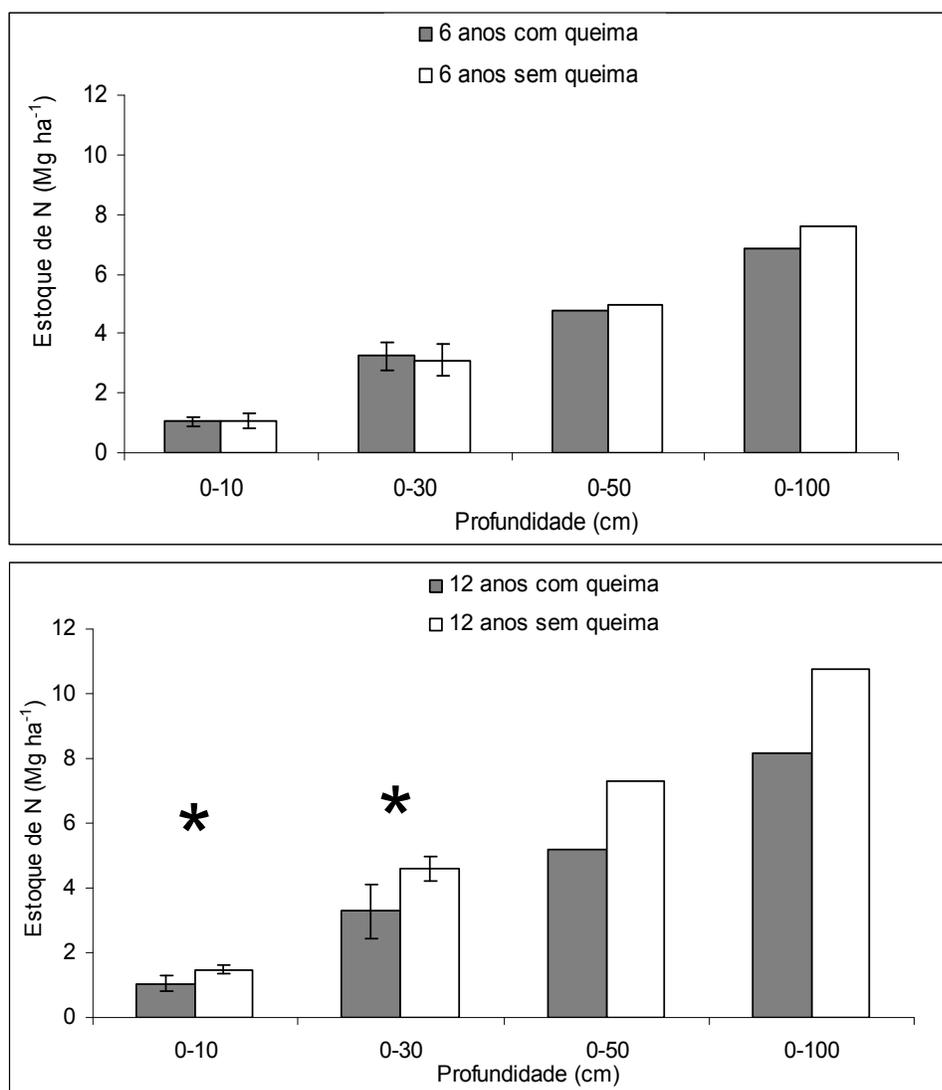


Figura 11 - Estoque de nitrogênio do solo nas profundidades de 0-10, 0-30, 0-50 e 0-100 cm nas áreas de cana-de-açúcar com seis e doze anos após a reforma do canal, com correção para mesma massa de solo. O asterisco indica que houve diferença estatística a 5% de significância entre os tratamentos com e sem queima. O desvio padrão está representado pelas linhas verticais acima das barras

Para as áreas de 6 anos de manejo os estoques foram similares até a profundidade de 0-100 cm. Estes resultados corroboram com os obtidos por Galdos (2007), para uma área de 6 anos de cultivo com cana.

Como pode ser observado na discussão dos resultados, são poucas as referências bibliográficas relacionadas ao estudo dos estoques de N no solo, sendo que a maior parte dos estudos da matéria orgânica do solo, está relacionada aos teores e estoque de C no solo. Isso

ocorre em função dos maiores teores encontrados nos solos, e conseqüentemente, apresentando maior impacto ambiental em comparação aos estudos envolvendo o N.

### **2.3.9 Relação C/N do solo**

Na Tabela 10 estão apresentados os resultados da relação C/N do solo para as áreas avaliadas. Os resultados foram condizentes ao esperado, pois comparando as áreas de cana-de-açúcar com a área sob VN, observam-se valores muito próximos entre si, variando entre 10,27 a 13,20 exceto para a área de 6sq, o qual apresentou relação superior até a camada de 30 cm de profundidade (relação C/N entre 13,97 e 16,4). Luca et al. (2008) afirmam que a diferença entre as relações C/N dos manejos com queima e sem queima num mesmo solo, é um indicativo que a palhada ainda não está bem decomposta. Esta diminuição da relação C/N é condicionada pelo consumo da palhada pelos microrganismos do solo, sendo esse processo um indicativo da humificação da MO do solo. Segundo Luca et al. (2008), a decomposição e humificação se processam mais rapidamente em solos arenosos em comparação aos solos argilosos. A não diferença estatística entre as áreas com queima e sem queima para as áreas de 12 anos ocorre porque o solo passa a atingir um novo equilíbrio dinâmico em função do processo de decomposição culminando na diminuição da relação C/N ao longo dos anos em função do manejo do solo e aplicação de fertilizantes nitrogenados. Graham et al. (2002) em cultivo de cana em um Vertissolo, atribuíram a menor relação C/N ou mesmo a não ocorrência de diferença significativa entre as camadas avaliadas, pelo suprimento de N tanto dos resíduos vegetais como dos fertilizantes aplicados. Robertson e Thorburn (2007) verificaram que até a profundidade de 10 cm os tratamentos sem queima da palhada apresentaram taxa de decomposição maior em relação a área com queima da palhada após dois anos de cultivo na Austrália.

Tabela 10 - Relação carbono / nitrogênio do solo nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-30, 50-60 e 90-100 cm nas áreas de cana-de-açúcar e uma área de vegetação nativa para fins de comparação. Os resultados apresentam médias de cinco repetições e seus respectivos desvios padrões

Área	Camada de solo (cm)				
	0-10	10-20	20-30	50-60	90-100
VN	12,64 ± 0,003 b	12,81 ± 0,003 b	13,14 ± 0,005 a	13,64	14,88
6sq	16,40 ± 0,006 a	15,61 ± 0,002 a	13,97 ± 0,005 a	13,53	12,62
12sq	12,16 ± 0,005 b	11,69 ± 0,005 b	11,36 ± 0,004 b	11,38	11,17
6cq	11,54 ± 0,027 b	11,34 ± 0,007 b	10,27 ± 0,006 b	11,60	11,06
12cq	13,20 ± 0,002 b	12,33 ± 0,115 b	11,03 ± 0,0045 b	9,68	10,05
DMS	2,06	1,70	1,47		
CV%	8,26	7,05	6,51		

VN – Área de vegetação Nativa; 6sq e 6cq - áreas de 6 anos de cultivo sem e com queima respectivamente; 12sq e 12cq – áreas de 12 anos de cultivo sem e com queima respectivamente. DMS - Diferença mínima significativa, CV% - coeficiente de variação. Médias seguidas pela mesma letra na vertical não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5.

A relação C/N pode variar em função de inúmeros fatores edafoclimáticos, porém para a maioria dos casos apresenta-se com valores entre 10 e 13. Resultados obtidos por Graham et al. (2002) verificaram valores de relação C/N entre 15 a 19 para a maioria dos casos em cana-de-açúcar conduzido na África do Sul. Este fato foi explicado pela alta concentração de esmectita, a qual deve ter apresentado alta atividade na proteção da MO do solo.

Para as demais camadas avaliadas (20-30, 50-60, 90-100) ocorreu maior relação C/N para a área da VN e 6sq em comparação as demais situações. Estudos realizados por Razamfabelo et al. (2006), observaram relação de 13,5 e 13,0 para as camadas de 0-5 e 0-10 cm respectivamente, não apresentando diferença significativa entre as áreas avaliadas. Luca et al. (2008) observaram em seus estudos que a relação C/N apresenta variação em função das características do solo, em estudo conduzido em 3 ordens de solos Brasileiros. Os autores verificaram que para os Latossolo Vermelho distroférico e Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico, a relação C/N variou entre 12,4 e 17,6. Já para o Neossolo Quartzarênico, esta relação foi entre 19,4 a 29,1.

### 2.3.10 Carbono da biomassa microbiana

Em decorrência da dinâmica natural do carbono microbiano, este componente pode responder rapidamente ao manejo ou mudanças do uso do solo, conseqüentemente pode ser considerado como um dos indicadores de maior sensibilidade em relação às mudanças ocorrido nos teores e estoques de C e N do solo (GRAHAM et al., 2002; GALDOS et al., 2009).

Os resultados obtidos neste estudo, conforme esperado, indicam maiores teores de C da BM na camada superficial, (até 10 cm) para todas as áreas avaliadas nas duas épocas de coleta. Entretanto, não houve diferenças significativas entre as áreas sob VN e as áreas de cana-de-açúcar com e sem queima da palhada na estação seca (Tabela 11). Este fato pode ser decorrente da baixa umidade do solo, a qual pode ter influenciado na atividade dos microrganismos.

Os resultados obtidos para a profundidade de 10-20 cm entre as áreas de cana-de-açúcar não apresentaram diferenças estatísticas, porém, a VN foi inferior em comparação a área de 6sq para o solo coletada na estação seca (Tabela 11). Mesmo não apresentando diferença estatística entre as áreas de cana, nas Figuras 12 e 13 pôde-se verificar um maior teor de C nas áreas de cana com o manejo sem queima da palhada, principalmente quando avaliado em profundidade. Estes resultados corroboram com os obtidos por Galdos et al. (2009), os quais avaliando áreas de cana em cronossequência de 2, 6 e 8 anos de cultivo, verificaram maiores teores de C nas áreas com o manejo sem queima da palhada e em superfície. Verificaram ainda redução dos teores de C na conversão da mata para a cana e posterior aumento com a manutenção da palha após a colheita, principalmente em áreas mais antigas com o manejo da cana. Dominy, Haynes e Van Antwerpen (2002) observaram em áreas de 20 a 30 anos de cultivo de cana-de-açúcar em ensaio conduzido na África do sul, menores teores de C da biomassa em comparação as áreas de VN.

Tabela 11 - Carbono da biomassa microbiana do solo coletadas nas épocas de seca (agosto) e época chuvosa (Fevereiro). Os resultados apresentam médias de cinco repetições e seus respectivos desvios padrões

Áreas	Carbono da biomassa microbiana			
	Agosto 2008 (estação seca)		Fevereiro 2009 (estação úmida)	
	0 - 10 cm	10 - 20 cm	0 - 10 cm	10 - 20 cm
	-----mg kg <sup>-1</sup> -----			
VN	502 ± 184 a	409 ± 176 b	788 ± 221 a	619 ± 159 a
6sq	717 ± 56 a	648 ± 92 a	542 ± 168 ab	480 ± 136 a
6cq	542 ± 92 a	529 ± 73 ab	437 ± 79 b	481 ± 94 a
12sq	682 ± 169 a	509 ± 81 ab	678 ± 27 ab	649 ± 61 a
12cq	495 ± 117 a	468 ± 113 ab	553 ± 71 ab	511 ± 59 a
DMS	233	212	253	207
CV %	21	22	22	20

VN (Vegetação nativa); 6sq (6 anos sem queima), 6cq (6 anos com queima); 12sq (12 anos sem queima); 12cq (12 anos com queima). Média seguida pela mesma letra na vertical não difere entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Luca et al. (2008) também observaram em áreas de cana-de-açúcar sem queima da palhada maiores teores de C da BM em comparação a área com queima em um Latossolo Vermelho distrófico principalmente na camada superficial. Para as camadas de 10-20 e 20-30 cm também obtiveram maiores teores de C nas áreas sem queima em relação às áreas com queima da palha. Meier e Thorburn (2006) em estudo conduzido em áreas de cana-de-açúcar com aproximadamente 80 anos de cultivo e 15 anos de adoção de sistema sem queima da palhada no norte da Austrália, verificaram maiores teores de C da BM para as áreas sem queima da palhada em relação a área com queima. Blair (2000) também observou decréscimo de 11 % do teor de C após 8 anos de manejo, quando comparou áreas sem queima com uma área com queima da palha em solo de textura média na Austrália.

Robertson e Thorburn (2007) avaliando a BM em três situações de clima na Austrália, verificaram que para a região de clima subtropical, não houve diferença estatística entre as áreas avaliadas, enquanto que para as demais regiões estudadas para as situações sem queima apresentaram maiores teores na camada de 10 cm de profundidade, assim como os apresentados neste trabalho (Figura 12). Isso ocorre em função da maior deposição da palhada no solo em comparação as áreas de cana com queima.

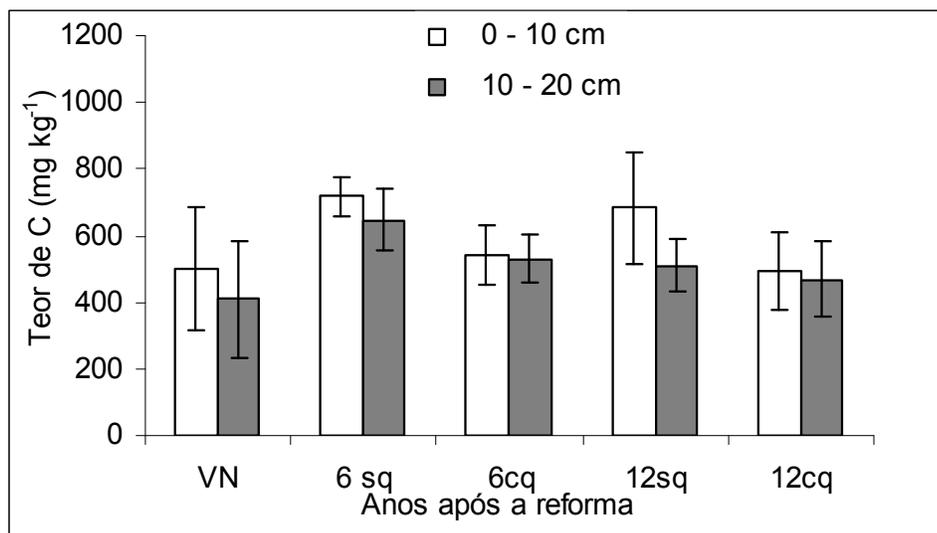


Figura 12 - Teor de carbono da biomassa microbiana do solo coletadas na época seca nas profundidades de 0-10, 10-20, cm nas áreas de cana-de-açúcar com seis anos com e sem queima após a reforma (6cq, 6sq), áreas de 12 anos com e sem queima (12cq, 12sq), e uma área de vegetação nativa (VN). O desvio padrão está representado pelas linhas verticais acima das barras

Não foram verificados valores maiores de C da BM na coleta da estação úmida em comparação a estação seca nas duas profundidades avaliadas (Tabela 11). Isto pode ser decorrente da morte de parte dos microorganismos, uma vez que a coleta do solo na estação úmida ocorreu com alto teor de água, conseqüentemente a forma de armazenamento proposto nas metodologias no qual se armazena em sacos plásticos contendo um respiro, provavelmente não foi o suficiente para impedir a morte dos microorganismos em função da alta umidade e tempo decorrido entre a coleta e análise. Outra possível explicação poderia ser dada pela morte de parte dos microorganismos no próprio campo, no qual o solo encontrava-se saturado com água em decorrência da significativa precipitação ocorrida nos dias que antecederam a coleta das amostras.

Na camada de 10-20 cm para a estação úmida, os valores do C da BM das áreas cultivadas com cana apresentaram variação de 480 a 649 mg kg<sup>-1</sup>, enquanto que na área sob VN apresentou 619 mg kg<sup>-1</sup> de C (Tabela 11). Em superfície, a área de 6cq apresentou menor teor em comparação às demais áreas, o qual deve-se à baixa deposição de palhada nesta área (Figura 13). Graham et al. (2002) avaliando o teor de C da BM em áreas de cana em um experimento com 60 anos de condução na África do Sul, verificaram diferença estatística até 30 cm de profundidade. Os autores observaram que a BM apresenta maior sensibilidade ao manejo do solo, uma vez que verificaram que os incrementos significativos nos teores totais de C foram somente para a camada de 0 a 10 cm, enquanto que para a BM foi até 30 cm de profundidade.

O tempo de adoção do sistema sem queima da palhada pode ser um fator relevante para que ocorra incremento significativo do teor de C da BM. Robertson e Thorburn (2007) verificaram incremento significativo no teor de C da BM somente em áreas de 6 anos sob o sistema de cultivo sem queima. Galdos et al. (2009) avaliando a BM em áreas de cana com e sem queima em cronossequência com 2, 4, 6 e 8 anos de cultivo verificaram na área de VN valor de 618 mg kg<sup>-1</sup> de C, enquanto que nas áreas de cana houve variação de 144 a 412 mg kg<sup>-1</sup> de C para a camada superficial. Já para o presente estudo a área sob VN na profundidade de 0-10 cm apresentou 788 mg kg<sup>-1</sup> de C no solo, enquanto que nas áreas de cana estes valores variaram entre 437 a 648 mg kg<sup>-1</sup> de C, valores superiores aos obtidos por Galdos et al. (2009).

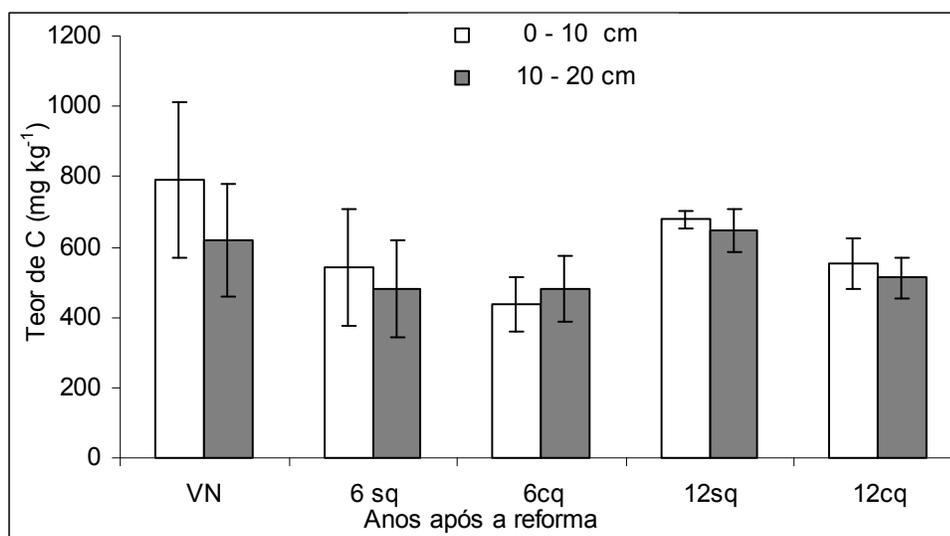


Figura 13 - Teor de carbono da biomassa microbiana do solo coletadas na época chuvosa nas profundidades de 0-10, 10-20, cm nas áreas de cana-de-açúcar com seis anos com e sem queima após a reforma (6cq, 6sq), áreas de 12 anos com e sem queima (12cq, 12sq), e uma área de vegetação nativa (VN). O desvio padrão está representado pelas linhas verticais acima das barras

### 2.3.11 Nitrogênio da biomassa microbiana

Na Tabela 12 são apresentados os teores de N da BM coletadas nas estações seca e chuvosa. Na estação seca para as profundidades de 0-10 cm e 10-20 cm a VN apresentou teores semelhantes em comparação às áreas de cana, não sendo verificada diferença estatística entre as áreas. Este efeito deve-se a alta variação do desvio padrão ocorrido nas determinações, assim como ocorreu para o C da BM.

Tabela 12 – Teores de nitrogênio da biomassa microbiana do solo coletadas na estação da seca (agosto) e época chuvosa (Fevereiro). Os resultados apresentam médias de cinco repetições e seus respectivos desvios padrões

Áreas	Nitrogênio da biomassa microbiana			
	Agosto 2008 (estação seca)		Fevereiro 2009 (estação úmida)	
	0 - 10 cm	10 - 20 cm	0 - 10 cm	10 - 20 cm
	-----mg kg <sup>-1</sup> -----			
VN	72 ± 12 a	47 ± 26 a	146 ± 19 ab	116 ± 40 ab
6sq	45 ± 20 a	38 ± 15 a	210 ± 40 a	149 ± 33 a
6cq	42 ± 25 a	50 ± 11 a	39 ± 29 c	32 ± 16 c
12sq	60 ± 21 a	50 ± 14 a	204 ± 72 a	167 ± 57 a
12cq	52 ± 21 a	40 ± 15 a	81 ± 45 b	62 ± 25 bc

VN (Vegetação nativa); 6sq (6 anos sem queima), 6cq (6 anos com queima); 12sq (12 anos sem queima); 12cq (12 anos com queima). Médias seguidas pela mesma letra na vertical não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 %.

Graham et al. (2002) estudando áreas de cana-de-açúcar na África do Sul, verificaram que o N da BM apresentou maiores teores para o tratamento sem queima da palha até a profundidade de 30 cm. Os mesmos autores verificaram ainda que o incremento de N foi de 3 vezes superior para áreas de cana sem queima da palhada. Luca et al. (2008) observaram maiores teores de N da BM em áreas de cana cultivada sem queima da palhada para um Latossolo Vermelho distrófico não somente na camada superficial, mas também nas camadas de 10-20 e 20-30 cm. Meier e Thorburn, (2006) constataram para um Latossolo da Austrália, maiores teores de N da BM para as áreas sem queima da palhada em relação a área com queima. Entretanto, para o N da BM (Figura 14), assim como para o C (Figura 12), não ocorreu diferença estatística entre as áreas com deposição da palhada em superfície e as áreas com queima da palhada na estação seca. Isso pode ser explicado pelas condições inapropriadas para a atividade microbiana neste período, decorrente da baixa umidade do solo principalmente.

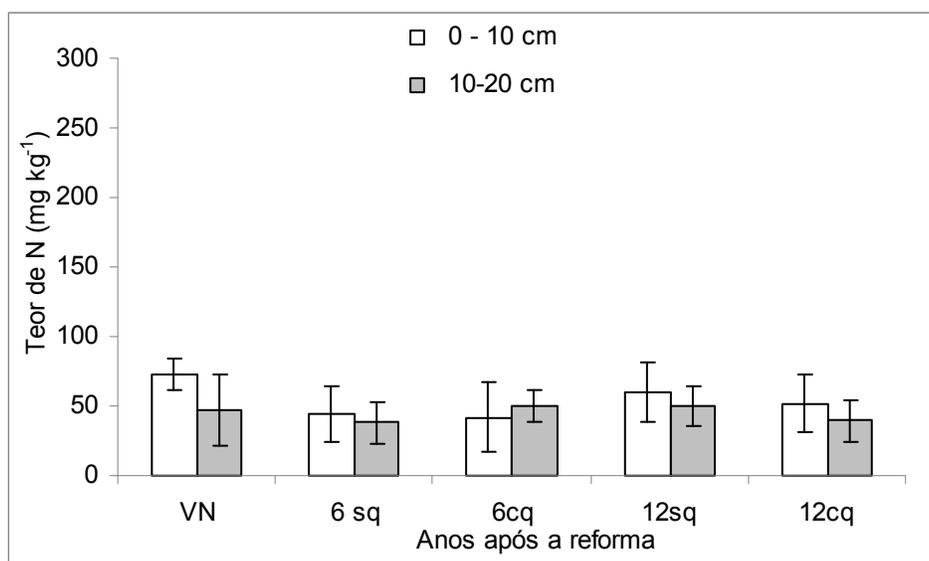


Figura 14 - Teor de nitrogênio da biomassa microbiana do solo coletadas na época seca nas profundidades de 0-10, 10-20, cm nas áreas de cana-de-açúcar com seis anos com e sem queima após a reforma do canavial (6cq, 6sq), áreas de 12 anos com e sem queima (12cq, 12sq), e uma área de vegetação nativa (VN). O desvio padrão está representado pelas linhas verticais acima das barras

A coleta realizada na estação úmida apresentou diferença estatística entre as áreas de cana-de-açúcar sem queima, em comparação as áreas com queima (Figura 15), assim como semelhança estatística entre a VN e áreas de cana sem queima nas duas profundidades avaliadas (Tabela 12).

Foi possível verificar ainda, que entre as coletas (época seca e úmida) o teor de N apresentou significativo incremento na estação chuvosa, principalmente para as áreas de cana sem queima e para a área sob VN. O aumento foi de 2 a 3 vezes para as áreas de cana sem queima, passando de 40 para aproximadamente 200 mg kg<sup>-1</sup> de N de solo, e de 40 para 60 mg kg<sup>-1</sup> de N de solo nas áreas de cana com queima da palhada. Neste caso podemos verificar a significativa contribuição da palhada na atividade microbiana do solo.

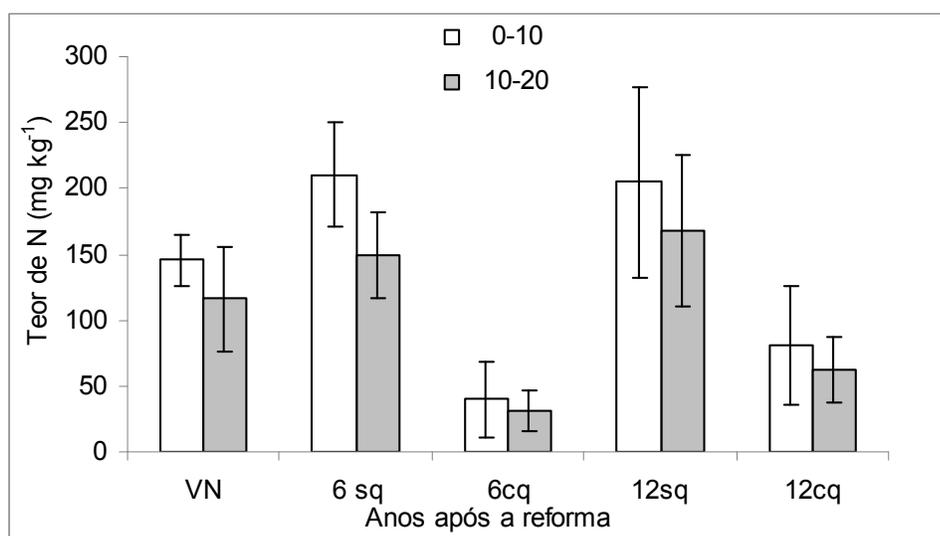


Figura 15 - Teor de nitrogênio da biomassa microbiana do solo coletadas na época chuvosa nas profundidades de 0-10, 10-20, cm nas áreas de cana-de-açúcar com seis anos com e sem queima após a reforma do canal (6cq, 6sq), áreas de 12 anos com e sem queima (12cq, 12sq), e uma área de vegetação nativa (VN). O desvio padrão está representado pelas linhas verticais acima das barras

### 2.3.12 Relação C da BM / C total

A relação do C da BM / C total também é um parâmetro que pode auxiliar na identificação de alterações em ecossistemas com interferência antrópica. Na camada 0-10 cm de profundidade do solo, os teores de C da BM / C total para as áreas de cana-de-açúcar variaram entre 2,93 e 3,72 %, enquanto que para a profundidade de 10-20 cm variaram entre 2,64 e 3,97 %. Os valores obtidos neste estudo estão dentro da faixa descrita na literatura para percentagem do C da BM em relação ao C total do solo, que é entre 1 a 4 % (SPARLING, 1992). Resultados apresentados por Suman et al. (2009), em um área de cana-de-açúcar, indicaram proporção entre

2,7 e 3,3 % de C da BM em relação ao C total. Outros trabalhos comparando o cultivo convencional com o plantio direto, verificaram variação entre 1,7 a 2,4 % (LEITE et al., 2004).

Os resultados obtidos para as camadas 0-10 e 10-20 cm, não apresentaram diferenças significativas entre as áreas de cultivo de cana-de-açúcar avaliadas (Tabela 13). Não foi verificado declínio da proporção do C da BM / C total da área sob VN para as áreas de cana-de-açúcar nas duas profundidades avaliadas. Galdos et al. (2009) observaram para a VN, maior participação do C da BM nas duas profundidades avaliadas (0-10 e 10-20 cm), assim como verificaram maior percentagem de C da BM das áreas de cana sem queima da palhada em comparação às áreas com queimada. Dominy, Haynes e Van Antwerpen (2002) também verificaram declínio da proporção de C da BM / C total, na conversão da VN para cana-de-açúcar. Estes descreveram declínio de 2,5 % para 1,4% da VN para cana-de-açúcar após 20 a 30 anos de cultivo na África do Sul para um Latossolo Argiloso.

Tabela 13 - Relação C da BM / C total do solo nas profundidades de 0-10, 10-20 cm nas áreas de cana-de-açúcar e uma área de vegetação nativa para fins de comparação. Os resultados apresentam médias de cinco repetições e seus respectivos desvios padrões

Área	Camada de solo (cm)	
	0-10	10-20
	-----%-----	
VN	1,84 ± 0,72 b	2,40 ± 0,84 b
6sq	3,71 ± 0,63 a	3,97 ± 0,52 a
12sq	3,66 ± 1,78 a	2,64 ± 0,56 ab
6cq	3,72 ± 0,38 a	3,78 ± 1,41 a
12cq	2,93 ± 0,77 ab	3,09 ± 0,57 ab
DMS	1,70	1,37
CV %	28,33	19,77

VN – Área de vegetação nativa; 6sq e 6cq - áreas de 6 anos de cultivo sem e com queima respectivamente; 12sq e 12cq – áreas de 12 anos de cultivo sem e com queima respectivamente. Médias seguidas pela mesma letra na vertical não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

### 2.3.13 Fluorescência

O menor grau de humificação dos AH foi observado para a VN nas duas profundidades avaliadas em comparação às áreas de cana-de-açúcar. Mahieu et al. (2002) verificaram resultados similares quando compararam áreas de VN com área cultivada com arroz, pois o incremento dos

resíduos vegetais proporcionou diminuição do grau de humificação. Para a área de 19sq nas duas profundidades o grau de humificação foi maior em relação às demais áreas de cana-de-açúcar para as três metodologias aplicadas (Tabela 14). Entre as metodologias utilizadas, todas apresentaram correlações superiores a 86% chegando até 98% quando correlacionadas uma a outra, tanto para os AH como para os AF nas duas profundidades avaliadas, comprovando à coerência e boa correlação dos dados corroborando com Milori et al. (2002).

Tabela 14 - Grau de humificação dos ácidos húmicos para as diferentes áreas avaliadas nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm, utilizando metodologias para avaliação propostas por Zslonay et al. (1999) através da relação  $A_4/A_1$ , Kalbitz et al. (1999) com a relação  $I_{465}/I_{399}$ , e por Milori et al. (2002) através do comprimento de onda em  $A_{465}$

Áreas	Ácidos Húmicos		
	$A_4/A_1$	$I_{465} / I_{399}$	$A_{465}$
-----0-10 -----			
VN	0,60	2,23	119,01
12sq	0,83	2,47	150,95
12cq	0,84	2,52	155,04
19sq	1,36	3,68	212,56
-----10-20 -----			
VN	0,85	2,74	204,16
12sq	0,76	2,43	159,00
12cq	0,88	2,54	156,47
19sq	1,17	3,03	184,85

VN – vegetação nativa, (12sq e 12cq) – áreas de cana com 12 anos sem e com queima da palhada respectivamente, 19sq - área de cana com 19 anos sem queima da palhada.

O menor grau de humificação na área de VN em comparação as demais áreas avaliadas ocorreu provavelmente pela maior deposição de resíduos vegetais em superfície de forma contínua. Desta forma, as maiores concentrações de microorganismos estão localizadas em superfície, sendo coerente com os resultados obtidos no teor do C da BM apresentado anteriormente. Esta predominância de microorganismos em superfície conduz a uma maior entrada de compostos metabolizados no solo, possibilitando uma decomposição do material mais recalcitrante, onde a fonte de energia é a fração da MO mais lábil do solo (ZECH et al., 1997, STEVENSON, 1994). Milori et al. (2002) e Bayer et al. (2002) mencionam que o menor grau de humificação é caracterizado pela menor estabilidade de C no solo, predominando compostos

orgânicos alifáticos com menores concentrações de radicais livres do tipo semiquinona e baixa concentração de cadeias aromáticas.

Quando avaliou-se as áreas de 12 anos, o grau de humificação foi semelhante entre as duas situações de queima e sem queima da palhada pelas três metodologias propostas (ZSOLNAY et al., 1999, KALBITZ et al., 1999, MILORI et al., 2002). Assim como para a VN, a área de 12sq também apresenta maior deposição da palhada em superfície em relação à área de 12cq, comprovado pelo maior teor de C no solo nas camadas superficiais (Tabela 6). O que se esperava era que a área de 12sq fosse caracterizada pelo menor grau de humificação em comparação à área de 12cq, entretanto isto não foi observado. A explicação pode ser em decorrência da estimulação da atividade microbiana após a colheita na área de 12cq, mesmo que nesta área tenha sido realizada a queima, permanece pequena quantidade de material vegetal oriundo da ponteira da cana que fica depositada sob o solo. Este material pode estar proporcionando um efeito “priming”, aumentando a atividade microbiana e posteriormente a degradação do material mais recalcitrante. Estes resultados corroboram com aqueles publicados na revista Nature por Fontaine et al. (2007), que avaliaram o grau de humificação em solos de VN e de pastagem em áreas da França. Esses autores observaram que o grau de humificação na profundidade de 60-80 cm diminuiu após a conversão da VN para solos de pastagem, ocorrendo perdas de C de  $2567 \pm 226$  anos de idade determinada pelos métodos de datação do  $^{14}\text{C}$ . Este fato, segundo os autores, pode ser decorrente do efeito “priming”. Para comprovar a diminuição do grau de humificação, principalmente em profundidade, os mesmos autores realizaram avaliações incubando material lábil em profundidade. Contudo, observaram a liberação de  $\text{CO}_2$  mesmo para o controle, resultando desta forma na degradação dos compostos mais humificados. Pérez-González et al. (2004) avaliando mudanças no grau de humificação dos AH em área de plantio direto comparada a áreas de cultivo convencional, não verificaram diferença no grau de humificação após 5 anos de cultivo. Este fato também pode ser decorrente de poucos anos de cultivo, ou ainda estar relacionado com o efeito priming para a área de cultivo convencional, perdendo o C de maior estabilidade no solo.

A área de 19sq, como mencionado anteriormente, apresentou maior grau de humificação em relação às demais situações avaliadas nas duas profundidades de 0-10 e 10-20 cm. Por ser uma área com deposição de palhada por um longo período, o maior grau de humificação provavelmente deve estar relacionado com a diferença textural do solo em relação às demais

situações, pois a área de 19sq apresenta  $350 \text{ g kg}^{-1}$  de argila, enquanto que as demais áreas apresentam uma média de  $680 \text{ g kg}^{-1}$  de argila na camada superficial. Solos mais arenosos apresentam um processo de degradação mais rápido, contudo as condições para o desenvolvimento da BM em solos mais arenosos, são afetadas com maior intensidade em comparação com as áreas constituídas pelo maior teor de argila. Isto porque a temperatura do solo nas áreas mais arenosas são superiores e o armazenamento de água é inferior.

O grau de humificação dos AH em profundidade (10-20 cm) apresentou tendência de aumentar, principalmente para a área sob VN, em comparação as demais situações avaliadas (Tabela 14). Os sistemas de manejo da cana apresentam maior eficiência em depositar a MO fresca em profundidade em função de algum revolvimento do solo, diferente da área sob VN. Mesmo que a área de VN apresentasse maior deposição de resíduos na superfície do solo e conseqüentemente maior metabolização pelos microorganismos, ocasionando diminuição do grau de humificação, apresentou maior humificação em profundidade, em comparação as áreas de 12 anos. Este fato pode ser decorrente da diminuição da atividade microbiana em amostras coletadas na estação seca para a área sob VN em comparação as áreas de cana-de-açúcar conforme apresentados na Tabela 11. Entre as áreas de 12 anos não foi verificada variação no grau de humificação entre as profundidades 0-10 e 10-20 cm, coerente com os dados do C da BM (Tabela 11). A maior densidade do solo da cana em relação a VN, representa diminuição no armazenamento de água no solo e conteúdo de oxigênio, conseqüentemente podem propiciar condições inapropriadas para o desenvolvimento adequado dos microorganismos. Fontaine et al. (2007) afirmaram em suas avaliações que ocorre redução significativa na atividade microbiana em profundidade, sendo um dos principais fatores, à falta de oxigênio no solo.

O grau de humificação dos AF comparada com os AH foi menor para todas as situações avaliadas (Tabela 15). Estes resultados estão coerentes com os obtidos na literatura em função de serem compostos de cadeias alifáticas com maiores pesos moleculares em comparação aos AH (STEVENSON, 1994).

Tabela 15 - Grau de humificação dos ácidos fúlvicos para as diferentes áreas avaliadas nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm, utilizando metodologias para avaliação proposta por Zslonay et al. (1999) através da relação  $A_4/A_1$ , Kalbitz et al. (1999) com a relação  $I_{465}/I_{399}$ , e por Milori et al. (2002) através do comprimento de onda em  $A_{465}$

Áreas	Ácidos Fúlvicos		
	$A_4/A_1$	$I_{465} / I_{399}$	$A_{465}$
-----0-10-----			
VN	0,39	0,60	54,2
12sq	0,42	0,68	80,40
12cq	0,41	0,69	68,54
19sq	0,62	1,18	111,63
-----10-20-----			
VN	0,57	0,75	71,78
12sq	0,57	0,76	80,00
12cq	0,66	0,78	81,77
19sq	0,86	1,04	102,77

VN – vegetação nativa, (12sq e 12cq) – áreas de cana com 12 anos sem e com queima da palhada respectivamente, 19sq - área de cana com 19 anos sem queima da palhada.

Para a profundidade de 0-10 cm, assim como ocorreu para os AH, o menor grau de humificação também foi verificado para a área de VN e maior grau para a área mais velha de cana-de-açúcar (19sq). Entre as áreas de 12 anos de cultivo, não foram verificadas diferenças no grau de humificação dos AF semelhante ao ocorrido para os AH (Tabela 14). Pérez-González et al. (2004) mencionam que muitos estudos caracterizando a qualidade da MO demonstram que há necessidade de um tempo prolongado para ocorrer diferenças no grau de humificação em função do manejo do solo, corroborando com os dados obtidos neste estudo. Para a área de 19 anos o maior grau de humificação nas duas profundidades avaliadas deve-se aos mesmos fatores da ocorrência para os AH, no qual a textura pode ter sido o principal motivo para o desencadeamento do maior grau de humificação.

Na profundidade de 10-20 cm o grau de humificação para as três áreas (VN, 12sq e 12cq) foi semelhante entre si, sendo estas menores em comparação a área de 19 anos de cultivo (Tabela 14). Isto ocorre em função do menor incremento de MO nas profundidades em subsuperfície em relação à camada superficial. Os AF são caracterizados pelo menor grau de humificação em comparação aos AH, em decorrência do estágio de decomposição diferenciado entre ambos, apresentando desta forma menor peso molecular (GUERRA et al., 2008).

### 2.3.14 Espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier

A Espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR), pode ser utilizada para identificação dos grupos funcionais e determinação da sua relativa distribuição para as situações específicas de estudo. No entanto, não provem informações detalhadas sobre a química ou mudanças específicas da MO (PEREZ-GONZALES, 2004).

Na Figura 16 é apresentado o espectro de FTIR da área de VN, sendo esta considerada como amostra padrão de AH, com suas respectivas bandas de absorção. A mesma é utilizada para fins de comparação com as demais áreas de estudo. Os principais comprimentos de ondas com finalidade de estudo foram identificados conforme Figura 16, e suas atribuições estão apresentadas na Tabela 16.

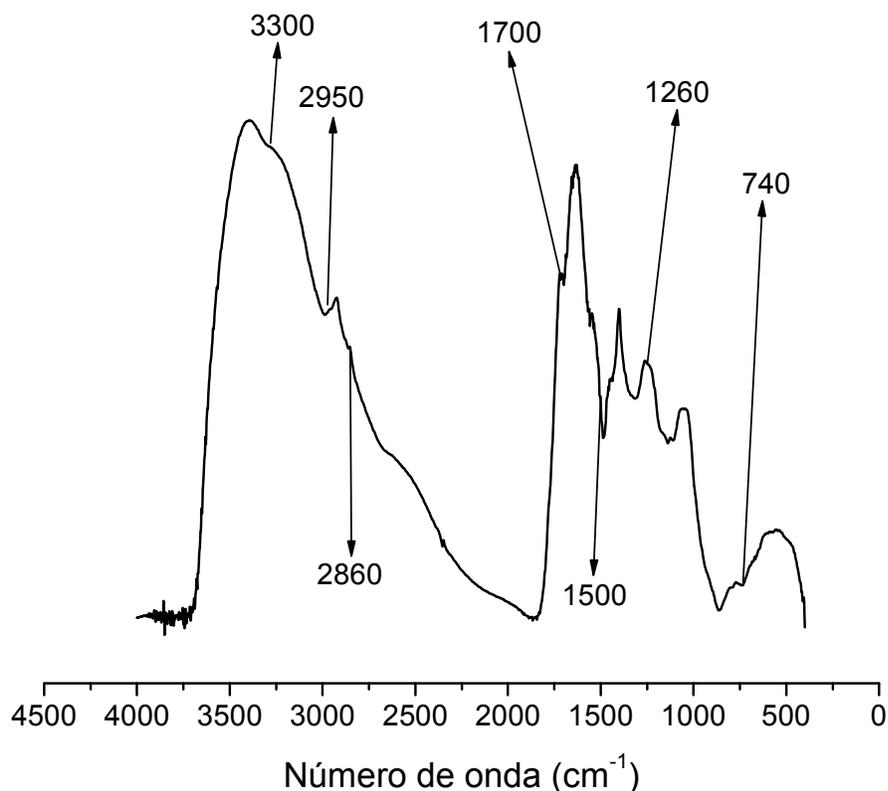


Figura 16 - Espectro na região do infravermelho de amostra de Vegetação Nativa, com as respectivas bandas de absorção

As bandas largas nos comprimentos de ondas de aproximadamente 3000 nm podem estar relacionadas ao estiramento OH de grupamentos carboxílicos, fenólicos e álcoois assim como entre a banda de 2850 e 2900 nm indicam a presença de C-H de hidrocarbonetos alifáticos na composição. Outras bandas são ainda representadas na Tabela 16.

As bandas identificadas com presença principalmente de ácidos carboxílicos e grupamentos fenólicos, representam as regiões nas quais ocorre geração de cargas negativas. Conseqüentemente, podem interagir com os nutrientes no solo avaliados para fins da fertilidade do solo, influenciando na adsorção de  $\text{HPO}_4^{2-}$  ou  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ , maior adsorção de  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{H}^+$  entre outros elementos. Desta forma, proporciona diversos benefícios ao sistema de cultivo ou de um manejo do solo, com incrementos na fertilidade do solo condicionado pelo incremento da matéria orgânica, conseqüentemente refletindo na produtividade agrícola.

As demais bandas também apresentam atribuições específicas com relevância quando se trata de avaliações e influência para os aspectos químicos do solo conforme especificado na Tabela 16. Além destas, outras são encontradas e caracterizadas na literatura conforme material redigido por (CANELLAS, 2005).

Tabela 16 - Principais bandas do espectro IV da amostra padrão de AH e as suas atribuições (CANELLAS, 2005)

Bandas	Atribuições
3500-3300	Estiramento de OH carboxílico, fenol, álcool ou água
2850-2960	Estiramento de C-H alifáticos
1700-1720	C=O de ácidos carboxílicos, aldeídos e cetonas
1630-1700	Estiramento de C=O de $\text{COO}^-$ aromáticos, cetonas ou C=C conjugado com $\text{COO}^-$ ou amidas
1450-1500	C=C de aromáticos e amidas $\text{NH}_2$ ou NH
1200-1300	Estiramento C-O de grupos fenólicos ou ácidos carboxílicos
730-770	Deformação de C-H de anel aromático.

Nas Figuras 17a e 17b estão apresentados os espectros de FTIR dos AH dos solos avaliados para as profundidades de 0-10 e 10-20 cm. Nas duas profundidades os espectros

apresentaram diferenciação nas bandas de 1260 e 1680 nm. A banda de 1260 representa estiramento C-O de grupos fenólicos ou ácidos carboxílicos. Já o comprimento de onda de 1680 nm representa estiramento de C=O de COO<sup>-</sup> aromáticos, ou C=C conjugado com COO<sup>-</sup> (CANELLAS, 2005). Para os dois comprimentos de onda (1260 e 1680 nm) foram verificadas modificações entre as áreas de cana-de-açúcar com a área de VN nas duas profundidades avaliadas. Desta forma pode-se concluir que os solos cultivados com cana de açúcar apresentaram maiores concentrações de grupos fenólicos e carboxílicos em comparação ao solo de VN nas duas profundidades avaliadas. Mahieu et al. (1999) também verificaram maiores concentrações de C aromático nos AH em solos cultivados com arroz em relação à área de VN. Gonzales-Perez et al. (2004) observaram menores concentrações de C aromático para áreas de VN em relação às áreas de plantio direto com cultivo de culturas anuais tais como milho e soja. Canellas et al. (2007) relatam que as áreas cultivadas com cana-de-açúcar por longo tempo com preservação da palhada corresponderam a um aumento no grau de aromaticidade. Outros autores tais como Milori et al. (2002) e Bayer et al. (2002) em seus estudos verificaram a mesma tendência.

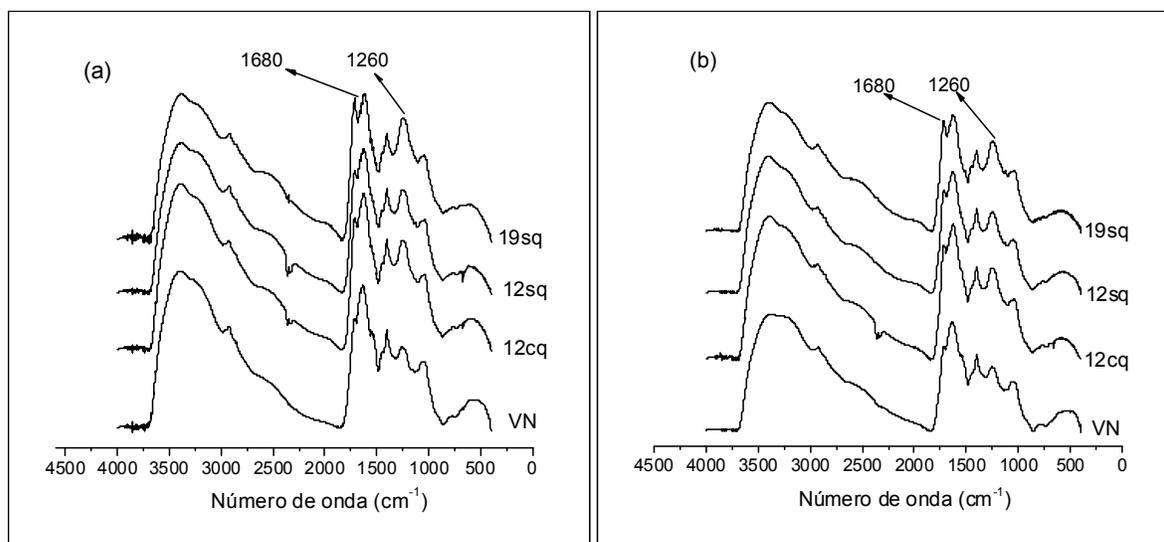


Figura 17 – Espectroscopia de Infravermelho para amostras de ácidos húmicos nas profundidades de 0-10 cm (a), e 10-20 cm (b), nas áreas de 12 anos sem queima e com queima (12sq e 12cq respectivamente), 19 anos sem queima (19sq) e área de Vegetação Nativa – (VN)

Para a área de 19sq ocorreu maior concentração de ácidos fenólicos e carboxílicos em comparação às demais áreas de cana-de-açúcar (12sq e 12cq), para as duas profundidades avaliadas (0-10 e 10-20 cm). Estas características foram verificadas nos dois comprimentos de

ondas (1260 e 1680 nm). Isto se deve provavelmente ao maior grau de humificação na área de 19sq em comparação as demais situações conforme discutido anteriormente e apresentado na tabela 14. Contudo, a diferença ocorrida na concentração de grupos aromáticos na profundidade de 10-20 cm entre a área de 19sq com as demais áreas de cana-de-açúcar não foi significativa em comparação a profundidade superficial. Estes dados apresentam coerência com os obtidos pelas análises de fluorescência (Tabela 14) onde a diferença de humificação entre as áreas de 12 anos em comparação com a área de 19sq, foi maior em superfície em relação à subsuperfície. Canellas et al. (2007) verificaram o mesmo comportamento em seus estudos, onde o aumento significativo da concentração de AH mais humificados na área de cana crua resultou em matéria orgânica com maior grau de aromaticidade.

Entre as áreas de 12 anos não foram verificadas diferenças significativas entre as situações de queima e sem queima da palhada, para a concentração de ácidos carboxílicos e grupamentos fenólicos nas duas profundidades (Figura 17a e 17b). Estes resultados são coerentes com o grau de humificação entre as duas situações, os quais apresentaram semelhanças nas duas profundidades avaliadas (Tabela 14). Canellas et al. (2007) avaliando a qualidade da MO do solo em áreas de cana de açúcar com 55 anos sem queima da palhada comparadas com áreas com queima verificaram aumento considerável no grau de aromaticidade e menor conteúdo de C atribuído a grupos carboxílicos das amostras de solo retiradas do canavial onde não se realizou a queima da palhada. Segundo os mesmos autores, o principal efeito da preservação da palhada foi o aumento significativo na quantidade de C atribuído a compostos aromáticos, onde observaram incremento na ordem de quatro vezes em ambas as profundidades avaliadas (0-20 e 20-40 cm) através de análises de ressonância magnética nuclear. Segundo diversos autores, o aumento da aromaticidade é uma das principais transformações químicas decorrentes do aumento do processo de humificação e estabilização da MO do solo (STEVENSON, 1994, ZECH et al., 1997, CAMARGO; SANTOS; GUERRA, 1999, MILORI et al., 2002).

A maior concentração de grupos fenólicos e ácidos carboxílicos no solo apresenta significativa importância para avaliações de fertilidade do solo. Estes compostos são caracterizados pela geração de cargas negativas com alto potencial de realizar ligações eletroquímicas com os nutrientes presentes no solo. Este benefício apresenta alta aplicabilidade principalmente nos solos do Brasil, pela predominância de solos altamente intemperizados com

altos teores de caulinita como mineral de argila predominante, o qual apresenta baixo ponto de carga zero em comparação aos solos com altos teores de MO do solo (STEVENSON, 1994).

Os espectros de FTIR para amostras de AF nas camadas de 0-10 e 10-20 cm de profundidade do solo estão apresentados nas Figuras 18a e 18b respectivamente. Para ambas as profundidades não foram observadas diferenças nos espectros que possam alterar a dinâmica de nutrientes no solo como ocorrido para os AH, os quais apresentaram grau de humificação diferenciado, assim como diferença na concentração de ácidos carboxílicos e grupamentos fenólicos conforme anteriormente discutido.

A ausência de diferença para os espectros de AF, pode ser decorrente do menor grau de humificação comparado aos AH por representarem fração em estágio menos avançado de decomposição. Na literatura, predomina trabalhos referentes às análises espectroscópicas dos AH, isso pode ser um indicativo da ausência de significância nos espectros para os ácidos fúlvicos.

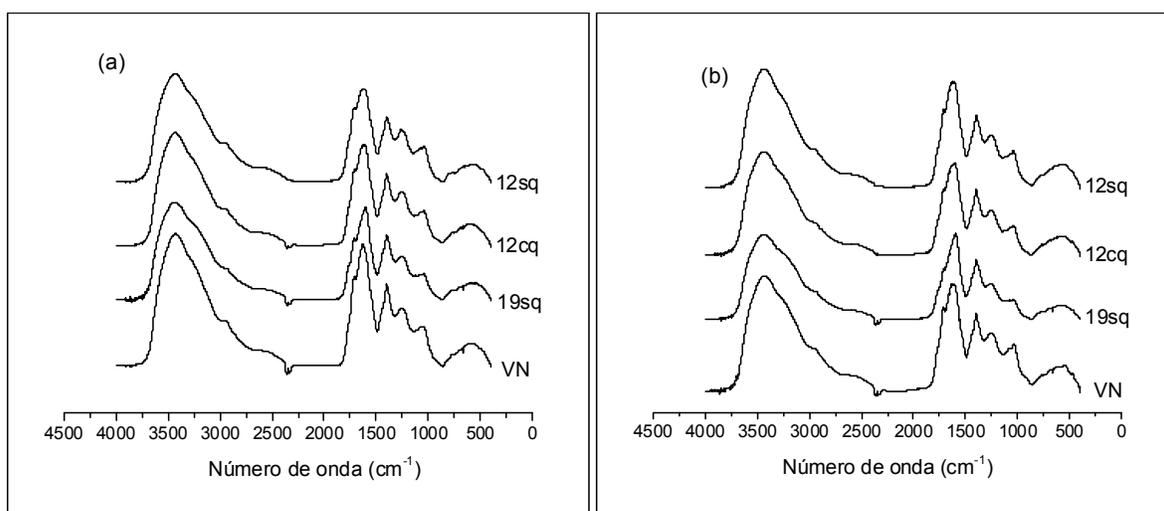


Figura 18 – Espectroscopia de Infravermelho para amostras de ácidos fúlvicos nas profundidades de 0-10 cm (a), e 10-20 cm (b), nas áreas de 12 anos sem queima e com queima (12sq e 12cq respectivamente), 19 anos sem queima (19sq) e área de Vegetação Nativa – (VN)

A concentração de ácidos carboxílicos e grupamentos fenólicos foram menores nas duas profundidades avaliadas para os AF (Figuras 18a e 18b), em comparação aos AH (Figura 17a e 17b). Este fato pode ser decorrente do menor grau de humificação dos AF em comparação aos AH, assim como a proteção do carbono pelos microagregados do solo, e fortes ligações com os sítios de ligações dos argilominerais tornando os AH mais estáveis e protegidos no solo. Dick; Santos e Ferranti (2003) apresentam a mesma tendência de maior concentração de ácidos

carboxílicos e grupos fenólicos dos AH em comparação aos AF quando estes autores avaliaram o comportamento dos espectros em função da ordem do solo (Latosolo e Chernossolo). Dobbss et al. (2009), avaliando o comportamento dos AH e AF de 7 Latossolos de diferentes regiões do Brasil, observaram que os AH são mais hidrofóbicos e com maior conteúdo de compostos aromáticos em comparação aos ácidos AF. Segundo os autores esta diferença deve-se ao elevado conteúdo de grupamentos oxigenados  $-\text{COOH}$ ,  $-\text{OCH}_3$  e  $-\text{C}=\text{O}$  identificados pelas análises espectroscópicas de ressonância magnética nuclear para os AF em relação aos AH. A predominância dos grupamentos alifáticos para os AF deve ser decorrente da presença e reposição periódica de materiais contendo polissacarídeos de origem vegetal como ligninas e celulose no solo.

### 3 CONCLUSÕES

As áreas com maior tempo de adoção do sistema de manejo sem queima da palhada da cana-de-açúcar apresentaram maiores teores e estoques de C e N no solo, em relação as áreas com queima da cana. Observou-se incremento de  $1,77 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  de C e  $0,25 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  de N entre as áreas de 6 e 12 anos de manejo sem queima para a camada 0-30 cm de profundidade.

O estoque de C contido na camada 0-30 cm representou 50 % do estoque contido em 0-100 cm para a área sob vegetação nativa e entre 39 e 43 % para as áreas cultivadas com cana-de-açúcar. Para os estoques de N, a área sob vegetação nativa também apresentou 53% do N total nos primeiros 30 cm de profundidade, enquanto que as áreas com cana variaram entre 40 a 48% do contido até 100 cm de profundidade.

Não foram verificadas diferenças significativas para os atributos químicos do solo em função do manejo da palha, com exceção dos teores de P e K na camada superficial.

As biomassas microbianas C e N apresentaram maiores valores na camada superficial. As áreas de cana sem queima apresentaram maiores teores em relação às áreas com queima, principalmente para as amostras coletadas no período chuvoso.

As áreas cultivadas com cana-de-açúcar por 12 anos apresentaram similares graus de humificação das substâncias húmicas pelas análises de fluorescência; enquanto que a área de 19 anos de cultivo de cana sem queima apresentou maior grau de humificação.

As análises espectroscópicas dos ácidos húmicos e ácidos fúlvicos permitiram concluir que as áreas com 12 e 19 anos de cultivo de cana-de-açúcar apresentaram maiores concentrações de ácidos carboxílicos e grupos fenólicos em comparação a vegetação nativa, corroborando com os resultados obtidos pela fluorescência.

|

## REFERÊNCIAS

- ALBERES, C.N.; BANTA, G.T.; JACOBSEN, O.S.; HANSEN, P.E. Characterization and structural modelling of humic substances in field soil displaying significant differences from previously proposed structures. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 59, n. 4, p. 693–705, 2008.
- ALVAREZ-PUEBLA, I.A.; GOULET, P.J.C.; GARRIDO, J.J. Characterization of the porous structure of different humic fraction. Colloids Surfaces. **Physicochemical and Engineering Aspects**, Colsurfa, v. 256, n. 3-2, p. 129-135, Apr. 2005.
- ANDERSON, J.P.E.; DOMSCH, K.H. Ratios of microbial biomass carbon to total organic carbon in arable soils. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 21, n. 4, p. 471- 479, 1989.
- ANDREAE, M.O.; MERLET, P. Emission of trace gases and aerosols from biomass burning. **Global Biogeochemical Cycles**, Washington, v. 15, n. 4, p. 955- 966, 2001.
- AYANABA, A.; TUCKWELL, S.B.; JENKINSON, D.S. The effects of clearing and cropping on the organic reserves and biomass of tropical forest soils. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 8, n.6, p. 519-525, 1976.
- BALL-COELHO, B.; TIESSEN, H.; STEWART, J. W.B.; SALCEDO, I.H.; SAMPAIO, E.V.S.B. Residue management effects on sugarcane yield and soil properties in northeastern Brazil. **Agronomy Journal**, Madison, v. 85, n. 4, p. 1004-1008, 1993.
- BASTIAN-PINTO, C.; BRANDÃO, L.; HAHN, W.J. Flexibility as a source of value in the production of alternative fuels: the ethanol case. **Energy Economics**, Guildford, v. 31 n. 3, p. 411-423, 2009.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Fundamentos da matéria orgânica do solo. In: SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P.; CAMARGO, F.A.O. **Ecosistemas tropicais e subtropicais**. 2. ed, Porto Alegre, Metrópole, 2008. p. 7-18.
- BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; CERETA, C.A. Fracionamento da material orgânica e sua avaliação qualitativa por EPR num solo submetido 10 anos a diferentes sistemas de cultura em plantio direto. In: SIMPOSIO NACIONAL DE INSTRUMENTAÇÃO AGROPECUÁRIA, 1996, São Carlos. São Carlos: EMBRAPA, CNPDIA, 1996. p. 115-121.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; MARTIN-NETO, L.; ERNANI, P.R. Stocks and humification degree of organic matter fractions as affected by no-tillage on a subtropical soil. **Plant and Soil**, The Hague, v. 238, n. 1, p. 133-140, 2002.
- BENITES, V.M. Caracterização dos ácidos húmicos extraídos de um latossolo vermelho-amarelo e de um podzol por análise termodiferencial e pela espectroscopia de absorção no infravermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 2, p. 543-551, 1999.

BIEDERBECK, V.O.; CAMPBELL, C.A.; BOWREN, K.E.; SCHNITZER, M.; MCIVER, R.N. Effect of burning cereal straw on soil properties and grain yields in Saskatchewan. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 44, n. 1, p. 103-111, 1980.

BLAIR, N. Impact of cultivation and sugar-cane green trash management on carbon fractions and aggregate stability for a Chromic Luvisol in Queensland, Australia. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 55, n.3/4, p. 183-191, 2000.

BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/>>. Acesso em: 10 dez. 2007.

BOLIN, B.; SUKUMAR, R. Global perspective. In: WATSON, R.T.; NOBLE, I.R.; BOLIN, B.; RAVINDRANATH, N.H.; VERARDO, D.J.; DOKKEN, D.J. (Ed.). **Land use, land-use change, and forestry: a special report of the IPCC**. Cambridge: IPCC, 2000. p. 23-51.

BRAIDA, J.A.; REICHERT, J.M.; VEIGA, M.; REINERT, D.J. Resíduos vegetais na superfície e carbono orgânico do solo e suas relações com a densidade máxima obtida no ensaio Proctor. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 4 p. 605-614, 2006.

BRANDES, E.W. Origin, dispersal and use in breeding of the Melanesian garden sugarcane and their derivatives, *Saccharum officinarum* L. In: CONGRESS OF INTERNATIONAL SUGAR-CANE TECHNOLOGISTS, 9., 1956. **Proceedings of the National Academy of Sciences**. New Delhi, Wiley, 1956. p. 709-750.

BRAUNACK, M.V.; PEATEY, T.C. Changes in soil physical properties after one pass of sugarcane haulout unit. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, Collingwood, v. 39, n. 6, p.733-742, 1999.

BRONICK, C.J.; LAL, R. Soil structure and management: a review. **Geoderma**, Amsterdam v. 124, n. 1/2, p. 3-22, 2005.

CAMARGO, F.A.O.; SANTOS, G.A.; GUERRA, J.G.M. Macromoléculas e substâncias húmicas. In: SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo**. Porto Alegre: Genesis, 1999. p. 27-39.

CANELLAS, L.P. **Humosfera**: tratado preliminar sobre a química das substâncias húmicas. Rio de Janeiro: UENF, 2005. 309 p.

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

CANELLAS, L.P.; BALDOTTO, M.A.; BUSATO, J.G.; MARCIANO, C.R.; MENEZES, S.C.; SILVA, N.M.D.; RUMJANEK, V.M.; VELLOSO, A.C.X.; SIMÕES, M.L.; MARTIN-NETO, L. Wstoque e qualidade da matéria orgânica de um solo cultivado com cana-de-açúcar por longo tempo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 2 p. 331-340, 2007.

CARDOSO, M.O. Método para quantificação da Biomassa microbiana do solo. **Agropecuária Técnica**, João Pessoa, v. 25, n. 1, p. 1-12, 2004.

CARVALHO, J.L.N.; CERRI, C.E.P.; CERRI, C.C.; FEIGL, B.J.; PICCOLO, M.C.; GODINHO, V.; HERPIN, U. Changes of chemical properties in an Oxisol after clearing of native cerrado vegetation for agricultural use in Vilhena, Rondônia State, Brazil. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 96, p. 95-102, 2007.

CARVALHO, J.L.N.; CERRI, C.E.P.; FEIGL, B.J.; PICCOLO, M.C.; GODINHO, V.; HERPIN, U.; CERRI, C.C. Conversion of cerrado into agricultural land in the south-western amazon: carbon stocks and soil fertility. **Science Agricola**, Piracicaba, v. 66, n.2, p. 233-241, 2009.

CATTELAN, A.; VIDOR, C. Flutuações na biomassa, atividade e população microbiana do solo em função de variações ambientais. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 14, n. 1 p. 125-132, 1990.

CERETA, C.A.; BAYER, C.; DICK, D.P.; MARTIN-NETO, L.; COLNAGO, L.A. Métodos espectroscópicos. In: SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P.; CAMARGO, F.A.O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**, 2. ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p. 201-228.

CERRI, C.C.; BERNOUX, M.; FEIGL, B.J.; PICCOLO, M.C.; CERRI, C.E.P. Balanço de gases nos sistemas de produção. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., 2003, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto: USP, 2003. 1 CD-ROM.

CERRI, C.E.P.; SPAROVEK, G.; BERNOUX, M.; EASTERLING, W.E.; MELILLO, J.M.; CERRI, C.C. Tropical agriculture and global warming: impacts and mitigation options. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 64, n. 1, p. 83-99, 2007.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conabweb/>. Acesso em: 11 maio 2009.

CONANT, R.T.; PAUSTIAN, K.; ELLIOTT, E.T. Grassland management and conversion into grassland: effects on soil carbon. **Ecological Applications**, Washington, v. 11, n. 2, p. 343-355, 2001.

DAIDSON, E.A.; ACKERMAN, I.L. Changes in soil carbon inventories following cultivation of previously untilled soil. **Biogeochemistry**, Dordrecht, v. 20, n. 3, p. 181-193, 1993.

De MARIA, I.C.; NABUDE, P.C.; CASTRO, O.M. Long-term tillage and crop rotation effects on soil chemical properties of a Rhodic Ferrasol in southern Brazil. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v. 51, n. 1, p. 71-79, 1999.

DE-POLLI, H.; GUERRA, J.G.M. Carbono, nitrogênio e fósforo na biomassa microbiana do solo. In: SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P.; CAMARGO, F.A.O., **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2. ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p. 263-276.

DICK, D.P.; SANTOS, J. H. Z.; FERRANTI, E. M. Chemical characterization and infrared spectroscopy of soil organic matter from two southern Brazilian soils. **Revista Brasileira Ciências do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 1 p. 29-39, 2003.

DICK, D.P.; GONÇALVES, C.N.; DALMOLIN, R.S.D.; KNICKER, H.; KLAMT, E.; KÖGEL-KNABNER, I.; SIMOES, M.L.; MARTIN-NETO, L. Characteristics of soil organic matter of different Brazilian Ferralsols under native vegetation as a function of soil depth. **Geoderma**, Amsterdam, v. 124, n. 3/4, p. 319-333, 2005.

DIEBOLD, C.H. Permeability and intake rates of medium textured soils in relation to silt content and degree of compaction. **Soil Science Society of America Journal**, Madsion, v. 18, n. 3, p. 339-343, 1954.

DOBBSS, L.B.; RUMJANECK, V.M.; BALDOTTO, M.; VELLOSO, A.C.X.; CANELLAS, L.P. Caracterização química e espectroscópica de ácidos húmicos e fúlvicos isolados da camada superficial de Latossolos Brasileiros. **Revista Brasileira Ciências do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 1, p. 51-63, 2009.

DOMINY, C.S.; HAYNES, R.J.; VAN ANTWERPEN, R. Loss of soil organic matter and related soil properties under long-term sugarcane production on two contrasting soils. **Biology and Fertility of Soils**, Heidelberg, v. 36, n. 5, p. 350-356, 2002.

EASCH, N.S.; KARLEN, D.L.; PARKIN, T.B. Fungal contribuição to soil, aggregation and soil quality. In: DORAN, J.W. Defining soil quality for a sustainable environmental. **Soil Science Society of America Journal**, Madsion, v. 58, n. 1, p. 21-228, 1994.

ELLERT, B.H.; BETTANY, J.R. Calculation of organic matter and nutrients stored in soils under contrasting management regimes. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 75, n. 4, p. 529-538, 1995.

EMBRAPA. **Manual de método de análise de solo**. Rio de Janeiro, 1979. 390 p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006.306 p.

FAO. Disponível em: <<https://www.fao.org.br/>>. Acesso em: 11 maio 2009.

FAO. **Statistical databases**. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/site/340/default.aspx>>. Acesso em: 11 jan. 2007.

FELDBECK, G.T. Chemical and biological characterization of humic matter. In: McLAREN, A.D.; SKUJINS, J. **Soil biochemistry**, New York: Marcel Dekker, 1971. p. 16-35.

FILLEY, T.R.; BOUTTON, T.W.; LIAO, J.D.; JASTROW, J.D.; GAMBLIN, D.E. Chemical changes to nonaggregated particulate soil organic matter following grassland-to-woodland

transition in a subtropical savanna. **Journal of Geophysical Research-Biogeosciences**, Stanford, p.113, 2008. doi:10.1029/2007JG000564

FONTAINE, S.; BAROT, S.; BARRE, P.; BDILOUI, N.; MARY, B.; RUMPEL, C. Stability of organic carbon in deep soil layers controlled by fresh carbon supply. **Nature**, London, v. 450, n. 8, p. 277-281, 2007.

FRANCHINI, J.C.; MALAVOLTA, E.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A. Alterações químicas em solos ácidos após a aplicação de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n.3, p. 533-542, 1999.

GALDOS, M.V. **Dinâmica do carbono do solo no agrossistema cana-de-açúcar**. 2007. 102 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

GALDOS, M.V.; CERRI, C.C.; CERRI, C.E.P. Soil carbon stocks under and unburned sugarcane in Brazil, **Geoderma**, Amsterdam, v. 153, n. 3/4, p. 347-352, 2009.

GOLDENBERG, J. Ethanol for a sustainable energy future. **Science**, Washington, v. 315, n. 5813, p. 808–810, 2007.

GONZÁLEZ-PÉREZ, M.; MARTIN-NETO, L.; SAAB, S.C.; NOVOTNY, E.H.; MILORI, D.M.B.P.; BAGNATO, V.S.; COLNAGO, L.A.; MELO, W.J.; KNICKER, H. Characterization of humic acids from a Brazilian Oxisol under different tillage systems by EPR, <sup>13</sup>C NMR, FTIR and fluorescence spectroscopy. **Geoderma**, Amsterdam, v. 118, n. 3/4, p. 181-190, 2004.

GRAHAM, M.H.; HAYNES, R.J.; MEYER, J.H. Changes in soil chemistry and aggregate stability induced by fertilizer applications, burning and trash retention on a long-term sugarcane experiment in South Africa. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 53, n. 4, p. 589-598, Dec. 2002.

GRANDY, A.S.; NEFF J.C.; WEINTRAUB, M.N. Carbon structure and enzyme activities in alpine and forest ecosystems. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 39, n. 11, p. 2701-2711, 2007.

GUERRA, J.G.M.; SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CAMARGO, F.A.O. Macromoléculas e substâncias húmicas. In: SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P.; CAMARGO, F.A.O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2. ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p. 19-26.

HOWARD, R.F.; SINGER, M.J.; FRANTZ, G.A. Effects of soils properties, water content and compactive effort on the compaction of selected California forest and range soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 45, n. 2, p. 231-236, 1981.

INSAM, H.; WETT, B. Control of GHG emission at the microbial community level. **Waste Management**, Bethesda, v. 28, n. 4, p. 699-706, 2008.

JOERGENSEN, R.G.; MUELLER, T. The fumigation extraction method to estimate soil microbial biomass: calibration of the KEN-factor. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 28, n. 1, p. 33-37, 1996.

KALBITZ, K.; GEYER, W.; GEYER, S. Spectroscopic properties of dissolved humic substances -A reflection of land use history in a fen area. **Biogeochemistry**, Dordrecht, v. 47, n. 2, p. 219-238, 1999.

KELLEHER, B.P.; SIMPSON, A.J. Humic substances in soils: are they really chemically distinct. **Environmental Science and Technology**, Washington, v. 40, n. 15, p. 4605-4611, 2006.

KONONOVA, M.M. **Soil organic matter**. New York: Pergamon Press, 1966. 544 p.

\_\_\_\_\_. **Materia orgánica del suelo: su naturaleza, propiedades y métodos de investigación**. Barcelona: Oikostau, 1982. 364 p.

LEIFELD, J.; KÖGEL-KNABNER, I. Soil organic matter fractions as early indicators for carbon stock changes under different land-use? **Geoderma**, Amsterdam, v. 124, n. 1/2, p. 143-155, 2005.

LEITE, L.F.C.; MENDONÇA, E.S.; MACHADO, P.L.O.A.; FILHO, E.I.F.; NEVES, J.C.L. Simulating trends in soil organic carbon of an Acrisol under no-tillage and disc-plow systems using the Century model. **Geoderma**, Amsterdam, v. 120, n. 3/4, p. 283-295, 2004.

LUCA, E.F.; FELLER, C.; CERRI, C.C.; BARTHÈS, B.; CHAPLOT, V.; CAMPOS, D.C.; MANCHINI, C. Avaliação de atributos físicos e estoques de carbono e Nitrogênio em solos com queima e sem queima de canavial. **Revista Brasileira Ciências do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 2, p. 789-800. 2008.

MACEDO, I.C.; JOAQUIM E.A.; SEABRA, J.E.A.; SILVA, J.E.A.R. Green house gases emissions in the production and use of ethanol from sugarcane in Brazil: The 2005/2006 averages and a prediction for 2020. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v. 32, n. 7, p. 582-595, 2008.

MAHIEU, N.; OLK, D.C.; RANDALL, E.W. Multinuclear magnetic resonance analysis of two humic acid fractions from lowland rice soils. **Environmental Quality**. Stanford, v. 31, n. 2, p. 421-430, 2002.

MAHIEU, N.; POWLSON, D.S.; RANDALL, E.W. of published carbon-13 CPMAS NMR spectra of soil organic matter. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 63, n. 2, p. 307-319, 1999.

MAIA, J.L.T.; RIBEIRO, M.R. Cultivo contínuo de cana-de-açúcar e modificações químicas de um Argissolo Amarelo fragipânico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 11, p. 1127-1132, 2004.

MARCHIORI JUNIOR, M.; MELO, W.J. Carbono, carbono da biomassa microbiana e atividade enzimática em um solo sob mata natural, pastagem e cultura do algodoeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 2, p. 257-263, 1999.

MARTIN-NETO, L.; VIEIRA, E.M.; SPOSITO, G. Mechanism of atrazine sorption by humic acid: A spectroscopic study. **Environmental Science and Technology**, Washington, v. 28, n. 11, p. 1867-1873, 1994.

MARTIN-NETO, L.; TRAGHETTA, D. G.; VAZ, C.M.P.; CRESTANA, S.; SPOSITO, G. On the interaction mechanisms of atrazine and hydroxyatrazine with humic substances. **Journal of Environmental Quality**, Stanford, v. 30, n. 2, p. 520-525, 2001.

MEIER, E.A.; THORBURN, P.J. The availability of nitrogen from sugarcane trash on contrasting soils in the wet tropics of North Queensland Nutr Cycl. **Agroecosyst Sustainable Ecosystems**, Madison, v.75, n. 1, p. 101-114, 2006.

MEURER, E.J. Potássio. In: FERNANDES, M.S. (Ed.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, 2006. p. 281-298.

MIELNICZUK, J. Matéria orgânica e sustentabilidade de sistemas agrícolas. In: SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P.; CAMARGO, F.A.O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2. ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p. 1-18.

MILORI, D.M.B.P.; MARTIN-NETOL, L.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; BAGNATO, V.S. Humification degree of soil humic acid determined by fluorescence spectroscopy. **Soil Science**, Madison v. 167, n. 11, p. 739-749, 2002.

MILORI, D.M.B.P.; GALETI, H.V.A.; MARTIN-NETOL, L.; DIECKOW, J. GONZALEZ-PEREZ, M.; BAYER, C.; SALTON, J. Organic Matter Study of Whole Soil Samples Using Laser-Induced Fluorescence Spectroscopy. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 70, n. 1, p. 57-63, 2006.

NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY. New Advanced Technology Program (ATP) Awards Announced in 2004, **Project**: optoelectronic sensing of liquid metal composition. Disponível em <<http://www.nist.gov/index.html>>. Acesso em: 10 nov. 2009.

NICKELL, L.G. Sugarcane. In: ALVIM, P.T.; KOZLOWSKI, T.T. **Ecophysiology of tropical crops**. New York: Academic Press, 1977. p. 105-502.

NELSON, D.W.; SOMMERS, L.E., Total carbon, organic carbon and organic matter. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 50, n. 2, p. 539-579, 1986.

NOVOTNY, E.H.; MARTIN-NETO, L. Effects from humidity and metal ions on the free radical analysis of peat humus. **Geoderma**, Amsterdam, v. 106, n. 3/4, p. 305-317, 2002.

PARFITT, R.L.; THENG, B.K.G.; WHITTON, J.S.; SHEPHERD, T.G. Effects of clay minerals and land use on organic matter pools. **Geoderma**, Amsterdam, v. 75, n. 1, p.1–12, Jan. 1997.

PICCOLO, A. The supramolecular structure of humic substances: a novel understanding of humus chemistry and implications in soil science. **Advances in Agronomy**, Newark, v. 75, n. 1, p. 57-134, 2002.

QUIDEAU, S.A.; CHADWICK, O.A.; BENESI, A.; GRAHAM, R.C.; ANDERSON, M.A. A direct link between forest vegetation type and soil organic matter composition. **Geoderma**, Amsterdam, v. 104, n. 1, p. 41–60, Jan. 2001.

RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A. **Métodos de análise de solo para fins de fertilidade**. Campinas: IAC, 1983. 31 p. (IAC. Boletim Técnico, 81).

RAZAFIMBELO, T.; BERNARD BARTHE'S, B.; LARRE'-LARROUY, M.C.; LUCA, E.F.; LAURENT, J.Y.; CERRI, C.C.; FELLER, C. Effect of sugarcane residue management (mulching versus burning) on organic matter in a clayey Oxisol from southern Brazil. **Agriculture Ecosystem and Environment**, Amsterdam, v. 115, n. 1/4, p. 285-289, 2006.

RESENDE, A.S.; XAVIER, R.P.; OLIVEIRA, O.C.; URQUIAGA, S.; ALVES, B.J.R.; BODDEY, R.M. Long-term effects of pre-harvest burning and nitrogen and vinasse applications on yield of sugar cane and soil carbon and nitrogen stocks on a plantation in Pernambuco, N.E. Brazil. **Plant and Soil**, The Hague, v. 281, n. 1/2, p. 339-351, 2006.

ROBERTSON, F.A.; THORBURN, P.J. Management of sugarcane harvest residues: consequences for soil carbon and nitrogen. **Australian Journal of Soil Research**, Collingwood, v. 45, n. 1, p. 13-23, 2007.

ROSCOE, R. O Seqüestro de carbono no plantio direto: possibilidade de contabilização. In: ROSCOE, R.; MERCANTE, F.M.; SALTON, J.C. **Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas: modelagem matemática e simulação de sistemas**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2006. p. 43-62.

SALVADOR, F.L. **Germinação e emergência de plantas daninhas em função da luz e da palha de cana-de-açúcar (*Saccharum spp*)**. 2007. 84 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

SANTOS, C.H. **Análises espectroscópicas da matéria orgânica de solos sob aplicação de águas residuárias**. 2008. 147 p. Dissertação (Mestrado em Ciências, Química Analítica) - Instituto de Química de São Carlos, Na Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

SARTORI, M.M.P. **Otimização da produção de energia e biomassa do resíduo de colheita em variedades de cana-de-açúcar**. 2001. 121 p. Tese (Doutorado em Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho, Botucatu, 2001,

SAS INSTITUTE. **SAS/STAT software**: changes and enhancements through release 6.12. Cary, 1997. 1167 p.

SCHNITZER, M. Organic matter characterization. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 46, n. 3, p. 581-594, 1982.

SILVA, A.J.N.; RIBEIRO, M.R. Caracterização de um latossolo amarelo sob cultivo contínuo de cana-de-açúcar no Estado de Alagoas: propriedades químicas. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 22, n. 2, p. 291-299, 1998.

SILVA, A.J.N.; RIBEIRO, M.R.; CARVALHO, F.G.; SILVA, V.N.; SILVA, L.E.S.F. Impact of sugarcane cultivation on soil carbon fractions, consistence limits and aggregate stability of a Yellow Latossol in Northeast Brazil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 94, n. 2, p. 420-424, 2007.

SILVA, I.F.; MIELNICZUK, J. Avaliação do estado de agregação do solo afetado pelo uso agrícola. **Revista Brasileira de Ciências do solo**. Viçosa, v. 21, n. 3, p. 313-319, 1997.

SILVA, M.S.L.; RIBEIRO, M.R. Influência do cultivo contínuo da cana-de-açúcar nas propriedades químicas de solos argilosos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 30, n. 3, p. 389-394, 1995.

SILVA, R.I.; MENDONÇA, S.A. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, F.R., ALVAREZ, V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, 2007. cap. 6, p. 275-374.

SILVERSTEIN, R.M.; BONLER, G.C.; MORRILL, T.C. **Identificação espectrométrica de compostos orgânicos**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1994. 387 p.

SINGER, L.S. Synthetic ruby as a secondary standard for the measurement of intensities in electron paramagnetic resonance. **Journal of Applied Physics**, New York, v. 30, n. 9, p. 1463-1464, 1959.

SIX, J.; FELLER, C.; DENEFF, K.; OGLE, S.M.; SA, J.C.M.; ALBRECHT, A. Soil organic matter, biota and aggregation in temperate and tropical soils – effects of no-tillage. **Science**, Washington, v. 22, p. 755-775, 2002.

SOUZA, Z.M.; ALVES, M.C. Propriedades químicas de um Latossolo Vermelho distrófico de Cerrado sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 1, p. 133-139, 2003.

SOUZA, Z.M.; PRADO, R.M.; PAIXÃO, A.C.S.; CESARIN, L.G. Sistemas de colheita e manejo da palhada de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 3, p. 271-278, 2005.

SPARLIN, G.P. Ration of microbial biomass carbon to soil organic carbon as a sensitive indicator of changes in soil organic matter. **Australian Journal of Soil Research**, Victoria, v. 30, n. 2, p.195-207, 1992.

SPARLING, G.P.; FELTHAM, C.W.; REYNOLDS, J.; WEST, A.W.; SINGLETON, P. Estimation of soil microbial C by a fumigation–extraction method: use on soils of high organic matter content, and a reassessment of the kec-factor. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 22, n. 3, p. 301-307, 1990.

STEVENSON, F. J. **Humus chemistry: genesis, composition, reactions**. 2<sup>nd</sup> ed. New York: Wiley, 1994. 491 p.

SUMAN, A.; SINGH, K.P.; SINGH, P.; YADAV, R.L. Carbon input, loss and storage in subtropical Indian Inceptisols under multi-ratooning sugarcane. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 105, n. 2, p. 177-328, 2009.

SUTTON, R.; SPOSITO, G. Molecular structure in soil humic substances: the new view. **Environmental Science and Technology**, Washington, v. 39, n. 23 p. 9009-9015, 2005.

SWIFT, R.S. Method for extraction of IHSS soil fulvic and humic acids. **Soil Science of Society of America Journal**, Madison, v. 60, n. 4, p. 1018-1020, 1996.

TAN, K.H. **Humic matter in soil and the environment: principles and controversies**. New York: Wiley, 2003. 890 p.

VALLIS, I.; PARTON, W.J.; KEATING, W.J.; WOOD, A.W. Simulation of the effects of trash and N fertilizer management on soil organic matter levels and yields of sugarcane. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 38, n. 1/2, p. 115-132, 1996.

VANCE, E.D.; BROOKES, P.C.; JENKINSON D.S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 19, n. 6, p. 703-707, 1987.

ZECH, W.N.; SENESI, G.; GUGGENBERGER, K.; KAISER, J.; LEHMANN, T.M.; MIANO, A.; MILTNER, G.; SCHROTH. Factors controlling humification and mineralization of soil organic matter in the tropics. **Geoderma**, Amsterdam, v. 79, n. 1/4, p.117-161, 1997.

ZSOLNAY, A.; BAIGAR, E.; JIMENEZ, M.; STEINWEG, B.; SACCOMANDI, F. Differentiating with fluorescence spectroscopy the sources of dissolved organic matter in soils subjected to drying. **Chemosphere**, Oxford, v. 38, n. 1, p. 45-50, 1999.

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)