

UFRRJ
INSTITUTO DE AGRONOMIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
CIÊNCIA DO SOLO

TESE

**Matéria Orgânica do Solo e Fósforo Orgânico
em Cronossequência de Cana-de-Açúcar Cultivada
no Cerrado**

Celeste Queiroz Rossi

2013



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
CIÊNCIA DO SOLO

MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO E FÓSFORO ORGÂNICO EM
CRONOSSEQUÊNCIA DE CANA-DE-AÇÚCAR CULTIVADA NO
CERRADO

CELESTE QUEIROZ ROSSI

Sob a Orientação do Professor
Marcos Gervasio Pereira

e Co-orientação dos Professores
Adriano Perin

e

Antonio Paz González

Tese submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutora em Ciências**, no Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Ciência do Solo.

Seropédica, RJ
Fevereiro de 2013

631.41
R831m
T

Rossi, Celeste Queiroz, 1982-

Matéria orgânica do solo e fósforo orgânico em
cronossequência de cana-de-açúcar cultivada no
cerrado / Celeste Queiroz Rossi. – 2013.
x, 89 f.

Orientador: Marcos Gervasio Pereira.

Tese (doutorado) – Universidade Federal Rural do
Rio de Janeiro, Curso de Pós-Graduação em
Agronomia, 2013.

Bibliografia: f. 73-89.

1. Solos - Análise – Teses. 2. Solos – Teor de
compostos orgânicos - Teses. 3. Solos – Teor de
fósforo – Teses. 4. Análise espectral - Teses. 5.
Cana-de-açúcar – Cultivo – Teses. 6. Queimada –
Teses. 7. Cerrados – Goiás (Estado) – Teses. I.
Pereira, Marcos Gervasio, 1965-. II. Universidade
Federal Rural do Rio de Janeiro. Curso de Pós-
Graduação em Agronomia. III. Título.

É permitida a cópia parcial ou total desta Tese, desde que seja citada a fonte

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA - CIÊNCIA DO SOLO**

CELESTE QUEIROZ ROSSI

Tese submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutora em Ciências**, no Curso de Pós-Graduação em Agronomia, área de Concentração em Ciência do solo.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 26/02/2013

Marcos Gervasio Pereira. Dr. UFRRJ
(Orientador)

Bruno José Rodrigues Alves. Dr. Embrapa Agrobiologia

Gustavo Pereira Duda. Dr. UFRPE

Fabiano de Carvalho Balieiro. Dr. Embrapa Solos

José Luiz Rodrigues Torres. Dr. IFTM

*Aos meus pais Weber e Arlete, aos meus irmãos
Raul e Iris, ao meu grande amigo Carlos e à
minha família carioca “Brazão Vieira Alho”*

Dedico

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais que são meus exemplos de vida, de dignidade, de esperança, minha base, meu porto seguro, lugar que sempre poderei voltar e pedir um aconchego. Muita coisa teria sido impossível sem vocês. A minha irmã Iris, minha paixão. Ao meu irmão Raul por toda a amizade, companheirismo, por compartilhar a casa e os bons momentos.

À minha família por todo o apoio, carinho e por entenderem os momentos de ausência.

À minha família carioca, em especial aos meus sobrinhos lindos Bruna e Breno por tudo. Eu seria incapaz de traduzir em palavras o quanto vocês são importantes na minha vida.....”Amigos, são a família que nos permitiram escolher”.

Ao meu grande amigo Carlos, por tudo, por todos os momentos, todas as alegrias, as risadas, os choros.....muitas pessoas não entenderiam, o que importa é que nós entendemos.

Às minhas irmãs de coração Patty e Sandy, e aos cachorrinhos Sol e Bolão, companheiros inseparáveis nessa jornada. 🐾🐾🐾

Ao professor orientador e amigo Marcos Gervasio Pereira, pela imensurável contribuição no desempenho deste trabalho, pelo exemplo de profissionalismo, pela orientação, pela amizade, pela confiança e pelo incentivo que muito contribuiu para minha formação.

Ao co-orientador Adriano Perin, por toda ajuda na elaboração e execução desse trabalho e por toda calma para tirar minhas dúvidas. Ao co-orientador Antonio Paz Gonzáles por me receber em sua equipe e me proporcionar todo o apoio necessário ao desenvolvimento do trabalho.

Aos amigos Rosane e Pablo por fazerem tão prazerosa e alegre minha estadia em La Coruña.

Ao pesquisador do SAI Jorge Otero, por toda ajuda e toda paciência para tentar me explicar as análises espectroscópicas.

À UFRRJ minha casa nos últimos 12 anos, sentirei muitas saudades... a UDC, ao CNPq e a CAPES pela concessão da bolsa de doutorado e doutorado sanduíche.

À Usina Decal por ter nos recebido tão cordialmente e ter cedido às áreas para a realização desse estudo. Ao IFET campus Rio Verde pelo apoio durante as coletas e aos alunos do curso de Agronomia, sem vocês a coleta teria sido muito mais difícil e menos divertida. Ao amigo Paulo Gazolla por seu empenho em tempo integral para me ajudar sempre que necessário.

Ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia – Ciência do Solo pelo apoio prestado.

Aos amigos Arcangelo e Michelle por toda amizade.

Aos amigos e companheiros do laboratório de Gênese e Classificação de Solos, pelos bons momentos passados juntos.

A todos os funcionários do Departamento de Solos.

A todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho e pelos bons momentos.

Muito obrigada.



BIOGRAFIA

Celeste Queiroz Rossi, nascida em 26 de julho de 1982, em Pimenta Bueno, estado de Rondônia, filha de Maria Arlete Queiroz e Weber Gomes Rossi. Ingressou na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro no primeiro semestre do ano de 2001, no curso de Agronomia, com conclusão em Abril de 2006. Foi monitora do Departamento de Solos, na disciplina de Física do Solo nos anos de 2004 e 2005. Bolsista da Embrapa Solos no ano de 2005. Foi bolsista de Apoio Técnico da Embrapa Solos no ano de 2006. Em fevereiro de 2009 conclui o mestrado em Agronomia - Ciência do solo, onde foi bolsista do CNPq. E no mesmo ano ingressou no doutorado em Agronomia - Ciência do solo, onde foi bolsista do CNPq e participou do programa de Doutorado Sanduíche na Universidade de La Coruña no ano de 2012 com financiamento da CAPES.

RESUMO

ROSSI, Celeste Queiroz. **Matéria orgânica do solo e fósforo orgânico em cronossequência de cana-de-açúcar cultivada no Cerrado**. 2013. 89f. Tese (Doutorado em Agronomia, Ciência do Solo). Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2013.

O crescimento acelerado da agricultura gera a necessidade da abertura e exploração de novas fronteiras agrícolas. Com incentivos governamentais, essa migração do setor sucroalcooleiro atingiu o Cerrado, e esta ocupação proporciona uma gradativa mudança na cobertura vegetal. Neste contexto, o objetivo deste estudo foi avaliar o efeito da queima prévia para a colheita da cana-de-açúcar na matéria orgânica e fósforo orgânico do solo no Cerrado goiano. Foi utilizada uma cronossequência de 1, 5, 10 anos com queima e 20 com queima da palhada e aplicação de vinhaça, área sob vegetação nativa (Cerrado) e pastagem. As áreas de estudo localizam-se na Usina Decal, em Rio Verde, estado de Goiás. O solo foi classificado como Latossolo Vermelho Distrófico de textura franco arenosa. As amostras foram retiradas mediante a abertura de trincheiras até 60 cm de profundidade. Foram analisados o carbono orgânico total (COT), nitrogênio total (NT), fracionamento químico e granulométrico da MOS, $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ isótopos. A quantificação das frações de fósforo foi obtida empregando-se extrações com NaHCO_3 , H_2SO_4 e NaOH , além da caracterização espectroscópica de carbono (RMN ^{13}C , UV-visível e infravermelho) e fósforo (RMN ^{31}P). O menor tempo de uso da queima da palhada acarretou em maiores teores de Ca e Mg e menores teores de P e K. Os menores estoques de COT foram verificados na camada de 0-10 cm nos sistemas de cana de 1 e 5 anos. De maneira geral, os maiores valores de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ foram verificados na área de pastagem e os menores na área de Cerrado, com valores intermediários para as áreas de cana. A substituição da vegetação original de Cerrado para implantação de áreas cultivadas com cana-de-açúcar acarretou em mudanças do $\delta^{13}\text{C}$, promovendo um acúmulo de carbono de plantas com ciclo fotossintético C_4 . As análises espectroscópicas de carbono (RMN ^{13}C , UV-visível e infravermelho) dos ácidos húmicos mostraram os mesmos grupos funcionais independente do tempo de colheita queimada da cana. Na camada de 0-5 cm, a maior contribuição foi dos compostos alifáticos e carboxílicos em relação aos compostos aromáticos. Os resultados da espectroscopia de RMN ^{31}P mostram que nas áreas estudadas os ácidos húmicos constituem uma reserva importante de P orgânico prontamente disponível e fonte importante para nutrição das plantas, principalmente na área que recebeu vinhaça. Já, nas áreas de 1 e 5 anos de cana queimada, a diminuição do acúmulo de P orgânico recalcitrante nos ácidos húmicos indica utilização do P-lábil das substâncias húmicas.

Palavras-chave: Estoque de carbono. Técnicas espectroscópicas. Fracionamento de fósforo orgânico. Solos do Cerrado. Origem do carbono.

ABSTRACT

ROSSI, Celeste Queiroz. **Soil organic matter and organic phosphorus in a chronosequence of sugar cane crop in the Cerrado**. 2013. 89p. Thesis (Doctor in Agronomy, Soil Science). Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2013.

The accelerated growth of agriculture produces a demand for opening and exploration of new areas. Through government incentives, the migration of sugar cane production reached the Cerrado biome, and this occupation provides a gradual vegetation coverage change. In this context, the aim of this study was to evaluate the effect of sugar cane burning prior to harvesting in the soil organic matter and organic phosphorus in the Goiás State Cerrado region. This study was conducted in a chronosequence of 1, 5, 10 and 20 years with straw burning, and application of vinasse in the 20 years area, compared to native vegetation (Cerrado) and pasture areas. The study areas were located in Decal industrial plant in Rio Verde municipality, Goiás State (Brazil). The soil was classified as an Oxisol with sandy loam texture. Soil samples were taken in pits up to 0.6 m depth. Total organic carbon (TOC), total nitrogen (TN), soil organic matter (SOM) physical and chemical fractionation, and isotopes $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ were analyzed. Phosphorus chemical fractionation, extracted with NaHCO_3 , H_2SO_4 and NaOH , spectroscopic carbon (^{13}C NMR, UV-vis and FTIR) and phosphorus (^{31}P NMR) characterization were evaluated. The area with lowest usage time of straw burning had highest Ca and Mg and lowest P and K values. The smallest TOC stocks were observed at the 0-10 cm layer in the sugar cane systems with 1 and 5 years. In general, the highest values of $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ were observed in the pasture and the lowest values in the Cerrado, with intermediate values in the sugar cane systems. Land use change from Cerrado original vegetation to sugar cane systems resulted in $\delta^{13}\text{C}$ changes, promoting an accumulation of C4 derived carbon plants. Spectroscopic analysis of carbon (^{13}C RMN, UV-vis and infrared) from humic acids carbon showed the same functional groups independent of cane burning harvesting time. At the 0-5 cm depth layer, the aliphatic and carboxylic compounds had the largest contribution compared to the aromatic compounds. The ^{31}P NMR spectroscopy results showed that in the studied areas, the humic acids constitute a readily available source of organic P important for plant uptake, especially in the area that received vinasse. In the areas with 1 and 5 years of harvesting burning sugar cane, the decrease in the accumulation of recalcitrant organic P in the humic acids indicates the usage of the labile-P in the humic substances.

Keywords: Carbon storage. Spectroscopic techniques. Organic phosphorus fractionation. Cerrado soils. Carbon source.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1	Cultivo da Cana-de-açúcar no Cerrado.....	3
2.2	Matéria Orgânica e Qualidade do Solo.....	4
2.3	Fracionamento da Matéria Orgânica do Solo	5
2.4	Dinâmica do Carbono em Cana-de-Açúcar com Queima da Palha.....	6
2.5	Fósforo Orgânico no Solo.....	8
2.6	Dinâmica do Fósforo com o Manejo do Solo	10
2.7	Vinhaça	11
2.8	Técnicas Espectroscópicas na Caracterização das Substâncias Húmicas.....	12
2.8.1	Espectroscopia de absorção na região do ultravioleta visível (UV-Vis).....	12
2.8.2	Espectroscopia de absorção na região do infravermelho (IV)	13
2.8.3	Espectroscopia de ressonância magnética nuclear (¹³ C-RMN) e (³¹ P-RMN).....	14
3	MATERIAL E MÉTODOS	16
3.1	Áreas Experimentais	16
3.2	Amostragem do Solo	19
3.3	Análise Granulométrica, pH em Água, Ca ⁺² , Mg ⁺² , Al ⁺³ , K ⁺¹ e P Assimilável	19
3.4	Carbono e Nitrogênio do Solo	19
3.5	Fracionamento Granulométrico da Matéria Orgânica do Solo.....	20
3.6	Fracionamento Químico da Matéria Orgânica.....	20
3.7	Fósforo Orgânico	20
3.8	Determinação da Origem do Carbono no Solo.....	23
3.9	Índice de Manejo de Carbono (IMC).....	24
3.10	Análise Termogravimétrica	24
3.11	Composição Elementar dos Ácidos Húmicos.....	24
3.12	Análises Espectroscópicas	25
3.12.1	Extração e purificação do ácido húmico do solo.....	25
3.12.2	Espectroscopia na região do ultravioleta-visível (UV-Vis) e coeficiente E4/E625	26
3.12.3	Espectroscopia na região do infravermelho (IV).....	26
3.12.4	Ressonância magnética nuclear (RMN) de ¹³ C e ³¹ P	26
3.13	Análises Estatísticas.....	26
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	27
4.1	Caracterização da Composição Química do Solo das Áreas Estudadas	27
4.2	Carbono Orgânico do Solo (COT).....	28
4.3	Fracionamento Físico da Matéria Orgânica.....	32
4.4	Fracionamento Químico da Matéria Orgânica.....	36
4.5	Índice de Manejo de Carbono	41
4.6	Nitrogênio Total do Solo	42
4.7	Composição Isotópica de δ ¹³ C e δ ¹⁵ N.....	44
4.8	Composição Elementar dos Ácidos Húmicos.....	46
4.9	UV-Visível.....	48
4.10	Espectroscopia de Infravermelho (IV).....	49
4.11	Espectroscopia de RMN de ¹³ C	53

4.12	Fósforo Orgânico (Po)	60
4.13	Espectroscopia de RMN de ³¹ P	65
5	CONCLUSÕES	72
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	73

1 INTRODUÇÃO

Com 196.776.853 hectares, o que corresponde a aproximadamente dois milhões de km² ou 23% do território brasileiro, o Cerrado é o segundo maior bioma do Brasil, sendo sua área original superada apenas pela Floresta Amazônica. Esse bioma é considerado a última fronteira agrícola do planeta (Borlaug, 2002; Sano et al., 2008; Queiroz, 2009). O clima dessa região é estacional, com duas estações bem definidas: a primeira caracterizada por um período chuvoso, que dura de outubro a março, e a segunda, por um período seco, de abril a setembro. Os solos do Cerrado, em sua grande maioria, são muito antigos, intemperizados, oxidados, ácidos, com baixa fertilidade natural, e possuem concentrações elevadas de alumínio, sendo representados principalmente pela ordem dos Latossolos (Oliveira et al., 2004; Resck et al., 2008).

Diversos estudos têm sido realizados neste bioma com o objetivo de desenvolver estratégias para uma utilização mais sustentável dos solos, visando reduzir o impacto das atividades agrícolas sobre o ambiente, onde as características de clima e solo associadas ao cultivo podem levar ao declínio acelerado dos estoques de carbono e nitrogênio de origem orgânica (Freixo et al., 2002; Torres et al., 2005; Maia et al., 2009; Siqueira Neto et al., 2009; Pereira et al., 2010; Loss et al., 2011).

Com o aumento e o incentivo do governo brasileiro ao mercado de biocombustíveis, cresce também o cultivo da cana-de-açúcar no país (Loarie et al., 2011). Estudos realizados por satélite através do projeto Canasat (www.dsr.inpe.br/laf/canasat) revelam que, de 2005 a 2008, a área de cana-de-açúcar no Cerrado passou de 24.848 km² para 35.448 km². Neste contexto, verifica-se que o bioma vem sendo submetido aos maiores impactos da expansão dessa cultura, onde o aumento do cultivo em áreas consideradas prioritárias pode comprometer a biodiversidade e a produção de alimentos (ISPN, 2009). À medida que a área de cana se expande nessa região, crescem também as preocupações em relação aos impactos que essa cultura ocasiona, seja no solo ou na atmosfera.

Segundo Correia e Alleoni (2011), o sistema de colheita da cana com queima prévia da palhada resulta na diminuição dos teores de carbono orgânico e da fertilidade do solo quando comparado com o sistema de colheita de cana crua. Neste sistema são depositados, sobre o solo, de 10 a 15 Mg ha⁻¹ por ano de palha, cuja decomposição afeta o ciclo do carbono e a dinâmica da matéria orgânica (Luca et al., 2008). Estudos de Franchini et al. (2007), Smith et al. (2008) e Siqueira Neto et al. (2011) indicam que a derrubada e queima da vegetação nativa, seguida de cultivo do solo no processo de conversão do Cerrado em agrossistema, resultam em mudanças na dinâmica da matéria orgânica do solo (MOS) e aumento da emissão de gases do efeito estufa para a atmosfera.

Embora contribua somente com uma pequena parcela da massa total dos solos minerais, a MOS é componente essencial nos diversos processos químicos, físicos e biológicos dos ecossistemas terrestres (Piccolo, 1996; Christensen, 2000; Carter, 2001; Mielniczuk, 2008). Está relacionada com a manutenção da qualidade do solo, na sustentabilidade dos sistemas naturais e agrícolas e no balanço de gases responsáveis pelo efeito estufa (Carvalho et al., 2010; Cerri et al., 2010; Figueiredo & Scala Junior, 2011). Diversos sistemas de manejo vêm sendo adotados no cultivo da cana-de-açúcar, com destaque para a queima prévia da palhada. Esse sistema pode promover alterações nos atributos químicos, físicos e biológicos do solo (Rendin et al., 2011), sendo verificado que essas modificações são decorrentes, principalmente, pela redução dos teores de MOS (Galdos et al., 2009; Pinheiro et al., 2010; Correia e Alleoni, 2011).

O impacto do fogo na quantidade e qualidade da MOS depende, principalmente, da intensidade deste, do tipo de vegetação e da textura do solo (Knicker, 2007). Além disso, o carbono resultante da queima atua negativamente sobre o solo, sendo biologicamente e quimicamente inerte, fazendo com que permaneça livre da ação microbiana, não podendo ser efetivamente utilizado como fonte de energia e não contribuindo para a formação da MOS (Albrecht et al., 1995; Skjemstad et al., 1999), podendo até mesmo reduzir seu conteúdo.

O objetivo desse estudo foi avaliar o efeito da queima prévia a colheita da cana-de-açúcar na matéria orgânica do solo e fósforo orgânico do solo no Cerrado goiano.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Cultivo da Cana-de-açúcar no Cerrado

O Cerrado é o segundo maior bioma brasileiro, sendo superado apenas pela Amazônia, é considerada a savana tropical mais rica do mundo em biodiversidade. Além disso, o Bioma Cerrado é favorecido pela presença de diferentes paisagens e de três das maiores bacias hidrográficas da América do Sul. Concentra nada menos que um terço da biodiversidade nacional e 5% da flora e da fauna mundiais. Ocupa aproximadamente 23% do território nacional, pouco mais de dois milhões de quilômetros quadrados, e é considerada a última fronteira agrícola do planeta (Borlaug, 2002; Siqueira Neto et al., 2009).

O Cerrado foi recentemente incluído na lista dos “hotspots” que é uma reserva de biodiversidade (Silva Júnior & Bates, 2002). A inclusão deste bioma nesta lista tem um ponto positivo, significa o reconhecimento mundial de sua biodiversidade, e também mostra que ele está sendo muito ameaçado e que precisa de conservação e preservação.

O clima dessa região é estacional, com duas estações bem definidas, com um período chuvoso (entre outubro e março), seguido por um período seco (entre abril e setembro). A precipitação média anual é de 1.500 mm e as temperaturas variam ao longo do ano, entre 22°C e 27°C, em média. Os solos do Cerrado são muito antigos, intemperizados, ácidos, com baixa fertilidade natural, e possuem concentrações elevadas de alumínio. São dominantes nessas regiões os Latossolos Vermelho e Vermelho-Amarelo (Ferreira et al., 2007). Estes solos possuem teores de argila variando de 150 e 900 g kg⁻¹ e capacidade de água disponível até 2 m de profundidade. Para torná-los produtivos para fins agrícolas, são aplicados fertilizantes e calcário com objetivo de aumento da produção.

Com o aumento e o incentivo do governo brasileiro ao mercado de biocombustíveis, cresce também o cultivo da cana-de-açúcar no país. O bioma que mais sofre os impactos da expansão da lavoura da cana é o Cerrado, onde o aumento do cultivo em áreas consideradas prioritárias compromete a biodiversidade e a produção de alimentos (Marques et al., 2009). De acordo com a Conab (2011) dentre os dez estados que compreende o Cerrado, os maiores produtores de cana-de-açúcar em ordem decrescente são: São Paulo, Minas Gerais, Goiás e Paraná. O estado de Goiás produziu 46.206.800 toneladas safra 2010/2011.

À medida que a área de cana se expande nesta região, crescem também as preocupações em relação aos impactos dessa cultura. Segundo Scholes & Breemen (1997), a introdução de sistemas agrícolas em áreas com vegetação nativa resulta, geralmente, numa rápida perda do carbono orgânico em ambientes tropicais, implicando na degradação da qualidade do solo. Algumas atividades como o revolvimento do solo (aração e gradagem), a não preservação dos restos culturais na superfície do solo e a utilização de uma ou de poucas espécies vegetais na área de cultivo podem afetar tanto a composição quanto a quantidade do material orgânico depositado.

Embora contribua somente com uma pequena parcela da massa total dos solos minerais, a matéria orgânica do solo (MOS) é componente essencial nos diversos processos químicos, físicos e biológicos de ecossistemas terrestres (Piccolo, 1996; Christensen, 2000; Carter, 2001). Está relacionada com a manutenção da qualidade do solo, na sustentabilidade dos sistemas naturais e agrícolas e no balanço de gases responsáveis pelo efeito estufa.

Diversos sistemas de manejo vêm sendo adotados no cultivo da cana-de-açúcar. Esses sistemas alteram as características químicas do solo, como o teor de carbono orgânico e suas

frações (Cerri et al., 1991; Blair, 2000). Essas modificações na matéria orgânica podem influenciar algumas propriedades físicas do solo, como a formação e estabilidade dos agregados (Munner & Oades, 1989).

Nos dias atuais, a colheita mecanizada da cana-de-açúcar está cada vez mais presente nas áreas de produção do Brasil. Esta prática tem caráter conservacionista e foi desenvolvida com a finalidade de eliminar a queima da cultura. As folhas, bainhas, ponteiro, além de quantidade variável de pedaços de colmo são cortados, triturados e lançados sobre a superfície do solo, formando uma cobertura de resíduo vegetal denominada palhada (Souza et al., 2005).

A palhada reduz a mobilização superficial dos solos, protege o solo da erosão e promove o aumento do teor de matéria orgânica. Em média, a cultura da cana produz cerca de 10 Mg ha⁻¹ de palha que contém diversos elementos, entre eles o carbono e o nitrogênio. Este material, quando deixado sobre o solo, forma uma cobertura s

2.2 Matéria Orgânica e Qualidade do Solo

Qualidade do solo é, sem dúvida, um aspecto fundamental na avaliação da sustentabilidade de sistemas de produção, o que implica a compreensão desse recurso como um sistema vivo e dinâmico. O conteúdo de matéria orgânica do solo MOS é considerado um dos principais indicadores de sustentabilidade e qualidade ambiental em agroecossistemas. Sistemas conservacionistas de manejo promovem o aumento do conteúdo de MOS (Sá et al., 2001; Martins et al., 2009), contribuindo para que o solo desempenhe suas funções básicas (promover o desenvolvimento da vida, garantindo a qualidade ambiental, a saúde animal e humana). A compreensão da dinâmica da MOS em sistemas de produção permite subsidiar o estabelecimento de estratégias de manejo que garantam o incremento do conteúdo de MOS e a qualidade ambiental e do solo ao longo do tempo, observando-se os princípios básicos da agricultura conservacionista, os princípios agroecológicos e a íntima dependência de insumos.

Para avaliar a qualidade do solo (QS), faz-se necessário selecionar algumas propriedades que são consideradas como atributos indicadores (Doran & Parkin, 1994). Um eficiente indicador deve ser sensível às variações do manejo, bem correlacionado com as funções desempenhadas pelo solo, capaz de elucidar os processos do ecossistema, ser compreensível e útil para o agricultor e, preferencialmente, de fácil e barata mensuração (Doran & Zeiss, 2000).

Para Islam & Weil (2000), os indicadores podem ser distinguidos em três grandes grupos: os efêmeros, cujas alterações ocorrem em curto espaço de tempo ou são modificados pelas práticas de cultivo, tais como umidade do solo, densidade, pH, disponibilidade de nutrientes; os intermediários, que demonstram uma crítica influência da capacidade do solo em desempenhar suas funções, tais como agregação, biomassa microbiana, quociente respiratório, carbono orgânico total e ativo; e os permanentes, que são inerentes ao solo, tais como profundidade, camadas restritivas, textura, mineralogia. Para esses autores, os indicadores intermediários são os de maior importância para integrarem um índice de QS.

A MOS apresenta grande potencial para ser utilizada como atributo chave da qualidade do solo (Doran & Parkin, 1994; Mielniczuck, 1999), pois, além de satisfazer o requisito básico de ser sensível a modificações pelo manejo do solo, ainda é fonte primária de nutrientes às plantas, influencia a infiltração, retenção de água e suscetibilidade à erosão (Gregorich et al., 1994), e ainda atua sobre a ciclagem de nutrientes e agregação do solo. Dessa forma ela contribui de forma direta e indireta na QS. Solos tropicais, intensamente intemperizados, apresentam como uma das suas principais características químicas a baixa capacidade de troca catiônica (CTC). Nesses solos, o teor de MOS tem importância preponderante na CTC efetiva (Bayer & Mielniczuck, 1999; Simões et al., 2010). Todavia, em algumas situações, notadamente naquelas induzidas por sistemas de manejo com histórico de

adoção de curto prazo, este indicador pode não ser um eficiente discriminador das alterações na QS. Nesse caso, a avaliação de compartimentos da MOS, como a fração da matéria orgânica particulada, ou seja, associada à fração areia pode ser uma alternativa de incremento da sensibilidade (Freixo, 2000; Bayer et al., 2002; Souza et al., 2006).

2.3 Fracionamento da Matéria Orgânica do Solo

A matéria orgânica pode ser simplificada em uma fração lábil (biodegradável, leve) e uma fração humificada (estável e pesada). A fração lábil representa aproximadamente 1/3 do carbono orgânico do solo, e apresenta uma alta taxa de decomposição e um curto período de permanência no solo (Theng et al., 1989; Andriulo et al., 1990) e sua principal função é o fornecimento de nutrientes as plantas através de sua mineralização e de energia e carbono aos microorganismos do solo (Oades, 1989).

A fração humificada representa cerca de 2/3 do carbono orgânico do solo e tem maior permanência no solo (Theng et al., 1989; Andriulo et al., 1990) sendo sua principal função atuar sobre as condições físicas e químicas do solo. A estabilidade química da MOS é relacionada ao grau de aromaticidade das moléculas orgânicas no solo (Stout et al., 1985).

As diferentes formas de fracionamento utilizadas nos estudos da MOS tentam reduzir a heterogeneidade das frações orgânicas, procurando separar frações homogêneas quanto à natureza, dinâmica e função, mas, ao mesmo tempo, que sejam suficientemente distintas entre si (Christensen, 2000). A escolha do método de fracionamento depende da natureza do estudo, ou seja: caracterização e identificação química de componentes específicos da MOS, quantificação, ou descrição dos compartimentos da MOS (Collins et al., 1997).

O fracionamento granulométrico é mais utilizado com o intuito de compreender a dinâmica do C no solo. Com o processo de decomposição dos materiais orgânicos do solo, os resíduos vegetais são divididos cada vez mais em partes menores, fazendo com que a densidade destes fragmentos aumente, devido à quebra das estruturas e a perda de ar aprisionado (Gregorich et al., 2006). É baseado na extração das frações da matéria orgânica por peneiramento e sedimentação em proveta.

O carbono orgânico particulado (COP) é uma fração lábil e apresenta maior taxa de reciclagem dos constituintes orgânicos, sendo que as alterações em seus estoques promovidas pelo manejo do solo são percebidas geralmente em curto prazo, em comparação as alterações mais lentas que ocorrem no solo como um todo (Feller & Beare, 1997; Bayer et al., 2002). Por isso o COP é tida como uma fração relativamente sensível às práticas de manejo (Janzen et al., 1992; Pillon, 2000; Bayer et al., 2002). O carbono orgânica ligada aos minerais (COam) é dependente da quantidade de material orgânico que é transferido da COP e da proteção coloidal exercida pelas superfícies minerais (Christensen, 1996; Sollins et al., 1996), essa transferência é dependente da adição inicial feita pelos sistemas de manejo.

Devido à natureza heterogênea e complexa das substâncias húmicas (SH) pouco se sabe sobre sua estrutura química e apresentam-se como moléculas polidifusas com elevada massa molar (Stevenson 1985; Swift; 1996), possuem alto teor de grupos funcionais contendo oxigênio na forma de carboxilas, hidroxilas fenólicas e carbonilas (Jordão et al., 1993). Operacionalmente as SH são fracionadas em função de sua solubilidade em diferentes valores de pH: ácidos húmicos (AH), ácidos fúlvicos (AF) e humina (HUM) com o objetivo de estudar a relação com as propriedades físicas e químicas dos solos e, interação com metais e compostos orgânicos (Martins et al., 2009)

Os AF possuem maior solubilidade, pois apresentam maior polaridade e menor tamanho molecular e, é a fração mais instável do processo de humificação dos resíduos orgânicos componentes da MOS, apresentando grande quantidade de grupamentos funcionais oxigenados, solúveis tanto em meio ácido como básico (Benites et al., 2003). Os AH possuem

uma estrutura grande e complexa, quando comparadas aos AF, além de serem insolúveis em meio ácido. São responsáveis em aumentar a CTC de origem orgânica em camadas superficiais de solos com acúmulo de restos culturais (Benites et al., 2003). O seu alto conteúdo no solo está relacionado à alta fertilidade, com alto conteúdo de bases trocáveis e pode ser utilizado como indicador dos efeitos do manejo sobre a fração orgânica do solo (Canellas et al., 2003). A fração HUM, apresenta baixa reatividade no solo, porém apresenta maiores teores quando comparadas ao AF e AH devido a essas frações apresentarem menor estabilidade, sofrerem processos de movimentação no perfil, polimerização, ou mineralização, diminuindo sua composição percentual no solo (Leite et al., 2003). Contudo, a fração HUM pode representar boa parte do C humificado do solo (Benites et al., 2003).

2.4 Dinâmica do Carbono em Cana-de-Açúcar com Queima da Palha

Os produtos da queima completa da biomassa são água, dióxido de carbono e os minerais contidos nas cinzas. Contudo, para que ocorra a oxidação completa da biomassa é necessário que uma série de condições para o fornecimento do oxigênio durante o processo que, em geral, não ocorre na natureza. Em condições naturais, a combustão muitas vezes é incompleta e uma série de substâncias é formada, como o monóxido de carbono, metano e uma grande variedade de produtos de pirólise, incluindo hidrocarbonetos e frações de matéria orgânica. Dessa maneira, os incêndios florestais também produzem uma quantidade considerável de diferentes formas de carbono em adição à modificação térmica das outras previamente existentes no ecossistema (González-Pérez et al., 2004).

O impacto do fogo na quantidade e qualidade da matéria orgânica do solo (MOS) depende, principalmente, da intensidade e sua recorrência, além do tipo de vegetação, textura do solo e clima regional (González-Pérez et al. 2004; Knicker, 2007; Satín et al., 2008, Vergnoux et al., 2011; Granged et al., 2011).

O aquecimento da matéria orgânica do solo pela ação do fogo pode resultar consideráveis aumentos na aromaticidade da matéria orgânica remanescente, em detrimento de grupos carboxílicos e estruturas alifáticas (Almendros et al., 1992). As estruturas formadas pela ação do fogo são mais recalcitrantes, e derivam dos hidratos de carbono, lipídios, macromoléculas alquiladas e peptídeos. Dessa maneira, algumas dessas estruturas recentemente formadas, inicialmente não humificadas, podem ser extraídas como a fração húmica (Vergnoux et al., 2011).

Em observações ao longo de quase 40 anos, Jacques (1997) e Jacques (2002) revelam que existem, de fato, dois tipos de queima: uma é a queima do material seco ainda preso à parte aérea da planta, e a outra é a queima do mantilho ou material morto já desprendido da planta e depositado sobre a superfície do solo. No primeiro caso, a remoção da parte seca pela ação do fogo representa uma situação semelhante ao que é feito, em grande parte, com a roçadeira. Com o segundo tipo de queima ocorre à eliminação total ou parcial do material seco depositado sobre a superfície do solo. Segundo o autor, a queima exclusiva da parte aérea acarretaria menores prejuízos ao solo e à vegetação, desde que o material queimado (cinza) permanecesse na superfície do solo.

Durante o processo da queima, apenas uma pequena parte do calor que foi gerado é transferido para os primeiros centímetros do solo. O tipo e a intensidade das alterações produzidas nas características químicas e físicas do solo serão dependentes das temperaturas atingidas nas diferentes profundidades do solo, do tempo de exposição à temperatura e da estabilidade de cada solo. O solo seco é um bom isolante e os efeitos do fogo normalmente estão limitados aos primeiros centímetros de profundidade (DeBano et al., 1998).

Em curto prazo, o fogo moderado torna-se um agente de mineralização, aumentando a disponibilidade de nutrientes para o crescimento das plantas, especialmente em profundidades

menores que 0,5 cm de solo, devido às cinzas com alta concentração de P, K e Ca (Coutinho, 1990; Kauffman et al., 1994 Rheinheimer, et al., 2003; González-Pérez et al. 2004). Em solos do Cerrado, além do desse enriquecimento, provocado por ação das cinzas, observou-se um decréscimo no teor de Al, logo após a queima (Coutinho, 1990). Em relação à matéria orgânica do solo (MOS), a queima da vegetação pode afetar tanto seu estoque como sua qualidade (Roscoe, et al., 2000; Knicker et al., 2005).

Em Latossolo sob Cerrado submetido a 21 anos de queima, Roscoe et al. (2000) observaram redução drástica dos estoques de C e N na liteira, porém, nas amostras do solo, os teores de C e N não diferiram daqueles observados para duas áreas próximas, que não sofreram ação do fogo.

A queima da palhada da cana antes da colheita pode ser prejudicial à manutenção dos níveis de matéria orgânica do solo. O aporte de matéria orgânica bruta é reduzido, e a prática da queima favorece a mineralização da matéria orgânica já existente. Além disso, o solo permanece descoberto por um período relativamente longo, acelerando a erosão, influenciando as propriedades físicas e químicas (Molina, 1995; Mendoza, 1996).

A supressão da queima com manutenção da palhada sobre o solo resultou em maior concentração da MOS, conforme relatado por Blair (2000), e Noble et al. (2003) na Austrália; Dominy et al. (2002) na África do Sul, e Villegas (1998) em Cuba. Estudos realizados no Brasil mostraram que esses efeitos ocorreram em solo muito argiloso (Orlando Filho et al., 1998) e de textura média (Souza et al., 2005), mas não em solo muito arenoso (Ball-Coelho et al., 1993).

Spagnollo et al. (2002), em estudos sobre matéria orgânica com diferentes manejos de resíduos verificaram que quando se utiliza a queima para a eliminação dos resíduos os teores de carbono são menores quando comparados com o sistema de plantio direto, mas são superiores quando comparados com o sistema convencional, ou quando ocorre a retirada dos resíduos. Esses resultados corroboram com os encontrados por Chan et al. (2002), onde após 19 anos de diferentes práticas de cultivo e manejo dos resíduos, encontraram que as maiores diferenças ocorreram em função do revolvimento do solo e não pela queima dos resíduos. Smernik et al. (2000), relatam que com a queima da vegetação adiciona-se C na forma de carvão, que é biologicamente e quimicamente não reativo, comparado a outros materiais orgânicos do solo, podendo parcialmente constituir uma fração de carbono inerte observado em modelos de ciclagem de C.

Almendros & Leal (1990) estudaram em detalhes as transformações exercidas pelo fogo sobre as frações ácido húmico e ácido fúlvico do solo e observaram severas modificações, principalmente nas propriedades de solubilidade. Os autores observaram que nos estágios iniciais, metade dos ácidos húmicos foi rapidamente transformado em material insolúvel em meio alcalino, sendo que essa insolubilidade aumentou mais à medida que fogo se tornou mais intenso. O padrão observado na fração ácido fúlvico, primeiramente foi a transformação em moléculas insolúveis em meio ácido (como ácidos húmicos) e em seguida em substâncias moleculares insolúveis em meio alcalino (como a humina).

Estudando o estoque e a qualidade da matéria orgânica em solo cultivado com cana-de-açúcar por longo tempo no norte do estado do Rio de Janeiro, Canellas et al., (2003), observaram que após 55 anos de cultivo da cana-de-açúcar com a queima do palhiço por ocasião da colheita, foi verificado decréscimo de cerca de 40 % no estoque de C em relação à área sem a queima na camada superficial do solo, e de 35 % na camada subsuperficial. Segundo os autores a queima para a despalha do canavial, além de reduzir o aporte de resíduos vegetais, favorece a oxidação da MOS e expõe a superfície do solo aos processos erosivos, cujo o resultado é a diminuição do estoque de MOS armazenada ao longo do tempo. Avaliando atributos físicos e estoques de carbono e nitrogênio em solos com queima e sem queima de canavial Luca et al. (2008) encontraram valores de COT variando de 15,4 a 19,2 g

kg⁻¹ até 40 cm de profundidade após 50 anos de queima da cultura da cana-de-açúcar em Latossolo Vermelho Distroférico na região do nordeste do estado de São Paulo. Nesse mesmo estudo, os autores avaliaram um Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico de textura franco arenosa e encontraram valores de COT variando de 6,0 a 8,4 g kg⁻¹ até 40 cm de profundidade.

Com relação ao fracionamento granulométrico Galdos (2007), em estudos sobre a dinâmica do carbono no agrossistema cana-de-açúcar, observou um declínio do carbono da matéria orgânica particulada com a conversão da floresta para a cultura da cana-de-açúcar, após cinquenta anos de cultivo contínuo com queima. Já Silva et al. (2006) avaliando o impacto do cultivo de cana-de-açúcar nas frações do carbono em Latossolo Amarelo, descreveram um acentuado declínio dos teores de carbono da COp após a conversão da floresta para cana, seguido por um aumento gradativo, mas sem alcançar os mesmos teores iniciais após 25 anos de cultivo contínuo.

Analisando as propriedades químicas em Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar Canellas et al., (2003) encontraram valores de C-FAF e C-FAH com teores de 0,85 e 0,65 g kg⁻¹ para a fração C-FAF e teores de 0,36 e 0,15 g kg⁻¹ para a fração C-FAH nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm para o sistema de cana queimada e com teores de 1,02 e 1,42 para a fração C-FAF e teores de 0,96 e 0,88 g kg⁻¹ para a fração C-FAH nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm para o sistema de cana crua. Em estudos sobre estoque e qualidade da matéria orgânica de um solo cultivado com cana-de-açúcar no norte do Rio de Janeiro, Canellas et al. (2007) também verificaram o predomínio da fração humina, seguida da fração ácido fúlvico e da fração ácido húmico até os 40 cm de profundidade no sistema com cana queimada.

2.5 Fósforo Orgânico no Solo

O fósforo orgânico pode constituir de 15 a 80% do fósforo total do solo e é extremamente relevante nos solos tropicais, pois atua ativamente na disponibilidade de fósforo às plantas e deve ser levado em consideração em estudos envolvendo a sua dinâmica e a biodisponibilidade (Stevenson, 1994). De acordo com Tiessen et al. (1984), em solos pouco intemperizados, a contribuição do P orgânico é de 14% na nutrição das plantas, enquanto nos solos mais velhos pode chegar a 80%. Beck & Sanches (1994) observaram que em solos com adubação fosfatada, a contribuição do P orgânico é de 9%, aumentado para 34% nos sistemas sem adubação. Da mesma forma, Gatiboni et al. (2005) relatam que, em solos adubados, a contribuição do P orgânico para a nutrição das plantas foi de 6%, e aumentou para 43% no solo sem adição de fertilizantes minerais.

O fósforo orgânico é originário dos resíduos vegetais adicionados ao solo, do tecido microbiano e dos produtos de sua decomposição. Os processos biológicos regulam a dinâmica e distribuição de formas lábeis de P no solo, e a reciclagem da forma orgânica é um importante fator na disponibilização desse nutriente às plantas (Whitelaw, 2000). As formas orgânicas de P (Po) representam os íons fosfatos ligados aos compostos orgânicos, sua labilidade está diretamente relacionada à suscetibilidade de decomposição do radical orgânico ao qual o fosfato está ligado. Assim, os fosfatos diésteres são bastante suscetíveis ao ataque microbiano e compõem o “pool” de P lábil do solo.

Em condições naturais, como florestas e campos nativos, conseguem se sustentar mesmo sem a adição de fertilizantes fosfatados, inclusive em solos com baixa disponibilidade de fósforo (P). Nesses sistemas, o P disponível é controlado pela ciclagem de P orgânico (Po), tendo como componente essencial a biomassa microbiana (Guggenberger et al., 1996a). Os microrganismos e as raízes de plantas transformam Po em fósforo inorgânico (Pi) disponível no solo através da exclusão de enzimas, globalmente denominadas fosfatases.

A grande variedade de compostos orgânicos no solo faz com que mais da metade das formas de fósforo orgânico ainda não tenham sido identificadas. A importância relativa do P orgânico (Po) na nutrição das plantas aumenta quando há deficiência de P, resultante dos baixos teores totais e, ou, forte adsorção de P pelos oxihidróxidos de Fe e Al no solo.

A principal forma já identificada são os fosfatos de inositol, que compõem de 10 a 80% do fósforo orgânico total, os fosfolipídios (0,5 a 7%), ácidos nucleicos (~ 3%) e outros ésteres fosfato (> 5%) (Dalal, 1977). A estabilidade destes compostos é dependente de sua natureza e de sua interação com a fração mineral, pois estes mesmos compostos são usados como fonte de carbono e elétrons pelos microrganismos, cujo resultado é a sua mineralização e disponibilização do fósforo. Alguns compostos como ácidos nucleicos e fosfolipídios com ligação diéster possuem estrutura química que facilita sua decomposição, sendo facilmente mineralizáveis e, por isso, as quantidades armazenadas no solo são pequenas. Já os fosfatos monoésteres, como o fosfato de inositol, apresentam alta energia de ligação com a estrutura química da molécula e alta carga residual, o que lhe confere facilidade de interação com os constituintes inorgânicos do solo. Isso dificulta a mineralização e favorece o acúmulo no solo, sendo de baixa labilidade e disponibilidade às plantas (Dalal, 1977; Tate, 1984; Stewart & Tiessen, 1987).

Em solos tropicais altamente intemperizados, a ciclagem de fósforo em formas orgânicas mais lábeis é acelerada (Silva & Mendonça, 2007). O conteúdo de Po é maior nos solos mais argilosos (Cade-Menun, 2005), com maior teor de C orgânico (Gressel & McColl, 1997; Cunha et al., 2007) e menor pH (Cunha et al., 2007). Em solos desenvolvidos o fósforo orgânico pode ser a maior fonte de tamponamento do fósforo, já que os colóides inorgânicos atuam principalmente como dreno e competem com as plantas pelo fósforo (Sharpley et al., 1987).

Nessas condições, o P orgânico (Po) assume relevante importância na conservação do P disponível às plantas, por reduzir os efeitos do processo de adsorção de P inorgânico (Pi), pela fase mineral do solo, podendo ser grandemente afetado pela mudança da cobertura vegetal (Solomon et al., 2002; Zaia, 2005). Assim, a caracterização do Po constitui-se de importância fundamental na compreensão do ciclo do P em solos de avançado estágio de intemperismo.

Uma importante função da matéria orgânica do solo é o fornecimento de nutrientes as plantas, principalmente em relação ao P, elemento limitante ao desenvolvimento das culturas de importância econômica em solos altamente intemperizados de ambientes tropicais como o Cerrado (Tiessen & Moir, 1993). Nesses solos, o componente orgânico representa parte considerável do conteúdo disponível de P (Guerra et al., 1996; Turner et al., 2003). Em estudo com diferentes classes de solos, Guerra et al. (1996) observaram que, para Argissolos, o Po correlaciona-se positivamente com o C total e P total, embora o aumento das formas orgânicas não acompanhe o rápido incremento do P total no solo (Selles et al., 1997). De maneira geral, o conteúdo total de Po aumenta, quando o manejo favorece o incremento de carbono e, ou, com a utilização de fertilizantes, e diminui em sistemas intensivos de cultivo com baixa reposição de fósforo (Reddy et al., 2000). A identificação das formas orgânicas de P na matéria orgânica auxilia na compreensão da dinâmica desse nutriente e colabora para o desenvolvimento de uma agricultura menos dependente de insumos industriais.

O fósforo orgânico pode ser considerado uma fonte potencial de fósforo para as plantas através da decomposição microbiana (Cardoso et al., 2003, Zaia et al., 2005). A biomassa microbiana do solo (BMS) utiliza-se dos resíduos orgânicos para adquirir carbono, energia, elétrons e nutrientes, exercendo influência sobre a dinâmica dos nutrientes no solo, provocando a mineralização dos nutrientes da forma orgânica contidos nos resíduos ou a imobilização dos nutrientes da forma mineral presentes no solo (Smeck, 1985). O P microbiano pode funcionar como um amortecedor dos fenômenos de adsorção, imobilizando

temporariamente o fósforo e evitando assim sua adsorção específica aos colóides inorgânicos do solo (Tate et al., 1991).

As medidas de biomassa microbiana têm sido usadas como indicadores de mudanças no conteúdo de matéria orgânica do solo, bem como na dinâmica de P provocada pelas práticas de manejo (Brookes, 1995; Moore, et al. 2000). Segundo Guerra et al. (1995), o conteúdo de P microbiano mostra-se promissor para estudos do destino e dinâmica do P no solo. Em solos sob pastagem, observou-se que a média anual de fluxo de P por meio da biomassa microbiana chega a 23 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de P, podendo este fluxo ser reduzido para 7 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de P em solos cultivados (Brookes et al., 1984), evidenciando que as modificações impostas pelos sistemas de manejo podem interferir significativamente na ciclagem de P no solo. A imobilização e ou mineralização microbiana do fósforo no solo dependerá da composição do material a ser decomposto, manejo do solo, característica do solo, temperatura, pH, adição de fertilizantes, entre outros (Walbridge, 1991). Os microrganismos e raízes de plantas transformam Po em Pi disponível no solo, pela síntese e exclusão de enzimas, globalmente denominadas fosfatases (Eivazi et al., 1977).

Diversos microorganismos possuem capacidade para solubilizar fosfatos por meio de diferentes mecanismos, especialmente pela síntese de ácidos orgânicos, o que promove a acidificação da célula microbiana e do ambiente ao seu redor (Silva Filho et al., 2002).

Para que o fósforo orgânico se transforme em fósforo inorgânico e se torne disponível para as plantas, é necessário que ocorra uma hidrólise que proporcione essa clivagem de fósforo inorgânico de formas orgânicas, é reação catalisada pelo envolvimento de enzimas genericamente denominadas fosfatases (Nahas, 2002). Dependendo do pH do meio, responsável pela otimização da sua atividade, as fosfatases são classificadas em fosfatases ácidas, produzidas por plantas e microrganismos, com pH ótimo na faixa de 4-6, e fosfatases alcalinas em pH acima de 8,5, produzidas por microrganismos. Todavia, o pH ótimo para a atividade de diferentes fosfatases tem se mostrado variável conforme a fonte de fósforo orgânico (Dick & Tabatabai, 1984).

Diversos microorganismos, incluindo bactérias, actinomicetos, fungos e protozoários, são capazes de hidrolisar o P orgânico de muitos compostos, através da produção de fosfatases cuja atividade pode ser um indicador da transformação da MOS (Nahas, 2002). A incorporação de palha aumenta a biomassa microbiana e melhora a disponibilidade desses nutrientes para as plantas. O P da biomassa é a principal fração de P prontamente mineralizável do solo, representando um fluxo de até 30 kg de P. ha⁻¹. ano⁻¹. Portanto, esta quantidade pode ser considerada elevada quando se compara com a pequena quantidade desse nutriente absorvido pelas plantas. (Siqueira & Moreira, 2001).

Em solo do Cerrado sob plantio direto a atividade de fosfatases ácidas foi maior do que no sistema convencional até a profundidade de 20 cm, mas bem mais baixa do que em solo natural (Carneiro et al., 1999). O declínio do Po com o cultivo de solos anteriormente mantidos com pastagens ou seu aumento em solos reflorestados, está intimamente relacionado com o conteúdo de P da biomassa dos microrganismos (Brookes et al., 1984).

2.6 Dinâmica do Fósforo com o Manejo do Solo

Em função dos baixos teores de fósforo disponível em solos intemperizados de ecossistemas naturais, diversos mecanismos são utilizados pelas plantas e organismos adaptados para aumentar a eficiência de absorção de fósforo. Essas estratégias podem ser morfológicas, como o aumento da relação raiz/parte aérea, o aumento de pêlos radiculares e a associação com fungos micorrízicos. Os mecanismos também podem ser bioquímicos ou fisiológicos, como a redução do efluxo de fósforo, mobilização do Pi vacuolar, secreção de ácidos orgânicos, aumento da produção de fosfatases e RNases e ativação de genes para mudanças nos carregadores de fósforo (Rhaghothama, 1999).

Ecossistemas naturais, onde não há contribuição da adubação fosfatada, a disponibilidade de fósforo está intimamente relacionada à ciclagem das formas orgânicas, sendo que a perturbação do sistema pela introdução de outras espécies vegetais ou pelo aumento da biomassa vegetal e adubação, pode acarretar em aumento na sua mineralização, devido a incrementos também na atividade microbiana (Novais & Smyth, 1999).

O manejo do solo, as remoções de P pelas culturas, as aplicações de fertilizantes fosfatados, a calagem e adição de matéria orgânica alteram bastante a dinâmica das transformações do P no solo (Tiessen et al., 1992).

Dependendo do manejo adotado, as frações inorgânicas e orgânicas podem atuar como fonte ou dreno do fósforo disponível. Quando o solo não é fertilizado e há adições de resíduos vegetais, a fração orgânica tampona o fósforo da solução do solo. Por outro lado, quando ocorrem fertilizações há o acúmulo de fósforo nas formas inorgânicas, que tamponam a solução e a fração orgânica é utilizada em menor escala, permitindo sua acumulação. Quando da adição de fertilizantes fosfatados, ocorre a redistribuição do fósforo em todas as frações do solo, porém o acúmulo é mais pronunciado nas frações inorgânicas lábeis. Com o tempo, há aumento da energia de adsorção e o fósforo passa gradativamente para formas de menor labilidade, o que caracteriza o processo de "envelhecimento do fósforo" (Barow, 1999; Novais & Smith, 1999).

Com a aplicação de adubos fosfatados ocorre adsorção do fósforo aos colóides, e o manejo do solo assume um papel importante no prolongamento da sua labilidade, práticas como o não revolvimento do solo, controle da erosão e a manutenção da cobertura vegetal do solo assumem um papel importante para diminuir essa adsorção específica. Em solos onde a fração argila é composta predominantemente por oxihidróxidos de ferro e de alumínio mais caulinita, como os Latossolos do planalto do RGS, a capacidade de sorção do fósforo é alta. Por isso, adições de fertilizante fosfatado onde o solo é revolvido, há exposição de novos sítios de adsorção, contribuindo para a sua retenção com maior energia, como acontece no sistema de cultivo convencional, exigindo doses elevadas para manter a alta disponibilidade. Do mesmo modo, a incorporação dos resíduos vegetais facilita o ataque de microrganismos, dificultando o acúmulo de matéria orgânica e de fósforo orgânico (Gatiboni, 2003).

Estudos têm demonstrado que a natureza e dinâmica da matéria orgânica e a ciclagem de P apresentam comportamentos diferentes sob diferentes sistemas de manejo do solo. Portanto, práticas de cultivo que alteram o comportamento da matéria orgânica exercem grande impacto sobre a distribuição das formas de P no solo (Turrión et al., 2000). Vários trabalhos que visam entender a dinâmica do P têm demonstrado a influência de diferentes práticas – como a calagem, a adição de fontes ou doses de matéria orgânica e os sistemas de cultivo – sobre as transformações das formas de P no solo (Iyamuremye et al., 1996; Tokura et al., 2002). Em estudos sobre a influência da calagem e da adubação orgânica sobre as formas de fósforo no solo, Souza et al. (2007) verificaram que tanto a calagem e adubação orgânica, bem como a interação entre os dois fatores, influenciaram significativamente as formas de P em todos os solos estudados. Os autores verificaram que, de maneira geral, todas as formas de P mostraram padrão crescente com o aumento nas doses de esterco bovino, independentemente das doses de calcário.

2.7 Vinhaça

A vinhaça é o produto de calda na destilação do licor de fermentação do álcool de cana-de-açúcar, é considerado um resíduo de difícil descarte pelas destilarias. É gerado de 13 a 18 litros de vinhaça por litro de álcool produzido (Paulino et al., 2011), assim, considerando uma produtividade de 80 Mg ha⁻¹ de colmos de cana-de-açúcar são gerados uma média de 82.620 a 96.390 litros de vinhaça (Figueiredo & Scala Junior, 2011). A vinhaça possui alto

poder poluente, cerca de cem vezes maior que o do esgoto doméstico, decorrente da sua riqueza em matéria orgânica, baixo pH, elevada corrosividade e altos índices de demanda bioquímica de oxigênio (DBO), (Freire & Cortez, 2000).

Anteriormente à utilização da vinhaça como fonte de nutrientes na cultura da cana-de-açúcar, seu descarte era realizado de forma bruta nos cursos d'água, tornando as águas nas quais é lançada impróprias para o consumo, conferindo à água cheiro e gosto desagradável, turgidez elevada, cor anormal e alta taxa de resíduos, agrava o problema de doenças endêmicas e aumenta a proliferação de insetos (Brito et al., 2007). A utilização da vinhaça gerada durante a produção do etanol como fertilizante agrícola, é uma prática cada vez mais comum do setor sucroalcooleiro, utilizada com o objetivo de reduzir os custos de produção, e de evitar o descarte desse resíduo para águas superficiais e lençóis freáticos (Voll, 2005). Quando aplicada adequadamente, cerca de $150 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, equivale a uma adubação de 61 kg ha^{-1} de nitrogênio, 343 kg ha^{-1} de potássio e 108 kg ha^{-1} de cálcio (Medeiros et al., 2003).

Segundo Glória & Orlando Filho (1983) os efeitos da vinhaça no solo são: a) elevação do pH; b) aumento da disponibilidade de alguns íons, principalmente cálcio, magnésio e potássio; c) aumento da capacidade de troca catiônica (CTC); d) aumento da capacidade de retenção de água e) melhoria da estrutura física do solo. A vinhaça deve ser vista, também, como agente do aumento da população e atividade microbiana no solo. No entanto, a utilização excessiva de fertirrigação com vinhaça pode provocar alterações na fisiologia da cana-de-açúcar, tais como: aumento do teor de umidade dos colmos, redução dos teores de lignina, aumento do fator acamamento, aumento dos teores de potássio em todas as partes da cana, aumento dos teores de cinzas, alongamento do período de vegetação e redução dos teores de sacarose (Freire & Cortez, 2000).

2.8 Técnicas Espectroscópicas na Caracterização das Substâncias Húmicas

As técnicas espectroscópicas utilizam diferentes regiões do espectro eletromagnético, para obter, a partir da interação da energia com a matéria, informações úteis sobre a estrutura das substâncias e compostos orgânicos (Cunha, 2005). A espectroscopia é o estudo da interação da energia quantizada (energia eletromagnética) com a matéria. Um espectro é um gráfico de absorção ou emissão de energia (radiação) contra o comprimento de onda (λ) ou a frequência desta radiação (ν), (Silverstein et al., 1994). Atualmente, a maioria dos estudos realizados com o intuito de caracterizar o carbono orgânico do solo utiliza as substâncias húmicas como objeto de estudo, sendo o ácido húmico o mais utilizado em estudos com alto grau de detalhamento. Isso ocorre devido à maior facilidade de extração, maior relação com a identidade do solo e principalmente pela capacidade de expressar as transformações que ocorrem no solo, incluindo as mudanças em detrimento do manejo adotado (Fontana, 2006).

Uma grande vantagem da técnica espectroscópica para avaliação do carbono orgânico é a possibilidade do estudo não destrutivo do material, das pequenas quantidades de material que são necessárias, já que a extração das mesmas é muito laboriosa, além de metodologias experimentais relativamente simples. Um problema da utilização da técnica é o alto custo dos equipamentos e o conhecimento da teoria complexa envolvida, muito embora a interpretação dos espectros gerados seja relativamente simples (Canellas, 1999).

2.8.1 Espectroscopia de absorção na região do ultravioleta visível (UV-Vis)

A espectroscopia na região do Ultravioleta (200-400nm) e do Visível (400-800nm) identifica as transições de elétrons dos orbitais de seu estado fundamental para orbitais de maior energia em um estado excitado. Através dela é possível calcular a razão E4/E6 (razão entre as absorbâncias a 465 e a 665 nm) que indica a proporção relativa de grupos aromáticos existentes. Essa razão tem sido associada também ao grau de humificação das SHs. A

magnitude dessa relação foi descrita por Kononova (1982), embora Chen et al., (1997), demonstraram que essa relação está mais associada ao tamanho da partícula ou peso molecular, do que propriamente com o grau de condensação das moléculas húmicas. Razão E4/E6 baixo significa constituintes aromáticos mais humificados, alto - estruturas alifáticas menos humificadas. Quanto menor E4/E6 maior grau de condensação da amostra (Canellas & Santos, 2005).

É uma técnica fácil de ser utilizada, rápida de ser realizada e possui baixo custo operacional, porém possui baixos limites de detecção e os espectros correspondem a um gráfico de frequência ou comprimento de ondas de absorção, relacionada com a intensidade de absorção medida em transmitância ou absorbância (Primo et al.; 2011) É muito empregada em estudos com substâncias húmicas do solo para avaliar o grau de humificação, principalmente de AF e de AH (Bayer et al.; 2002). Segundo Kononova (1966), os ácidos fúlvicos apresentam valores da relação E4/E6 entre 6,0 e 8,5, enquanto que os ácidos húmicos apresentam valores dessa relação menores 5,0, porém essa proposta teve como base valores da relação E4/E6 de solos de clima temperado. Para solos de clima tropical e subtropical os valores dessa relação podem ser menores de 3,5 e maiores que 5,0 para os AH e maiores que 8,5 para os AF.

2.8.2 Espectroscopia de absorção na região do infravermelho (IV)

Na espectroscopia do infravermelho é possível obter informações sobre a natureza, a reatividade e o arranjo estrutural dos grupos funcionais (principalmente funções oxigenadas) encontradas nas substâncias húmicas. Observar os efeitos provocados através de modificações químicas (metilação e acetilação) e ainda avaliar a presença ou ausência de substâncias inorgânicas, tais como metais (Stenvenson, 1994).

Os espectros obtidos na região do infravermelho de ácidos húmicos são relativamente menos complexos quando comparados aos espectros de substâncias puras apresentam poucas bandas de absorção e essas se apresentam geralmente alargadas.

Os espectros de substâncias húmicas podem ser classificados em 3 tipos, sendo o tipo 1 e 3 os mais indicados para ácidos húmicos (Stevenson, 1994).

- Espectros do tipo 1 são caracterizados por bandas de absorção fortes e evidentes em 3400 cm^{-1} , 2900 cm^{-1} , 1720 cm^{-1} , 1600 cm^{-1} e 1200 cm^{-1} . A absorção na região de 1600 cm^{-1} possui intensidade semelhante a absorção em 1200 cm^{-1} .
- Espectros do tipo 2 - Os espectros do tipo 2 são característicos de moléculas húmicas de menor massa molecular (ácidos fúlvicos) e, além dessas absorções, apresentam uma absorção muito intensa em 1720 cm^{-1} .
- Espectros do tipo 3 apresentam as mesmas absorções características dos espectros do tipo 1, porém a absorção em 2900 cm^{-1} mais intensa e, além disso, o aparecimento de uma absorção forte em 1540 cm^{-1} .

A diferença entre espectroscopia na região do ultravioleta-visível e a espectroscopia de absorção na região do infravermelho é que na, na região do IV a quantidade de energia é suficiente para provocar somente movimentos vibracionais nas ligações entre os átomos. Diferentemente das poucas bandas de absorção observadas na região do ultravioleta visível para substâncias húmicas, o espectro de infravermelho fornece maior quantidade de bandas de absorção e mais bem definidas. As principais bandas verificadas para substâncias húmicas na literatura encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1. Principais bandas de absorções dos ácidos húmicos.

Número da banda (cm ⁻¹)	Características
3440 - 3380	Estiramento O-H em COOH, álcoolis ou fenóis e estiramento N-H.
3100 - 3030	Estiramento C-H em anéis aromáticos.
2940 - 2900	Estiramento C-H em CH ₂ e CH ₃ alifáticos.
2860 - 2840	Estiramento C-H em CH ₂ e CH ₃ alifáticos.
1725 - 1710	Estiramento C=O em COOH (principalmente), cetonas alifáticas, aldeídos e ésteres
1660 – 1630	Estiramento C=O em amida (banda I), quinonas, ligação H com C=O de cetonas conjugadas, estiramento C=C em anéis aromáticos.
1620 - 1600	Estiramento C=C em anéis aromáticos e estiramento COO ⁻ (principalmente), ligações fortes de H com C=O em cetonas conjugadas.
1545 - 1505	Deformação N-H e estiramento C=N em amida (banda II), estiramento C=C em anéis aromáticos.
1470 – 1420	Deformação C-H em CH ₂ e CH ₃ alifáticos, estiramento COO ⁻ .
1420 – 1380	Deformação C-H em CH ₂ e CH ₃ alifáticos, deformação O-H e estiramento C-O em OH fenólico e estiramento COO ⁻ .
1380 – 1350	Deformação C-H em CH ₂ e CH ₃ alifáticos, estiramento C-OH em OH fenólico e estiramento COO ⁻ .
1260 - 1225	Deformação O-H em COOH e estiramento.
1080 - 1040	Estiramento C-O em álcoolis alifáticos, C-O-C de éteres e C-O em polissacarídeos.
830 - 750	Deformação C-H em anéis aromáticos (fora do plano).

Baes & Bloom (1989); Silverstein et al. (1994); Niemeyer et al. (1992); Stevenson (1994); Barancikova et al. (1997).

O espectro de infravermelho consiste na representação gráfica da correlação entre a intensidade de absorbância (A) ou transmitância (T) e a energia da radiação de IV, expressa em número de ondas (Primo et al., 2011). A técnica de espectroscopia IV, aliada com outras técnicas (análise elementar, RMN ¹³C, determinação do peso molecular, entre outras.), permite montar o “quebra-cabeça” sobre a estrutura, composição e reatividade das substâncias húmicas (Canellas, 1999).

2.8.3 Espectroscopia de ressonância magnética nuclear (¹³C-RMN) e (³¹P-RMN)

A ressonância magnética nuclear (RMN) é um método espectral baseado nas propriedades magnéticas dos núcleos de determinados isótopos como o hidrogênio, carbono, nitrogênio, fósforo, boro, flúor. As amostras são submetidas à excitação mediante a um pulso de radiofrequência, produzindo um sinal complexo que, depois de processado, gera um espectro de RMN. A posição e a intensidade desses sinais, juntamente com a análise de sua estrutura fina, permitem obter informações sobre o tipo de átomos presentes na amostra, além da sua distribuição espacial.

Nas análises de RMN, os átomos de carbono e fósforo contidos nas diferentes estruturas químicas dos ácidos húmicos são identificados com base nos valores de deslocamento químico, Mathers et al.,(2000). A intensidade do sinal observada para um dado valor de deslocamento químico, expresso como uma função da intensidade total dos sinais

adquiridos representa a proporção de cada tipo de carbono presente na amostra. (Baldock & Preston, 1995).

Vale ressaltar, que as quantidades de cada tipo de carbono obtido por esta técnica, são valores aproximados devido a alguma sobreposição entre regiões adjacentes, Além disso, picos tendo a mesma área de integração não necessariamente indicam ter o mesmo numero de spins, porque a eficiência da polarização cruzada não é uniforme para todas as espécies moleculares. (Mathers et al., 2000).

A caracterização é feita através da identificação dos grupos funcionais alifáticos, aromáticos e carboxílicos em suas respectivas bandas (Stevenson, 1994). O método mais amplamente usado para a caracterização de SH em geral é o do ^{13}C em estado sólido, utilizando a polarização cruzada e rotação no ângulo mágico (CP-MAS), para avaliação do processo de humificação da MOS no solo (Cunha, 2005). O núcleo ideal para estes estudos é o ^{13}C , por se encontrar uniformemente distribuído.

A ressonância magnética nuclear do ^{13}C com polarização cruzada e rotação do ângulo mágico (^{13}C CPMAS RMN), diferencia o núcleo do ^{13}C baseado em seus ambientes químicos, dando indicação de toda composição do carbono. Dividindo-se o espectro em diversas regiões correspondentes aos grupos funcionais do carbono podem-se identificar estes ambientes químicos, porém este procedimento analítico é somente semiquantitativo (Mathers et al., 2000).

Em estruturas de lignina, os carbonos substituídos fenólicos e metoxílicos possuem reflexos entre 145 e 150 ppm. Carbono aromático, 135 ppm e os carbonos não substituídos próximo a 120 ppm (Cunha, 2005). Os deslocamentos químicos de carbonos aromáticos dependem muito do grau, da localização e do tipo de substituição no anel. Na região de C-carbonílico, apesar de freqüentemente aparecer um reflexo agudo, este é proveniente da combinação de grupos carboxilas, ésteres e amidas. Esses grupos não são facilmente distinguidos um do outro, porém em solos e materiais de plantas, grupos amidas contribuem mais para o aparecimento deste reflexo. Uma pequena e larga banda próxima a 200 ppm pode ser observada podendo ser atribuída a aldeídos, cetonas ou quinonas, Skjemstad et al, (1997).

Apesar da baixa concentração de P em amostras de solo, o estudo de P por RMN- ^{31}P é muito eficiente devido à alta abundância natural desse isótopo é de 100% (Ceretta et al., 2008). No estudo dos componentes orgânicos de P através da espectroscopia, a avaliação de ácidos húmicos em amostras em solução apresenta maior resolução e, conseqüentemente, menores problemas na identificação. Contudo, soluções alcalinas podem influenciar em processos de hidrólise, alterando a concentração dos vários compostos de P (Marakov et al., 2002).

Diferentes tipos de componentes de P podem ser observados, quantitativa e qualitativamente, com base no ambiente eletrônico em torno dos vários núcleos de P como: compostos fosfonatos, com sinais em torno de 6,0 ppm o sinal corresponde a ortofosfato inorgânico. Ortofosfatos monoésteres apresentam intervalo de 3,0 a 6,0 ppm e compostos diésteres estão próximos a 0 ppm. Sinais de polifosfatos são observados em intervalos de -18 a 20 ppm. Diversos trabalhos têm apresentado, também, sinais de compostos de P não identificados (Turrión et al., 2001; Turner et al., 2003).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Áreas Experimentais

O estudo foi realizado com amostras de terra provenientes Latossolo Vermelho Distrófico (Embrapa, 2006) com textura franco arenosa, em cultivos de cana-de-açúcar (1, 5, 10 anos com queima e 20 anos com queima da palhada e aplicação de vinhaça localizados na região do Cerrado goiano (Figura 1). Em adição, áreas adjacentes sob vegetação nativa e pastagem apenas na segunda coleta foram amostradas como representativas da condição natural do solo.

O clima da região é do tipo Aw (Köppen) – Tropical, com chuvas concentradas no verão e um período seco bem definido durante o inverno. A média anual de precipitação oscila entre 1500 a 1800 mm ano⁻¹, e, a temperatura média anual é de 23 °C (Figura 2).

As coletas de solo foram realizadas após a queima e colheita da cana-de-açúcar nas áreas estudadas. A primeira coleta de solo foi realizada em setembro de 2009 (período seco) e a segunda coleta em maio de 2010 (período chuvoso) nas áreas de cultivo comercial da usina Decal- Destilaria Catanduva, no município de Montividiu, e no município de Rio Verde-GO. Os tratamentos e localização de cada área estão na Tabela 2 e Figura 3.

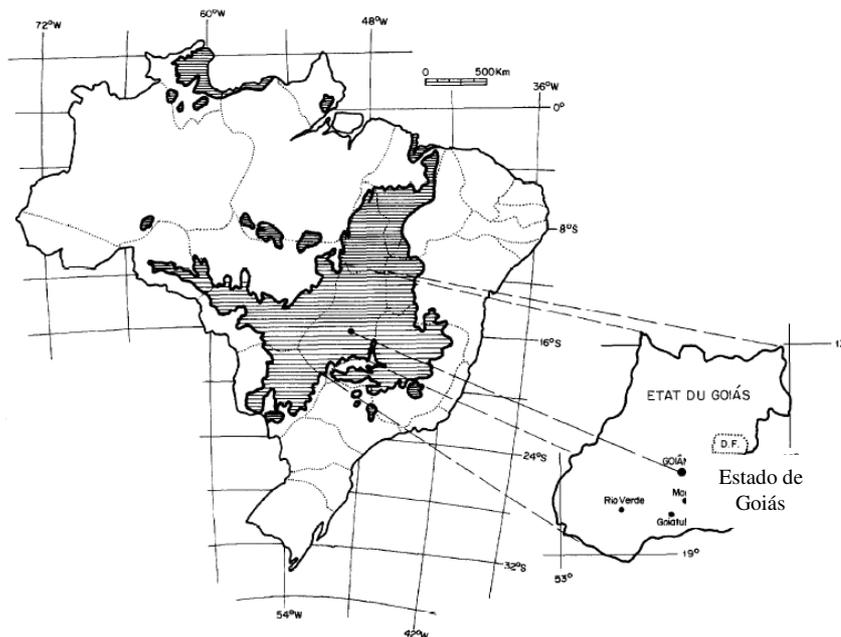


Figura 1. Localização dos Cerrados brasileiros. Em destaque, o Estado de Goiás. (Fonte: Blancaneaux et al., 1993).

O histórico de utilização do solo dos últimos 40 anos de cada área estudada está representado na Figura 4. Todas as áreas, inicialmente, encontravam-se com Cerrado. Área de cana-de-açúcar com 1 ano, foi pastagem por 15 anos e convertida em área de cana, sendo a colheita feita com queima prévia da palhada. Área com cana-de-açúcar com 5 anos foi convertida para área de plantio de cana, colhida com queima nos últimos 5 anos. Área de cana-de-açúcar com 10 anos: estava sob Cerrado, sendo esse posteriormente substituído por pastagem por 10 anos e soja por 8 anos. Após essa fase a área foi utilizada para o plantio de

cana de açúcar, sendo colhida com queima nos últimos 10 anos. Já a área com 20 anos de cana-de-açúcar com 20 anos, inicialmente era uma área de Cerrado, sendo convertida para pastagem tendo esse uso por 10 anos, e vem sendo utilizada com cana nos últimos 20 anos. Na área é realizada a aplicação de vinhaça, sendo a colheita feita da mesma maneira que nas outras áreas (queima prévia da palhada). A área de Cerrado é mantida como área de preservação e não é submetida a nenhum tipo de prática agrícola. A área de pastagem, originalmente uma área de cerrado, foi convertida para esse uso nos últimos 20 anos.

As áreas de cana-de-açúcar receberam 500 kg ha⁻¹ do formulado NPK 5-30-20 no plantio e 500 kg ha⁻¹ do formulado NPK 18-00-27 na soca. A calagem foi realizada no ano de 2008 para as áreas de cana-de-açúcar com 1 e 10 anos (3,6 e 3,4 Mg ha⁻¹ – calcário dolomítico respectivamente) no ano de 2007 para a área de cana com 20 anos (3,0 Mg ha⁻¹ – calcário dolomítico) e no ano de 2005 na área de cana com 5 anos (3,2 Mg ha⁻¹ – calcário dolomítico). A área com 10 anos recebeu a primeira reforma após a colheita da safra 2008/2009, a área com 20 anos foi reformada em 01/02/2000 a segunda reforma foi realizada após a colheita da safra 2008/2009. As produtividades das áreas de cana entre os anos de 2009 a 2012 estão na Tabela 3. A área de cana com 20 anos recebe anualmente 60 m³ ha⁻¹ de vinhaça (N= 0,03; P= 29; K= 225; Ca =70; Mg =87 em mg L; pH (H₂O) = 3,5).

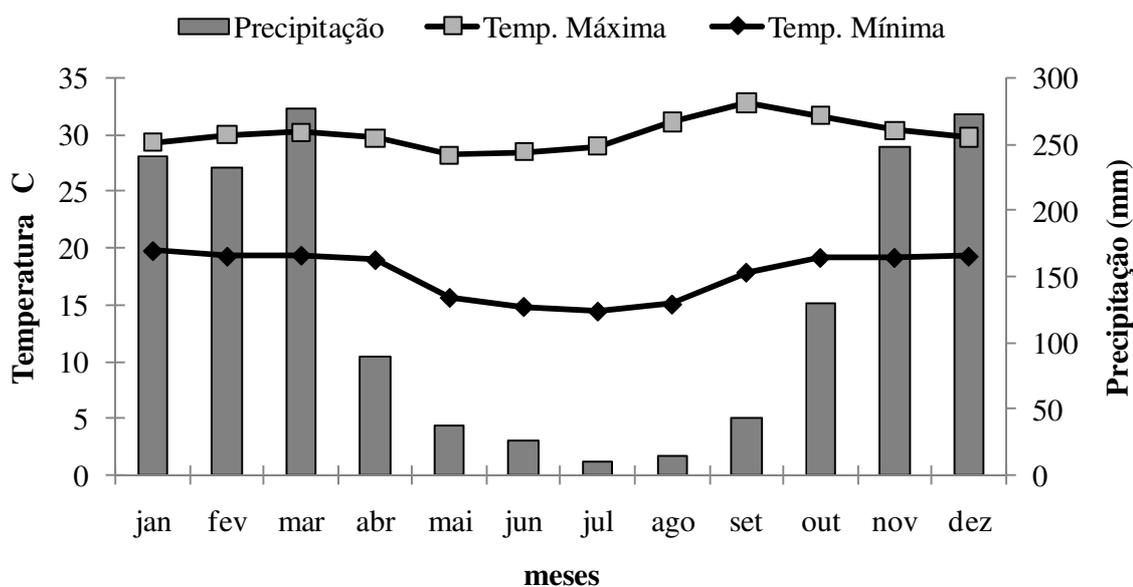


Figura 2. Valores médios de precipitação pluviométrica e temperaturas máximas e mínimas ocorridos desde 1997 a 2010. Fonte: Estação Meteorológica da Fesurv - Universidade de Rio Verde (17° 48'S; 50° 55'W), Rio Verde, GO.

Tabela 2. Localização das áreas amostradas com seus respectivos tratamentos.

Município	Fazenda	Coordenadas	Tratamento
Rio Verde	Rio Verdinho	S 17°41'34'' W 51°1'39'' 802 m	Cana com 1 ano
Rio Verde	Cruz de Malta	S 17°41'35'' W 51°1'32'' 813 m	Cana com 5 anos
Rio Verde	Alvorada	S 17°34'12'' W 51°2'45'' 779 m	Cana com 10 anos
Rio Verde	Alvorada	S 17°32'35'' W 51°4'37'' 831 m	Cana com 20 anos
Rio Verde	Cruz de Malta	S 17°41'43'' W 51°1'23'' 801 m	Cerrado
Rio Verde	Rancho Velho	S 17° 27'04" e W 51° 04'55" 930 m	Pastagem (<i>Brachiaria sp</i>)

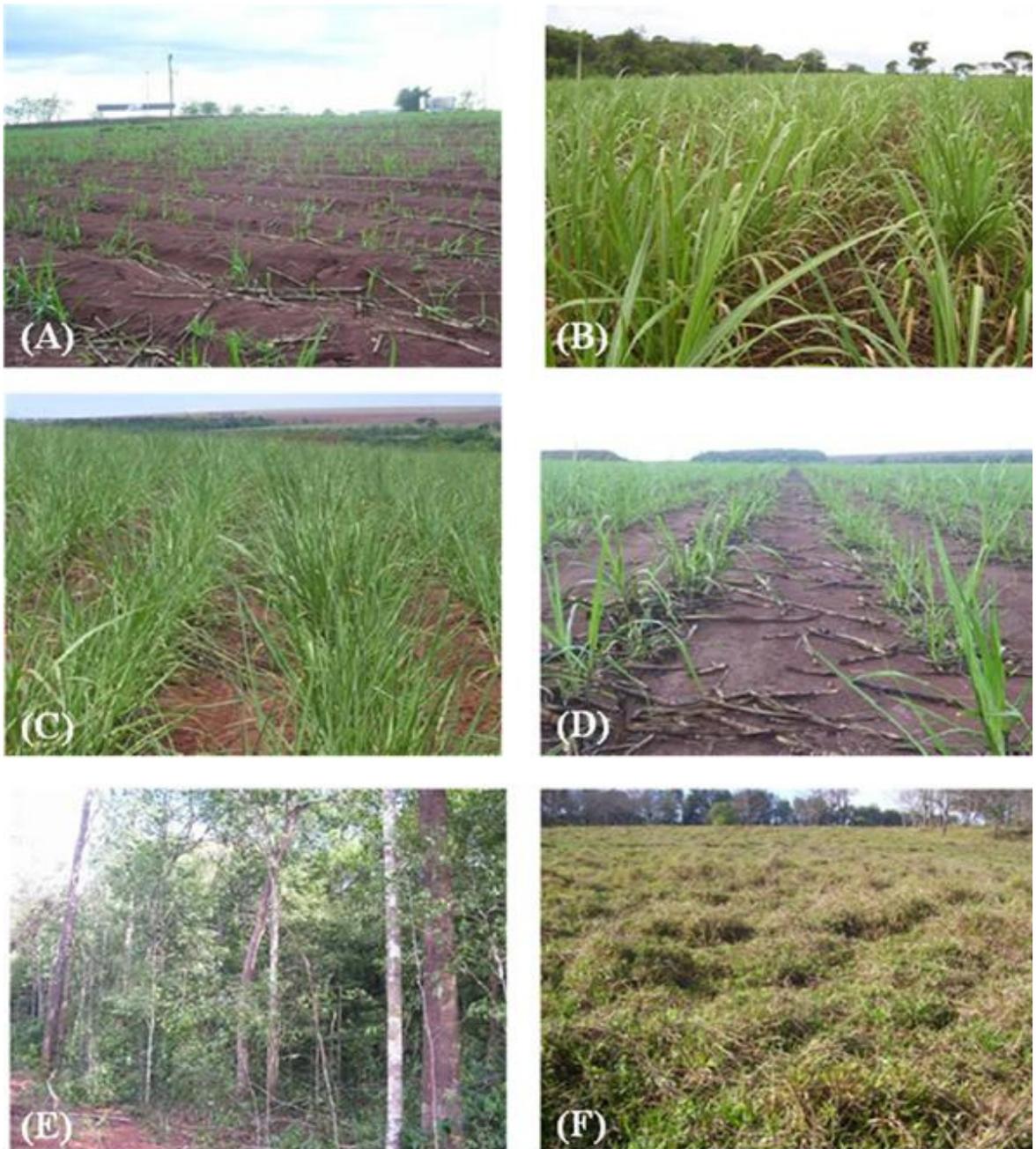


Figura 3. Áreas estudadas no município de Rio Verde – GO. (A) cana com um ano na Fazenda Rio Verdinho; (B) cana com cinco anos na Fazenda Cruz de Malta; (C) cana com dez anos na Fazenda Alvorada; (D) cana com vinte anos na Fazenda Alvorada; (E) Cerrado na fazenda Cruz de Malta; (F) Pastagem (*Brachiaria* sp).

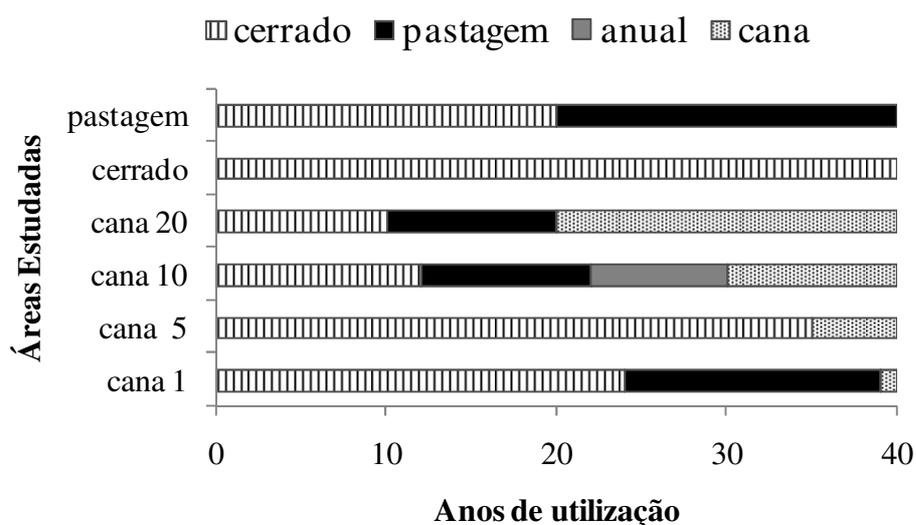


Figura 4. Histórico de utilização das áreas estudadas.

Tabela 3. Produtividade da cana-de-açúcar colhida com fogo em Mg ha⁻¹ dos tratamentos avaliados.

Fazenda	Tratamento	Produtividade de cana (Mg ha ⁻¹)			
		2008/2009	2009/2010	2010/2011	2011/2012
Rio Verdinho	Cana com 1 ano	113,0	104,50	102,80	88,40
Cruz de Malta	Cana com 5 anos	111,0	92,20	84,70	73,20
Alvorada	Cana com 10 anos	85,0	117,70	105,60	94,50
Alvorada	Cana com 20 anos	96,0	122,30	110,30	98,20

3.2 Amostragem do Solo

Para a determinação da densidade do solo, foram coletadas amostras indeformadas com anel de Kopeck nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-60 e 60-80 cm, com seis repetições mediante abertura de trincheiras transversais às linhas de semeadura. Após a determinação da densidade, as amostras foram utilizadas para as análises de carbono, fracionamentos químicos e físicos.

As amostras foram identificadas e acondicionadas em sacos plásticos. Em seguida foram transportadas para o Laboratório de Gênese e Classificação de Solos da UFRRJ, onde foram secas ao ar e peneiradas a 2 mm.

3.3 Análise Granulométrica, pH em Água, Ca⁺², Mg⁺², Al⁺³, K⁺¹ e P Assimilável

Essas análises foram realizadas segundo metodologia proposta por Embrapa (1997).

3.4 Carbono e Nitrogênio do Solo

O carbono orgânico total (COT) foi determinado por oxidação úmida com dicromato de potássio com concentração (0,167 mol L⁻¹) e titulação com sulfato ferroso amoniacal (0,20 mol L⁻¹), segundo a metodologia proposta por Yeomans & Bremner (1988). O estoque de carbono foi calculado pelo método da camada equivalente, em que a correção dos estoques de C do solo, foi realizado levando em conta as diferenças nas massas de solo de cada camada (Sisti et al., 2004).

A determinação da Ds foi feita pelo método do anel de Kopecky (Embrapa, 1997) calculada pela seguinte equação:

$$D_s = M_s/V_s$$

Onde, Ds = densidade do solo ($Mg\ m^{-3}$), Ms = massa do solo (Mg) e Vs = volume do solo (m^3).

O N total foi determinado por digestão com ácido sulfúrico e peróxido de hidrogênio, o extrato obtido foi submetido à destilação a vapor (Kjeldahl) com hidróxido de sódio e titulação do coletado foi feito com ácido bórico (Tedesco et al., 1995).

3.5 Fracionamento Granulométrico da Matéria Orgânica do Solo

O fracionamento granulométrico da matéria orgânica do solo (MOS) foi realizado segundo o método de Cambardella & Elliot (1992). Pesou-se 20 g de solo em 60 ml de solução de hexametáfosfato de sódio ($5g\ L^{-1}$), com posterior agitação horizontal por 16 horas. Após a homogeneização foi realizado o peneiramento úmido, utilizando peneira de 53 μm . O material retido na peneira, que consiste no carbono orgânico particulado (COP) associada à fração areia, e o que passou pela peneira de 53 μm consiste no carbono orgânico mineral (COam) associada às frações silte e argila, foi seco em estufa a 50 °C, moído em gral de porcelana e analisado quanto ao teor de C orgânico segundo Yeomans & Bremner (1988).

3.6 Fracionamento Químico da Matéria Orgânica

Para a extração e o fracionamento químico do solo foi utilizada a técnica de solubilidade diferencial (Swift, 1996), conforme técnica adaptada e apresentada por Benites et al. (2003), obtendo-se o carbono orgânico na fração ácidos fúlvicos (C-FAF), fração ácidos húmicos (C-FAH) e humina (C-HUM).

Pesou-se 1 g de solo submetendo-se ao contato com 20 ml de NaOH 0,1 mol L^{-1} por um tempo de 24 h. A separação entre o extrato alcalino (EA = C-FAF + C-FAH) e o resíduo foi feita por centrifugação a 5000 g por 30 minutos. O resíduo foi reservado para determinação da humina (Hum). O pH do extrato alcalino (EA) foi ajustado para 1,0 com H_2SO_4 20%, seguido de decantação por 18 h. O precipitado (AH) foi separado da fração solúvel (AF) por filtragem e ambos os volumes aferidos a 50 ml com água destilada.

A determinação quantitativa do carbono orgânico nas frações C-FAF e C-FAH foram feitas usando-se alíquotas de 5,0 ml de extrato, em que se adicionaram 1,0 ml de dicromato de potássio 0,042 mol L^{-1} e 5,0 ml de H_2SO_4 concentrado, em bloco digestor a 150°C (30 min) e titulação com sulfato ferroso amoniacal 0,0125 mol L^{-1} . No resíduo, foi determinado o carbono orgânico na fração HUM. Após secagem do material em estufa à 65°C (secagem completa) foi adicionando 5,0 ml de dicromato de potássio 0,1667 mol L^{-1} e 10,0 ml de H_2SO_4 concentrado, em bloco digestor a 150°C (30 min), a titulação foi feita com sulfato ferroso amoniacal 0,25 mol L^{-1} (Yeomans & Bremner, 1988).

3.7 Fósforo Orgânico

A quantificação do Po total foi obtida empregando se o método de extração sequencial com ácido diluído e álcali segundo metodologia de Bowman, 1989) e adaptação sugerida por

Guerra (1993). O carvão ativo em pó foi purificado utilizando solução ácida ($\text{HCl } 6 \text{ mol L}^{-1}$), solução de bicarbonato de sódio ($\text{NaHCO}_3 \text{ } 0,5 \text{ mol L}^{-1}$) e solução alcalina ($\text{NaOH } 0, \text{ mol L}^{-1}$).

A) Quantificação do P orgânico lábil (Figura 5)

- Obtenção do extrato

Em erlenmeyer de 125 ml, pesou-se 5 g de amostra de terra moída em gral de porcelana e adicionou 100 ml de solução de bicarbonato de sódio (NaHCO_3) $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ a pH 8,5, previamente ajustado. Em as amostras foram agitadas por 30 minutos a 220 rpm, com posterior repouso por 30 minutos. Em seguida, o extrato foi filtrado, e acondicionado em recipiente limpo.

- Quantificação do P inorgânico lábil (Pi)

Pipetou-se 10 ml do extrato obtido na etapa anterior, e adicionou-se aproximadamente $0,5 \text{ cm}^3$ de carvão ativo previamente purificado com bicarbonato de sódio, sendo a mistura agitada e filtrada utilizando papel de filtro rápido, e recolhendo-se o filtrado em recipiente limpo, para a quantificação do P do extrato clarificado.

- Quantificação do P total lábil (Pt)

Pipetou-se 20 ml do extrato obtido na etapa anterior em tubo de digestão e adicionou-se 2 ml de cloreto de magnésio ($\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) e 3 ml de ácido perclórico concentrado (HClO_4). Os tubos foram agitados e colocados em bloco digestor com temperatura inicial de 75° C , elevando-se lentamente a temperatura até atingir 150° C e permanecendo sob aquecimento até a formação de um gel incolor, Após o resfriamento o volume foi recolhido do tubo em balão volumétrico de 50 ml onde foi retirada uma alíquota para a quantificação do P.

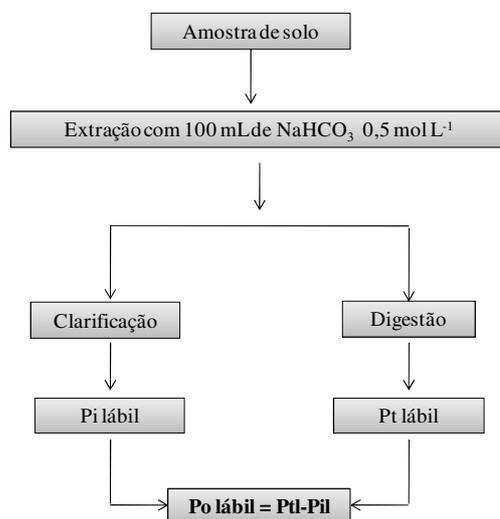


Figura 5. Diagrama esquemático do procedimento utilizado para quantificação do P orgânico lábil (Pol). (Adaptado de Duda, 2000)

B) Extração sequencial do P orgânico total (Figura 6)

- Obtenção do extrato ácido

Pesou-se 2 g de solo em tubo de centrífuga e adicionou-se 3 mL de H₂SO₄ concentrado; Adicionou-se 4 mL de água destilada em alíquotas de 1 mL, seguindo-se de pequenas agitações manuais. O volume foi completado para 50 mL, agitado manualmente e centrifugados a 1884 g por 10 minutos. O sobrenadante foi filtrado e a quantificação do Pi e Pt foi realizado de forma semelhante à determinação do Po lábil.

- Obtenção do extrato alcalino

O papel de filtro utilizado na extração ácida foi picotado e devolvido para o mesmo tubo de centrífuga onde se adicionou 100 mL de NaOH 0,5 mol L⁻¹. Os tubos foram agitados manualmente e colocados os em banho Maria a 80 °C por duas horas, os tubos foram resfriados em água, centrifugados e filtrados como especificado no extrato ácido. As amostras foram clarificadas com carvão ativo previamente tratado com NaOH e a quantificação do Pi e Pt de forma semelhante à determinação do Po lábil, porém sem a adição de cloreto de magnésio.

A quantificação de P nos extratos clarificados e digeridos foi feita através de espectrofotometria no espectro visível, a partir do desenvolvimento da coloração azul do complexo fosfato-molibdato em solução ácida, utilizando ácido ascórbico como reagente redutor. A leitura foi realizada em espectrofotômetro UV-vísivel no comprimento de onda de com 660 nm.

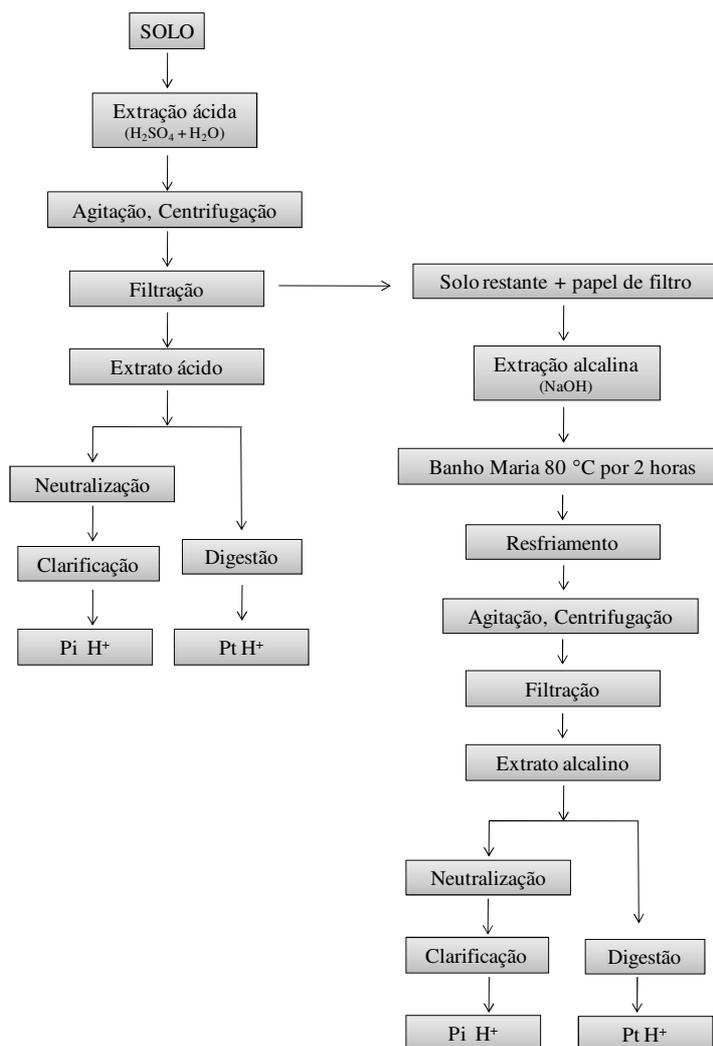


Figura 6. Diagrama esquemático da extração sequencial do P orgânico do solo. (Adaptado de Duda 2000).

3.8 Determinação da Origem do Carbono no Solo

A abundância isotópica de ^{13}C do solo foi determinada em alíquotas contendo entre 200 e 400 μg de carbono total, utilizando um espectrômetro de relação de massa isotópica de fluxo contínuo (espectrômetro de massa Finnigan DeltaPlus acoplado em um auto-analisador de C e N total Carlo Erba EA 1108 – Finnigan MAT, Bremen, Alemanha).

As análises de composição isotópica de C foram feitas medindo-se a relação de $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ das amostras em relação a um padrão internacional. O padrão internacional para o carbono é um material calcário derivado de um fóssil, encontrado em uma formação geológica denominada Pee Dee na Carolina do Norte, EUA. Este padrão é expresso pela abreviação PDB (Pee Dee Belemnite) e tem uma relação molar de $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ (R) de 0,01124. Os desvios em relação ao padrão são conhecidos como unidades em d (letra grega delta minúscula), e como são valores muito pequenos, com mais 5 casas decimais à direita, são expressos em partes por mil ($\delta^{13}\text{C}$ ‰). A composição isotópica das plantas em relação ao padrão PDB é determinada pela equação:

$$\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}(\text{‰}) = (R_{\text{amostra}} - R_{\text{PDB}}) R_{\text{PDB}} \times 1000$$

onde R é a relação molar $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$.

3.9 Índice de Manejo de Carbono (IMC)

Para obtenção do IMC, necessita-se do índice de estoque de carbono (IEC), sendo este índice calculado a partir da relação entre o COT de cada área em relação ao COT da área tomada como referência (Cerrado). A labilidade (L) da MOS foi determinada pela relação entre COp e COam e o índice de labilidade (IL) calculado pela relação entre a L de cada área e a L da área referência. O IMC de cada área foi obtido pela multiplicação entre o IEC e o IL vezes 100 (Blair et al., 1995).

A estimativa do IMC foi realizada com base na soma dos valores médios das profundidades analisadas e, como condição natural, o solo sob floresta utilizado como referência (IMC = 100).

Os resultados dos teores de carbono das frações físicas e propriedades químicas, obtidos para os diferentes tratamentos, foram submetidos ao teste de normalidade (Teste de Lilliefors) e à análise de variância com aplicação do teste F.

Diekow (2003) demonstrou ser possível a utilização dos estoques de COp para o cálculo do IMC, considerando que a fração particulada da MOS fosse proporcional à fração lábil. Desta forma, o cálculo do “IMC” é realizado pela seguinte expressão:

$$\text{IMC} = \text{IEC} \times \text{IL} \times 100 \quad (1)$$

Onde, IEC = índice de estoque de carbono e IL = índice de labilidade. O “IEC” é calculado pela expressão apresentada a seguir:

$$\text{IEC} = C_t \text{ tratamento} / C_t \text{ referência} \quad (2)$$

Onde, C_t tratamento = estoque de COT no tratamento avaliado, C_t referência = estoque de COT num tratamento de referência, normalmente no solo sobre vegetação nativa. O “IL” é calculado da seguinte maneira:

$$\text{IL} = L \text{ tratamento} / L \text{ referência} \quad (3)$$

Onde, L tratamento = Labilidade da Mos no tratamento avaliado, L referência = Labilidade da MOS no tratamento de referência. O “L” é calculado pela expressão apresentada a seguir:

$$L = \text{EstCOp} / \text{EstCOam} \quad (4)$$

Onde, EstCOp = estoque de CO na fração particulada da MOS, EstCOam = estoque de CO na fração associada a minerais da MOS.

3.10 Análise Termogravimétrica

As curvas de termodecomposição foram utilizadas para determinar o teor de cinzas dos AH e foram obtidas em um analisador termogravimétrico do modelo TGA Q5000IR da Universidade da Coruña (Espanha). As amostras foram analisadas sob atmosfera de ar dinâmico de 25 ml min⁻¹, aumentando a temperatura em 10°C min⁻¹, da temperatura ambiente até 650°C. Os dados foram analisados no software V4.4 A da Universal Analysis (TA Instruments, USA, Delaware). Quando o peso não estabilizava em 650°C eram levadas a 800°C (amostras com altos teores de cinza). Todas as amostras foram analisadas após moagem e secagem por 3 semanas em dessecador. O resíduo ao final da queima foi considerado como o teor de cinza.

3.11 Composição Elementar dos Ácidos Húmicos

A análise de conteúdo de C, H, N, S, nas amostras foi realizada usando um analisador elementar Flash EA1112 (ThermoFinnigan) da Universidade da Coruña. As amostras foram pesadas em micro balança MX5 (Mettler Toledo), precisão 1 µg, numa cápsula de estanho de 9 x 5 mm, e analisado por combustão espontânea num tubo de quartzo contendo Cu/WO₃ e mantida a 1020 ° C. Após a combustão dos gases gerados, as amostras são transportadas por uma corrente de hélio através do qual termina WO₃ em seguida, por meio de oxidação de Cu, em que os óxidos são reduzidos para N₂, óxidos de enxofre em SO₂, e retenção de oxigênio em excesso. Subsequentemente a mistura de gases gerados (N₂, CO₂, H₂O e SO₂) passa de uma coluna onde serão separados cromatograficamente, e finalmente detectado por um detector de condutividade térmica. Teste padrão para a quantificação de C, H, N, S: sulfanilamida e BBot. Os teores de carbono (%C), hidrogênio (%H) e nitrogênio (%N) foram corrigidos para base seca e sem cinzas, utilizando as informações obtidas pelos dados da análise termogravimétrica, utilizando a equação a seguir: % corrigido = % original x 100 / (100 - %umidade - %cinzas). O teor de oxigênio foi determinado por subtração a partir dos dados corrigidos, sendo, %O = (100-%C-%H-%N) e as razões atômicas foram obtidas pelas seguintes fórmulas: H/C = (%H / 1) / (%C / 12); O/C = (%O / 16) / (%C / 12); O/H = (%O / 16) / (%H / 1) e C/N = (%C / 12) / (%N / 14).

3.12 Análises Espectroscópicas

3.12.1 Extração e purificação do ácido húmico do solo

A extração, o fracionamento, bem como a purificação dos ácidos húmicos (AH) foi realizada segundo metodologia proposta pela IHSS (Swift, 1996), com uma modificação, onde foi realizado um pré-tratamento com HCl 0,1 mol L⁻¹ para a redução do conteúdo de cinzas. Após essa fase, o solo foi submetido a 16 horas de agitação com NaOH 0,1 mol L⁻¹ na proporção de 1:10 (solo:extrator), seguido por centrifugação a 5000 g por 10 minutos. A separação dos AHs foi realizada com o abaixamento do pH da solução até 1,0 com HCl 6 mol L⁻¹, e após essa etapa as amostras foram colocadas na geladeira por uma noite para a precipitação dos ácidos húmicos, o sobrenadante foi retirado e foi realizada uma redissolução e precipitação. Para a remoção dos sólidos solúveis em suspensão, foram adicionados 200 mL de solução de KOH mol L⁻¹ aos tubos de centrífuga contendo os ácidos húmicos precipitados e submetidos à agitação manual para a homogeneização da amostra e centrifugação por 10 minutos a 5000 g. O sobrenadante foi recolhido e imediatamente o pH foi ajustado para 1, e em seguida novamente centrifugado. Esse tratamento foi repetido. As amostras foram lavadas com solução de HCl 1 mol L⁻¹ para eliminar o excesso de sal. Em seguida, os ácidos húmicos foram purificados com 200 mL de solução aquosa diluída de HF e HCl (0,5%), agitados por 16 horas, centrifugados a 5000 g, repetindo-se esse processo duas vezes.

As amostras foram lavadas com água gelada e transferidas para sacolas de celofane. A diálise foi realizada com água deionizada, trocadas duas vezes ao dia até o teste negativo com AgNO₃. Os AHs foram congelados e secos por liofilização.

3.12.2 Espectroscopia na região do ultravioleta-visível (UV-Vis) e coeficiente E4/E6

Os espectros de UV-Vis foram obtidos num espectrofotômetro Zuzi 4418 da Universidade da Coruña (UDC). A faixa espectral examinada foi de 200 a 380 nm, para o ultravioleta, e de 380 a 600 nm, para a região do visível. Os espectros foram registrados a 25°C com o caminho ótico constante de 1 cm, em solução de 2 mg de AH diluídos em 10 ml de NaHCO₃ 0,05 mol L⁻¹. Para determinar o coeficiente E4/E6, dividiu-se a densidade ótica em 465 nm pela obtida em 665 nm.

3.12.3 Espectroscopia na região do infravermelho (IV)

Os espectros de IV foram obtidos na faixa de 400 cm^{-1} a 4.000 cm^{-1} , com resolução de 4 cm^{-1} num aparelho de infravermelho médio Bruker VECTOR 22 do Serviço de apoio á investigação (SAI) da Universidade da Coruña, em pastilhas de KBr (2 mg de AH liofilizado + 200 mg de KBr, empregando um morteiro de Ágata). A mistura foi prensada num molde para pastilhas de 13 mm, aplicando-se uma carga de 10Mg com o auxílio de uma prensa hidráulica.

3.12.4 Ressonância magnética nuclear (RMN) de ^{13}C e ^{31}P

A espectroscopia de RMN de ^{13}C foi realizada no espectrômetro Bruker AV500 do Serviço de apoio á investigación (SAI) da Universidade da Coruña, equipado com uma criosonda dual ($^1\text{H}/^{13}\text{C}$). Os ácidos húmicos foram solubilizados em solução alcalina (NaOH $0,1\text{ mol L}^{-1}$ preparado com D_2O). Empregou-se uma sequência do tipo *power gated decoupled*, com pulso de 45° para ^{13}C . O tempo de aquisição foi de 1,09 segundos, mais 1 segundo adicional de tempo de relaxação. Foram acumulados de 20.000 a 40.000 varridos por amostra (12 a 24 horas, aproximadamente).

A partir das áreas dos espectros foram calculadas as intensidades relativas de cada grupo e as porcentagens de alifaticidade e aromaticidade a partir das áreas dos espectros, segundo Stevenson (1994):

$$\text{Alifaticidade (\%)} = \frac{\text{área dos sinais de C alifáticos } 0\text{-}110\text{ ppm} \times 100\%}{\text{área dos sinais de C } 0\text{-}160\text{ ppm}}$$

$$\text{Aromaticidade (\%)} = \frac{\text{área dos sinais de C aromáticos } 110\text{-}160\text{ ppm} \times 100\%}{\text{área dos sinais de C } 0\text{-}160\text{ ppm}}$$

Para a espectroscopia de RMN de ^{31}P foi utilizado um espectrômetro Bruker AV300 equipado com sonda QNP ($^1\text{H}/^{13}\text{C}/^{31}\text{P}/^{19}\text{F}$). Empregou-se uma sequência de tipo *power gated decoupled*, com pulso de 90° para ^{31}P . O tempo de aquisição foi de 0,6 segundos, mais 1,5 segundos adicionais de tempo de relaxação. Foram acumulados cerca de 8.000 varridos por amostra (5 horas aproximadamente).

A identificação dos compostos de C e P foi obtida comparando-se os dados obtidos com outros trabalhos publicados, como referência, e pela quantificação realizada por integração da área referente a cada composto de C e P.

3.13 Análises Estatísticas

Os resultados encontrados foram analisados quanto à normalidade e homogeneidade das variâncias através dos testes de Lilliefors e Cochran & Bartlett, respectivamente. Posteriormente, foram analisados como delineamento inteiramente casualizado, com seis tratamentos (cana 1, 5, 10 e 20 anos, Cerrado e pastagem) e 6 repetições de cada camada. Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância com aplicação do teste F e os valores médios comparados entre si pelo teste de Scott-Knott a 5 % de probabilidade com o auxílio do programa estatístico SAEG versão 9.0 (Sistema de Análises Estatísticas e Genéticas – UFV).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização da Composição Química do Solo das Áreas Estudadas

Na Tabela 4 são apresentados os valores médios de pH, nutrientes, H+Al, Al³⁺, Na, valor S, T e V % dos solos avaliados.

Tabela 4. Propriedades químicas e composição textural do solo nos sistemas avaliados.

Prof. (cm)	Mg	Ca	Al	H+Al	pH _(H₂O)	P	K	Valor S	T	V%
	(cmol _c dm ⁻³)					(mg kg ⁻¹)				
Cana 1 ano										
0-5	2,2 A	1,3 B	0,0 C	0,5 C	6,0 A	4,4 D	40,3 D	4,6 B	5,1 C	89,5 A
5-10	1,9 A	1,7 A	0,0 C	0,6 C	6,1 A	5,2 B	23,4 F	3,7 A	4,2 B	85,9 A
10-20	1,6 ^{ns}	1,4 B	0,0 D	1,0 C	5,6 ^{ns}	2,4 C	23,4 D	3,1 A	4,1 B	74,0 A
20-30	1,3 A	0,7 B	0,0 C	1,3 C	4,6 B	2,4 B	26,0 C	2,1 B	3,4 C	61,5 A
30-40	0,4 C	0,9 B	0,2 B	1,3 C	4,2 B	1,2 ^{ns}	23,4 D	1,4 B	2,7 B	52,1 A
40-60	0,9 ^{ns}	0,8 ^{ns}	0,1 B	1,0 C	4,8 ^{ns}	1,6 ^{ns}	23,4 C	1,8 ^{ns}	2,8 B	61,3 A
Cana 5 anos										
0-5	2,1 A	3,1 A	0,0 C	1,4 C	6,4 A	11,4 B	83,6 B	5,4 A	6,8 B	80,1 B
5-10	2,0 A	1,5 A	0,0 C	1,5 B	5,6 A	8,1 A	38,7 D	3,6 A	5,5 B	70,4 B
10-20	1,1 ^{ns}	1,2 B	0,1 C	1,3 C	5,6 ^{ns}	5,7 B	22,1 D	2,3 B	3,6 B	65,2 A
20-30	0,8 B	1,4 A	0,2 B	1,7 C	5,2 A	4,2 A	19,5 E	2,2 B	3,9 C	56,8 A
30-40	1,4 A	1,4 A	0,1 B	1,6 B	5,5 A	2,0 ^{ns}	19,5 E	2,9 A	4,7 A	63,8 A
40-60	0,9 ^{ns}	1,1 ^{ns}	0,2 B	1,3 C	5,3 ^{ns}	1,8 ^{ns}	21,4 C	2,1 ^{ns}	3,4 B	58,3 A
Cana 10 anos										
0-5	1,2 B	2,4 B	0,0 C	1,4 C	5,4 A	29,4 A	104,3 A	2,8 C	4,3 C	68,0 C
5-10	1,3 B	1,5 A	0,0 C	1,9 B	5,8 A	8,9 A	83,3 B	3,1 A	5,1 B	63,5 B
10-20	1,6 ^{ns}	2,4 A	0,0 D	2,2 B	4,9 ^{ns}	2,7 C	74,3 A	4,2 A	6,3 A	64,7 A
20-30	1,4 A	1,6 A	0,0 C	2,1 B	5,5 A	2,9 B	23,1 D	3,5 A	5,6 B	61,5 A
30-40	1,5 A	0,7 C	0,1 B	1,8 B	5,1 A	2,1 ^{ns}	19,5 E	2,2 A	4,0 A	54,9 A
40-60	0,8 ^{ns}	0,5 ^{ns}	0,2 B	1,7 B	5,0 ^{ns}	1,3 ^{ns}	20,8 C	1,4 ^{ns}	3,0 B	45,0 B
Cana 20 anos										
0-5	1,2 B	0,7 B	0,3 B	2,5 B	4,8 B	7,5 C	75,7 C	2,1 D	4,6 C	45,5 D
5-10	1,3 B	0,9 B	0,2 B	2,2 B	4,8 B	8,3 A	109,7 A	2,5 C	4,9 B	52,1 C
10-20	1,1 ^{ns}	0,6 C	0,2 B	1,9 B	4,6 ^{ns}	6,6 A	39,3 B	1,8 B	3,8 B	49,5 B
20-30	0,7 B	0,7 B	0,2 B	1,6 C	5,2 A	4,6 A	51,0 A	1,6 B	3,2 C	49,9 A
30-40	0,9 B	0,7 C	0,3 B	1,3 C	5,0 A	2,7 ^{ns}	49,2 A	1,7 B	2,9 B	56,1 A
40-60	0,9 ^{ns}	0,5 ^{ns}	0,3 B	1,1 C	4,9 ^{ns}	1,7 ^{ns}	42,4 A	1,5 ^{ns}	2,6 B	56,5 A
Cerrado										
0-5	0,7 B	0,3 B	0,6 A	2,0 B	3,5 C	2,6 D	31,5 E	1,1 E	3,1 D	54,2 E
5-10	0,6 B	0,5 B	0,6 A	2,4 B	3,4 C	3,3 C	31,5 E	1,1 C	3,4 B	32,3 D
10-20	0,5 ^{ns}	0,3 C	0,5 A	2,0 B	3,8 ^{ns}	2,3 C	28,6 C	0,9 B	5,7 B	31,7 C
20-30	0,6 B	0,6 B	0,5 A	1,6 C	3,9 C	1,8 B	27,9 C	1,2 B	2,9 C	43,7 B
30-40	0,6 C	0,4 C	0,6 A	1,8 B	3,7 B	1,9 ^{ns}	27,9 C	1,0 B	2,7 B	35,9 B
40-60	0,5 ^{ns}	0,4 ^{ns}	0,6 A	1,7 B	3,8 ^{ns}	1,5 ^{ns}	27,3 B	1,0 ^{ns}	2,6 B	36,8 B
Pastagem										
0-5	2,0 A	1,9 A	0,0 C	4,4 A	5,7 A	2,1 D	77,0 C	4,1 B	8,5 A	49,9 B
5-10	1,8 A	1,9 A	0,0 C	4,3 A	5,6 A	1,5 D	56,9 C	3,9 A	8,2 A	46,7 C
10-20	1,0 ^{ns}	1,5 B	0,0 D	4,8 A	5,5 ^{ns}	1,7 C	39,3 B	2,5 B	7,3 A	35,5 C
20-30	0,5 B	1,3 A	0,0 C	4,5 A	5,5 A	1,2 B	35,7 B	1,9 B	6,4 A	30,1 C
30-40	0,3 C	0,9 B	0,1 B	3,9 A	5,3 A	1,8 ^{ns}	30,6 B	1,3 B	5,2 A	25,9 C
40-60	0,7 ^{ns}	1,0 ^{ns}	0,2 B	3,3 A	5,5 ^{ns}	1,9 ^{ns}	28,6 B	1,7 ^{ns}	5,0 A	34,3 B

Médias seguidas de mesma letra em cada profundidade não diferem significativamente entre os sistemas avaliados, pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

As áreas de cultivo de cana-de-açúcar apresentaram maiores conteúdos de nutrientes e menores valores de elementos tóxicos (Al) em comparação com a área de Cerrado nativo. Este padrão deve-se a adubação e calagem que são realizadas nas áreas com cana. Associado a tal fato, a prática da queima para colheita, favorece a mineralização da palhada, e posterior liberação dos nutrientes. Em relação às propriedades químicas do solo, verificaram-se valores de pH variando entre 3,4 para a área de Cerrado e de 5,7 para a área de pastagem. O menor valor de pH nas áreas de cana-de-açúcar foi verificado para a área com 20 anos o que pode ser justificado pela aplicação de vinhaça que apresenta pH em torno de 3,5. De maneira geral, todas as áreas apresentaram valores de pH diminuindo em profundidade, porém essa redução não é tão acentuada a ponto de causar danos a cultura. Esse padrão difere do observado por Ciotta et al. (2002), que verificaram grande redução dos teores de Ca resultantes da diminuição do efeito residual da calagem nas camadas superficiais. Em função de não receber insumos, a área de Cerrado apresentou baixos valores de pH e baixos teores de Ca e Mg.

Os teores de P variaram entre 29,4 a 1,2 mg kg⁻¹, sendo os maiores valores verificados na camada superficial, com decréscimo em profundidade sendo esses similares aos comumente encontrados em Latossolos na região do Cerrado (Freitas et al., 2000; Santos et al., 2005; Fontana et al., 2006). Os baixos valores de P podem ser decorrentes da adsorção desse elemento pelos óxidos de ferro presentes nesta ordem de solo, ou pela extração e remoção pelas culturas (Fontana et al., 2006).

Os menores valores foram encontrados na área de cana-de-açúcar de 1 ano (Tabela 4). Para o K verificaram-se valores variando entre 109,7 a 19,5 mg kg⁻¹, sendo em todas as áreas observado decréscimo dos valores desse elemento em profundidade. De maneira geral, os maiores valores de K foram observados nas áreas de cana. Quanto aos valores da soma de bases (S), capacidade de troca catiônica do solo (T) e saturação por bases (V%), os maiores valores desses atributos ocorreram nas áreas de cana, seguidas pela área de pastagem e da área de Cerrado.

As cinzas oriundas da queimada da palhada da cana-de-açúcar apresentam altos teores de Ca, K e P. Em curto prazo, o fogo moderado torna-se um agente de mineralização, aumentando a disponibilidade de nutrientes para o crescimento das plantas, especialmente em profundidades menores que 5 cm (Rheinheimer et al., 2003; González-Pérez et al., 2004). Entretanto, em médio e longo prazo, esses efeitos benéficos tendem a desaparecer devido à lixiviação dos nutrientes pela ação da chuva, levando à degradação dos atributos químicos e físicos do solo, resultando em concentrações de nutrientes inferiores às observadas em áreas que não foram submetidas à ação do fogo (Jacques, 2003; Knicker, 2007).

4.2 Carbono Orgânico do Solo (COT)

Os dados do carbono orgânico total (COT) das duas coletas estão na Tabela 5. Foram verificadas poucas diferenças estatísticas entre as coletas realizadas para o COT. Os maiores valores do COT foram verificados na camada de 0-5 cm nos sistemas avaliados (Tabela 5), apresentando redução desses teores em profundidade para as duas coletas. Entre os tratamentos com cana queimada, a área com 1 ano de cultivo apresentou teores mais baixos de COT em relação aos outros cultivos de cana e também em comparação a área de Cerrado na primeira coleta, bem como na segunda coleta até 5 cm de profundidade. Já para as camadas mais profundas foi verificado um incremento de COT na cana 1 ano, podendo ser atribuído pela presença da pastagem anteriormente nessa área (Figura 4) que possui um sistema radicular bem distribuído em profundidade.

Após o quinto ano de cultivo de cana-de-açúcar os teores de carbono não diferiram estatisticamente da área de Cerrado nativo na primeira coleta. Já para a segunda coleta os dados mostram que as áreas de 10 e 20 anos possuem teores maiores que os encontrados para a área de Cerrado e pastagem, o que demonstra que mesmo com a queima do canavial, o solo

ainda mantém as mesmas quantidades de carbono quando comparada a vegetação nativa da região.

Tabela 5. Carbono orgânico total (COT) e densidade do solo (Ds) nas áreas avaliadas de cronossequência de cana-de-açúcar no Cerrado Goiano.

Sistemas ⁽¹⁾	Profundidade (cm)											
	0 - 5		5-10		10-20		20-30		30-40		40-60	
1° coleta (setembro 2009)												
COT (g kg⁻¹)												
Cana 1	9,7	B	10,8	B	10,0	B	9,9	A	8,7	ns	7,8	A
Cana 5	15,4	A*	14,2	A*	9,4	B	8,5	B	7,5	ns	5,9	B*
Cana 10	13,9	A	12,8	B	8,4	B	9,2	B*	8,2	ns	5,5	B
Cana 20	14,0	A	12,3	B	10,8	A	10,3	A*	8,0	ns	6,6	B
Cerrado	14,3	A	12,3	B	11,4	A	11,4	A	9,2	ns	6,0	B
CV%	11,1		11,0		12,1		12,7		18,3		17,4	
Ds (kg dm⁻³)												
Cana 1	1,53	C	1,49	E	1,65	B*	1,75	A*	1,65	B	1,64	B
Cana 5	1,65	A*	1,71	A*	1,73	A*	1,70	A*	1,69	A	1,71	A*
Cana 10	1,59	B	1,61	B	1,75	A*	1,73	A	1,71	A	1,60	C
Cana 20	1,48	D	1,57	C	1,59	B	1,58	B	1,63	B	1,58	C
Cerrado	1,56	C*	1,53	D*	1,62	B*	1,64	B*	1,64	B*	1,57	C*
CV%	2,6		1,6		2,3		3,2		2,7		2,2	
2° coleta (maio de 2010)												
COT (g kg⁻¹)												
Cana 1	10,9	C	11,6	B	12,7	A*	11,8	A*	9,8	A	7,9	A
Cana 5	12,6	C	10,2	B	9,2	B	8,7	B	6,2	B	4,6	B
Cana 10	18,4	A*	13,0	A	9,0	B	6,8	C	6,9	B	5,6	B
Cana 20	19,0	A*	11,7	B	9,6	B	8,6	B	8,0	B	6,7	A
Cerrado	15,1	B	13,6	A	11,5	A	10,7	A	7,2	B	7,4	A
Pastagem	13,8	B	12,5	A	12,8	A	11,4	A	9,0	A	8,7	A
CV%	12,1		14,4		15,3		16,0		18,1		17,7	
Ds (kg dm⁻³)												
Cana 1	1,62	A*	1,61	B*	1,59	B	1,62	A	1,65	A	1,64	A
Cana 5	1,53	B	1,58	B	1,59	B	1,60	A	1,66	A	1,64	A
Cana 10	1,59	A	1,67	A*	1,64	A	1,64	A	1,67	A	1,62	A
Cana 20	1,51	B	1,66	A*	1,71	A*	1,69	A*	1,65	A	1,62	A
Cerrado	1,37	C	1,40	C	1,41	C	1,42	C	1,46	B	1,48	B
Pastagem	1,60	A	1,66	A	1,56	B	1,50	B	1,44	B	1,36	C
CV%	4,7		3,9		3,9		3,7		3,8		3,7	

Médias seguidas de mesma letra não diferem significativamente entre os sistemas avaliados em cada coleta e * diferem para cada tratamento entre as coletas pelo teste de Scott-Knott 5% de probabilidade

Em estudos de longa duração em Cambissolo com textura média cultivado com cana-de-açúcar no norte do Rio de Janeiro Canellas et al. (2003), verificaram teores de COT na ordem de 13,3 g kg⁻¹ na profundidade de 0-20 cm e de 11,80 g kg⁻¹ de 20-40 cm em áreas com cana queimada durante 57 anos. Esses valores foram inferiores aos encontrados nesse estudo para a área de 10 e 20 anos de cana-de-açúcar queimada, mas foi superiores aos das áreas de 1 e 5 anos.

Avaliando atributos físicos e estoques de carbono e nitrogênio em solos com queima e sem queima de canavial Luca et al. (2008) encontraram valores de COT variando de 15,4 a 19,2 g kg⁻¹ até 40 cm de profundidade após 50 anos de queima da cultura da cana-de-açúcar em Latossolo Vermelho Distroférico argiloso na região do nordeste do estado de São Paulo. Ainda neste estudo os autores também avaliaram um Argissolo Vermelho Amarelo Distrófico de textura franco-arenosa e encontraram valores de COT variando de 6,0 a 8,4 g kg⁻¹ até 40 cm de profundidade. Esses valores foram inferiores aos verificados nesse estudo, onde todas as áreas de cana queimada apresentaram valores superiores aos encontrados por Luca et al., (2008) em solos de textura franco arenosa. Estudando sistemas de colheita e manejo da palhada de cana-de-açúcar em Latossolo Vermelho Distrófico, Souza et al. (2005) observaram que o sistema de colheita com queima prévia da cana apresentou menores teores de COT em relação ao sistema de cana crua, ao passo que o sistema de cana crua com palhada incorporada não diferiu estatisticamente do sistema de cana crua sem incorporação da palha.

Em relação aos teores e estoques de COT, a queima da palhada da cana pode afetar tanto seu estoque como sua qualidade (Roscoe et al., 2000; Knicker et al., 2005). A supressão da queima com manutenção da palhada sobre o solo resulta em maior concentração da MOS, conforme relatado por Blair (2000) e Noble et al. (2003) na Austrália; Dominy et al. (2002) na África do Sul e Villegas (1998) em Cuba. Estudos realizados no Brasil mostraram que esses efeitos ocorreram em solo muito argiloso (Orlando Filho et al., 1998) e de textura média (Souza et al., 2005), mas não em solo de textura muito arenosa (Ball-Coelho et al., 1993). Em recente revisão sobre o efeito da colheita da cana-de-açúcar nos estoques de carbono, Cerri et al. (2011) concluíram que o sistema de colheita sem queima acumula carbono na superfície do solo em comparação ao sistema com queima, e esse acúmulo varia de acordo com a textura do solo, sendo verificado que os solos argilosos apresentam uma taxa de acúmulo três vezes superior aos solos arenosos.

Em estudos sobre matéria orgânica com diferentes manejos de resíduos, Spagnollo et al. (2002) verificaram que quando se utiliza a queima para a eliminação dos resíduos, os teores de carbono são menores quando comparados com o sistema de plantio direto, mas são superiores quando comparados com o sistema convencional, ou quando ocorre a retirada dos resíduos. Esses resultados corroboram os encontrados por Chan et al. (2002) onde após 19 anos de diferentes práticas de cultivo e manejo dos resíduos, os autores constataram que as maiores diferenças foram em função do revolvimento do solo e não da queima dos resíduos. Smernik et al. (2000), relatam que com a queima da vegetação adiciona-se C na forma de carvão, que apresenta reatividade biológica e química menor quando comparado a outros materiais orgânicos do solo.

Avaliando o conteúdo de carbono e atributos químicos em Latossolo Vermelho Distroférico com textura muito argilosa sob cana-de-açúcar colhida sem queima no nordeste de São Paulo (Correia & Alleoni 2011), verificaram após 14 anos de experimento incrementos de 28% no valor do COT da área sem queima em detrimento da área com queima para a camada de 0-5 cm de profundidade (cana sem queima 29 g kg⁻¹; cana queimada 22,7 g kg⁻¹), e de 22% para a camada de 5-10 cm de profundidade (cana sem queima 25,3 g kg⁻¹; cana queimada 20,8 g kg⁻¹). Esses valores são superiores aos encontrados nesse estudo devido à textura argilosa promover uma melhor proteção pela matéria orgânica. Para a profundidade de 20-30 cm, continuaram observando incrementos de COT para a área sem queima. Os autores

atribuem esse padrão devido à maior densidade de raízes no sistema sem queima, realçando a importância das raízes no acúmulo de carbono orgânico em profundidade (Anghinoni, 2007).

Correia & Alleoni (2011) verificaram ainda que em comparação ao solo sob vegetação nativa (VN), foi observada uma diminuição de 29% no teor de COT na camada de 0-5 cm e 23% na camada de 5-10 cm quando comparado ao tratamento cana sem queima, já para o tratamento com cana queimada, foram registradas maiores quedas do valor de COT, com 45% na camada de 0-5 cm e 36% na camada de 5-10 cm. Tais resultados corroboram os de Czyzca (2009) que encontrou redução de 41% de C em Latossolo Vermelho Distrófico com textura argilosa submetido há 12 anos ao sistema de colheita de cana queimada na mesma região nordeste de São Paulo.

Signor (2010) estudando uma cronosequência de cana-de-açúcar sob Latossolo Vermelho-Escuro com textura argilosa com 1, 3 e 6 anos com colheita queimada no Estado de São Paulo, verificou teores de COT decrescendo com os anos de queima da cana nas profundidades avaliadas, esses teores variaram de 11,4 a 15,4 g kg⁻¹ de C na profundidade de 0-10 cm, de 10,7 a 14,4 g kg⁻¹ na profundidade de 10-20 cm e de 10,1 a 14,1 g kg⁻¹ na profundidade 20-30 cm.

Avaliando a matéria orgânica e os estoques de nutrientes em Cambissolo sob cultivo prolongado de cana-de-açúcar colhida sem queima, Canellas et al. (2010) encontraram teores de COT 78% superiores na camada de 0-20 cm quando comparada a área onde é utilizada a queima por ocasião da colheita. Já na camada de 20-40 cm esse incremento de carbono foi na ordem de 48%.

Estudando a dinâmica da matéria orgânica em diferentes sistemas de manejo de cana-de-açúcar em Latossolo Vermelho com textura argilosa em Mato Grosso do Sul Rosset (2012) verificaram os maiores teores de COT para a área de Cerrado nativo até 10 cm de profundidade com teores variando de 57,6 a 45,4g kg⁻¹, porém na camada de 10-20 cm não apresentou diferença significativa do sistema torta + vinhaça. O autor observou também que as áreas que recebem vinhaça apresentaram teores de COT maiores que a área de cana-de-açúcar queimada.

Os menores valores de Ds foram verificados até 10 cm de profundidade em todos os sistemas avaliados. Já a Ds média nas profundidades de 10 a 40 cm foi maior ou igual às camadas superiores e inferiores, em todos os sistemas que utiliza a cana-de-açúcar e na área de Cerrado (Tabela 5). Em estudos de COT em Latossolos sob diferentes sistemas de manejo, Freitas et al. (2000) constataram densidades médias variando de 1,10 a 1,32 Mg dm⁻³, e também verificaram uma maior densidade na camada de 10-20 quando comparadas às outras profundidades, isto evidencia uma camada subsuperficial naturalmente mais compactada, de acordo com observações morfológicas dos perfis da região, pela exploração intensiva e inadequada do solo (Blancaneaux et al., 1993).

Em estudo quantificando os estoques e avaliando a qualidade da matéria orgânica de um solo cultivado com cana-de-açúcar por longo tempo, Canellas et al. (2007) verificaram que após 55 anos de cultivo da cana-de-açúcar com a queima do palhico por ocasião da colheita, ocorreu o decréscimo de cerca de 40 % no estoque de COT em relação à área sem queima na camada superficial do solo e de 35 % na camada subsuperficial. Segundo os autores a queima para a despalha do canavial, além de reduzir o aporte de resíduos vegetais, favorece a oxidação da MOS e expõe a superfície do solo aos processos erosivos. Em decorrência disto verifica-se a diminuição do estoque de MOS ao longo do tempo.

Os estoques de carbono (EstC) (Figura 7) seguiram o mesmo padrão que o COT em todas as áreas estudadas.

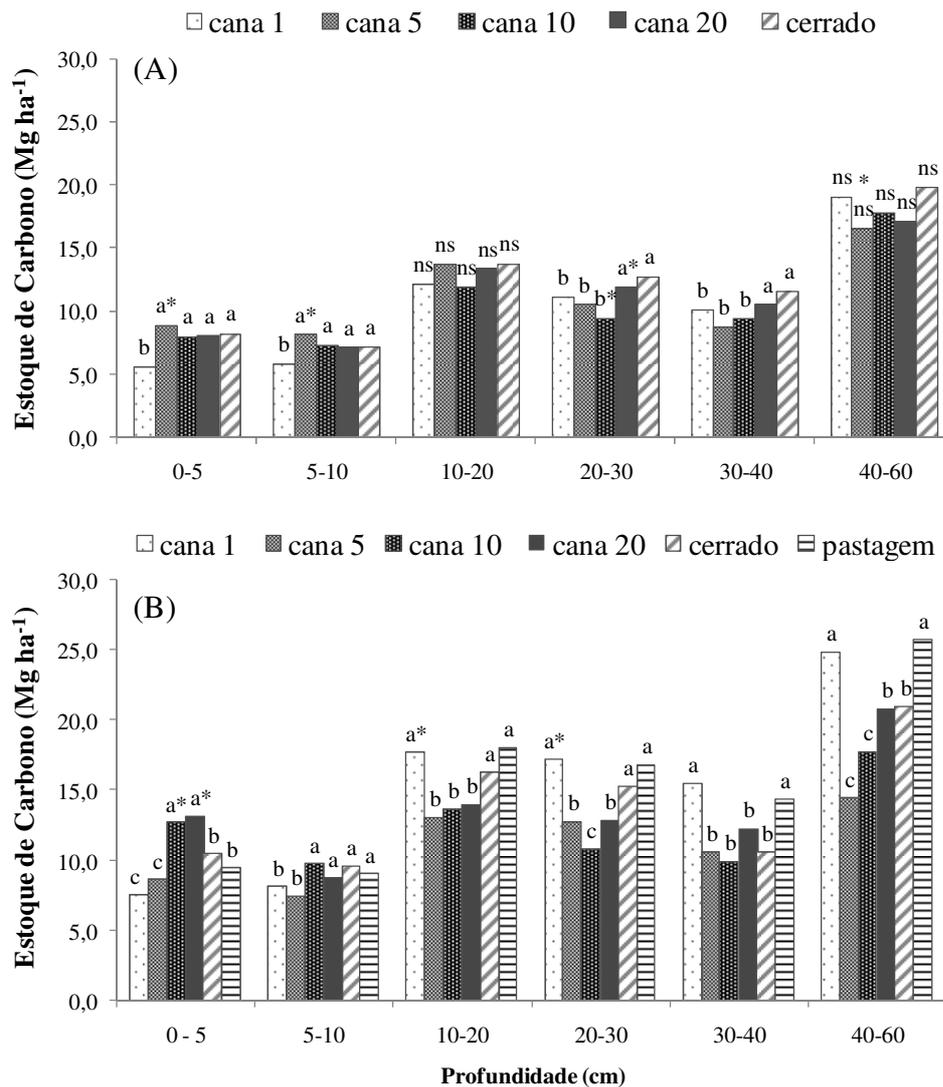


Figura 7. Estoque de carbono (EstC) nas áreas avaliadas de cronossequência de cana-de-açúcar no Cerrado Goiano. (A) Primeira coleta (setembro de 2009), (B) Segunda coleta (Maio de 2010). Médias seguidas de mesma letra não diferem significativamente entre os sistemas avaliados em cada coleta e * diferem para cada tratamento entre as coletas pelo teste de Scott-Knott 5% de probabilidade.

4.3 Fracionamento Físico da Matéria Orgânica

Os maiores teores de carbono orgânico particulado (COp) foram verificados na área de cana com 1 e 5 anos (Tabela 6) na camada de 0-5 cm. A partir de 5 cm os teores da área de cana de 1 ano se igualaram aos teores da área de Cerrado para a primeira coleta. Esta característica, de acúmulo de carbono na fração particulada, está intimamente relacionada ao aporte recente de resíduos na superfície do solo, e pode ser em resposta ao pouco tempo de implantação da cultura de cana-de-açúcar na área de estudo. As maiores produtividades vegetal observadas na área com cana de 1 ano (Tabela 3) e conseqüentemente maiores quantidades de palhada, podem também justificar tal resultado, já que a queima não consegue eliminar 100% do material.

Tabela 6. Carbono orgânico particulado (COP) e carbono orgânico associado aos minerais (COam) nas áreas de cronossequência de cana-de-açúcar no Cerrado Goiano.

Sistemas ⁽¹⁾	Profundidade (cm)											
	0 - 5		5-10		10-20		20-30		30-40		40-60	
1° coleta (setembro de 2009)												
COp (g kg⁻¹)												
Cana 1	6,2	A*	5,3	A*	5,6	A*	4,9	A*	4,0	A*	4,7	A*
Cana 5	6,8	A*	3,7	B*	3,5	B*	3,6	B*	3,2	A*	2,7	C*
Cana 10	5,2	B	3,3	B	3,8	B	2,6	C	2,7	A	1,6	D
Cana 20	4,5	B	4,2	B	3,1	B	1,7	D	1,4	B	1,8	D
Cerrado	4,4	B	4,6	A	4,9	A	4,1	A	3,4	A	3,5	B
CV%	16,7		21,9		21,9		17,5		25,9		14,3	
COam(g kg⁻¹)												
Cana 1	3,5	B	5,6	C	4,4	C	4,9	C	4,7	ns	3,1	B
Cana 5	8,6	A	10,5	A	5,9	B	4,9	C	4,3	ns	3,1	B
Cana 10	8,7	A	9,5	A*	4,6	C	6,6	B*	5,5	ns*	3,9	A*
Cana 20	9,5	A	8,2	B*	7,7	A*	8,6	A*	6,6	ns*	4,8	A*
Cerrado	9,9	A	7,7	B	6,5	B*	7,3	B	5,7	ns*	3,0	B
CV%	18,7		15,0		15,0		19,7		19,2		19,0	
2° coleta (maio de 2010)												
COp (g kg⁻¹)												
Cana 1	2,8	B	1,8	B	2,0	C	1,5	B	0,6	B	0,4	C
Cana 5	3,7	B	2,3	B	1,5	C	1,4	B	1,2	B	0,9	B
Cana 10	7,4	A*	6,2	A*	5,6	B*	5,3	A*	5,4	A*	5,5	A*
Cana 20	8,4	A*	6,6	A*	6,5	A*	6,2	A*	6,0	A*	5,3	A*
Cerrado	8,1	A*	6,3	A*	6,2	A*	6,1	A*	5,7	A*	5,4	A
Pastagem	2,4	B	2,0	B	1,7	C	1,0	B	1,0	B	1,3	B
CV%	18,8		17,6		15,4		21,3		18,3		12,6	
COam (g kg⁻¹)												
Cana 1	9,4	ns*	10	A*	10,6	A*	10,2	A*	9,1	A*	7,4	A*
Cana 5	9,0	ns	8,3	A	7,7	B*	7,3	B*	4,3	B	3,7	B
Cana 10	9,6	ns	6,7	B	3,6	D	2,4	D	2,6	C	1,1	C
Cana 20	11,2	ns	5,1	B	3,2	D	2,4	D	3,1	C	1,4	C
Cerrado	10,6	ns*	7,4	B	5,2	C	4,6	C	1,9	C	2,6	B
Pastagem	10,3	ns	10,5	A	11,1	A	10,4	A	8,0	A	7,4	A
CV%	23,0		21,4		21,0		24,7		25,6		27,7	

Médias seguidas de mesma letra não diferem significativamente entre os sistemas avaliados em cada coleta e * diferem para cada tratamento entre as coletas pelo teste de Scott-Knott 5% de probabilidade.

Já na segunda coleta, houve uma inversão nos teores da COp, ocorreu um aumento significativo para as áreas de 10 e 20 anos em todas as profundidades avaliadas, isto ocorrendo muito provavelmente devido a reforma do canavial nessas duas áreas logo após a primeira coleta, fazendo com que as produtividades aumentassem aproximadamente 30% nas

áreas reformadas e promovendo um maior acúmulo de material não queimado. Além disso, em decorrência da reforma ocorreu o revolvimento do solo, já que as áreas são conduzidas em plantio convencional, o que favoreceu maiores teores de COP nessas áreas em profundidade. Já para as áreas de 1 e 5 anos houve uma diminuição significativa acompanhada pela diminuição da produtividade nessas áreas (Tabela 3).

Sob cultivo de cana-de-açúcar em Latossolo Vermelho argiloso em diferentes sistemas de manejo em área de produção comercial da Usina LDC-SEV localizada no município de Maracaju, Rosset (2012) observou os maiores teores de COP para a área de mata nativa em todas as profundidades avaliadas. Para as áreas de cana-de-açúcar sob diferentes sistemas não foi verificada diferenças até 10 cm de profundidade para o manejo cana crua, cana queimada, cana queimada com aplicação de vinhaça e cana queimada com aplicação de torta de filtro, já na camada de 10-20 cm a área com aplicação de torta+vinhaça apresentaram os maiores teores, igualando-se estatisticamente com a área de mata nativa.

Em estudos sobre a dinâmica do carbono em agrossistema com cana-de-açúcar, Galdos (2007) observou um declínio do carbono da matéria orgânica particulada com a conversão da floresta para a cultura da cana-de-açúcar, após cinquenta anos de cultivo contínuo com queima. Já Silva et al. (2007) avaliando o impacto do cultivo de cana-de-açúcar nas frações do carbono em Latossolo Amarelo, descreveram um acentuado declínio dos teores de carbono da COP após a conversão da floresta para cana, seguido por um aumento gradativo, mas sem alcançar os mesmos teores iniciais após 25 anos de cultivo contínuo.

O carbono orgânico associado aos minerais (COam), àquela associada às frações silte e argila, a qual apresenta um avançado grau de humificação (Bayer et al., 2004) normalmente é menos sensível às alterações de manejo, principalmente a curto prazo. A COam é a fração estável da matéria orgânica do solo, composta principalmente por substâncias húmicas, exercendo papel significativo na estabilização dos microagregados (Cambardella & Elliott, 1992).

Para a fração COam não foram verificadas diferenças estatísticas na primeira coleta entre as áreas de cana com queima da palhada com 20 anos e a área de Cerrado, até a profundidade de 10 cm, para as camadas mais profundas os teores da área de cana com 20 anos foram superiores às áreas de Cerrado, esse resultado sugere uma maior estabilização da matéria orgânica nestas áreas (Tabela 6). Para as áreas de cana com 1 ano e 5 anos foi verificado um padrão inverso ao observado para a COP, com os menores valores para a área de 1 ano até 20 cm de profundidade. Isso ocorre, pois a COam é determinada pela diferença entre o COT e a COP, dessa forma se houver uma diminuição nos teores de COP, poderá ocorrer um incremento relativo nos teores de COam.

Já para a segunda coleta foram verificados maiores valores quando comparados a primeira coleta para a área de cana com 1 ano. A área de pastagem juntamente com a área de cana com 1 ano apresentaram as maiores contribuições para a fração COam. Rosset (2012) verificou a predominância da fração COam em detrimento da fração COP nas áreas de cana-de-açúcar manejadas com e sem queima e com aplicação de vinhaça e torta de filtro. Os maiores teores verificados pelo autor foram para a área de mata nativa e cana com aplicação de torta+vinhaça com valores da ordem de 30,05 e 20,93 na profundidade de 0-5 cm, 23,05 e 19,42 na profundidade de 5-10 cm e 16,61 e 15,08 na profundidade de 10-20 cm.

Para os valores médios de EsCOP e EstCOam, (Figura 8 e Figura 9), observou-se o mesmo padrão verificado para COP e COam, ou seja, onde ocorreram os maiores valores das frações granulométricas, tem-se os maiores valores de estoque.

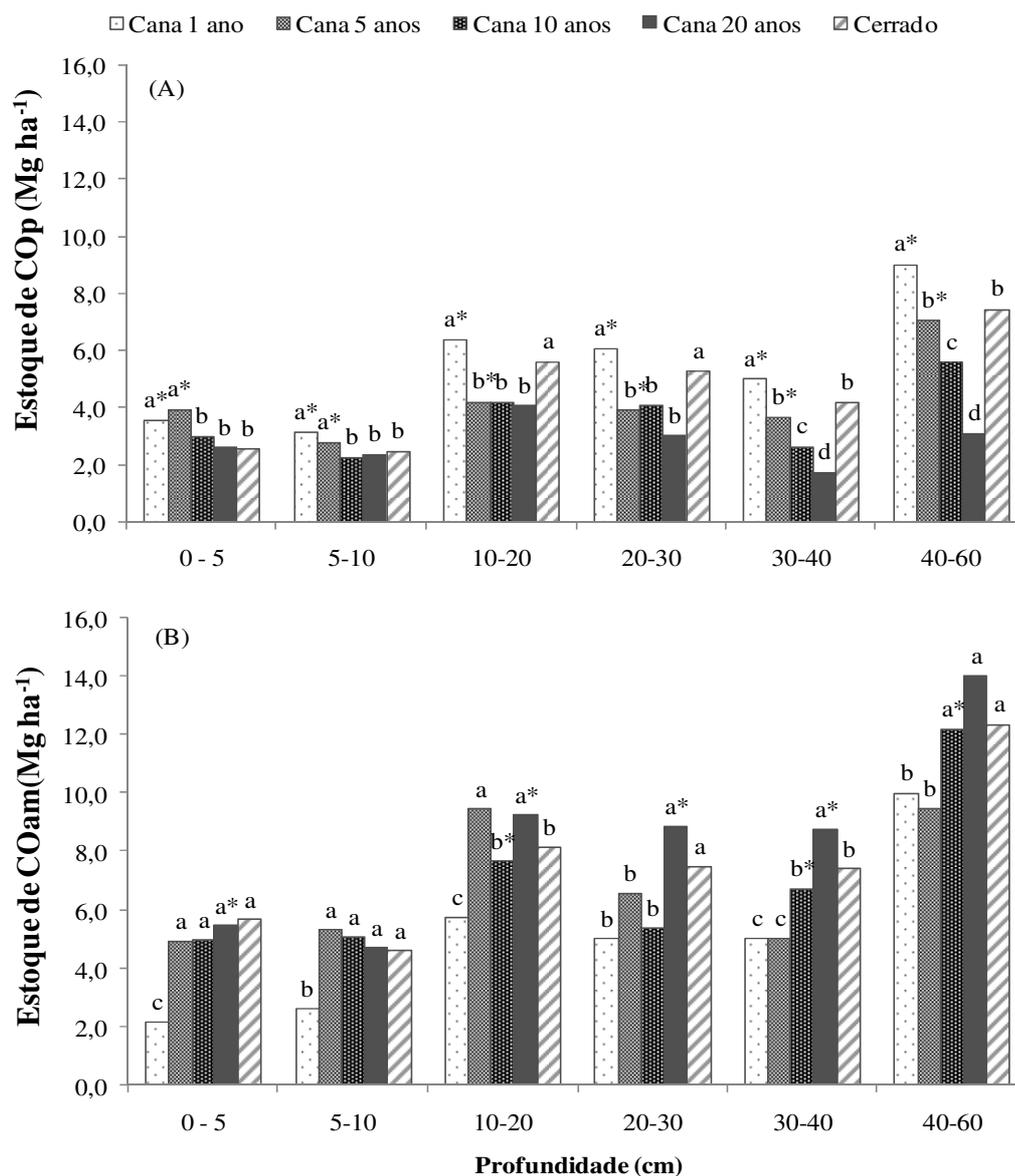


Figura 8. Estoque de matéria orgânica particulada (EstCOp) e estoque de matéria orgânica mineral (EstCOam) na primeira coleta (setembro de 2009) nas áreas avaliadas de cronossequência de cana-de-açúcar no Cerrado Goiano. Médias seguidas de mesma letra não diferem significativamente entre os sistemas avaliados, pelo teste de Scott-Knott 5% de probabilidade.

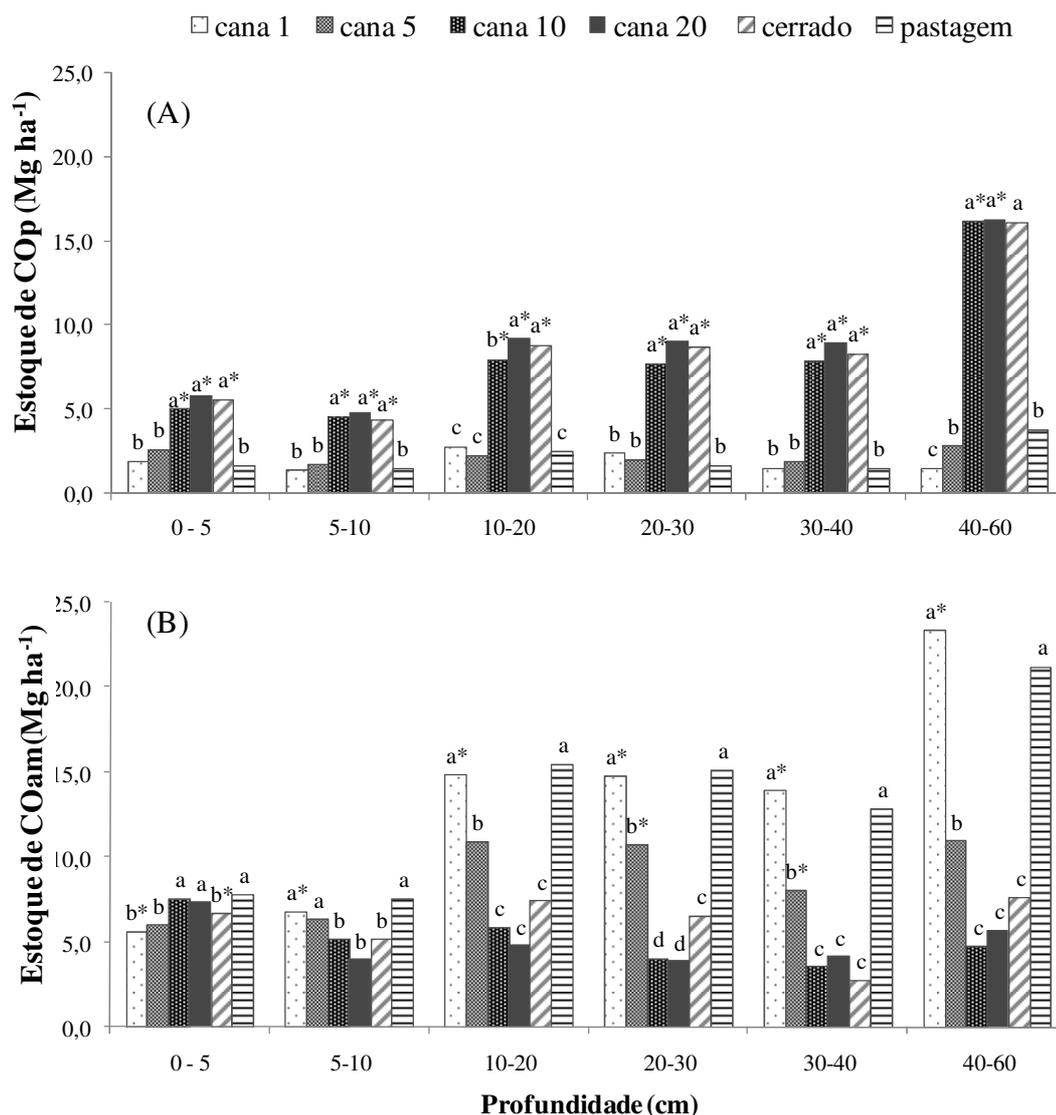


Figura 9. Estoque de matéria orgânica particulada (EstCOp) e estoque de matéria orgânica mineral (EstCOam) para a segunda coleta (maio de 2010) nas áreas avaliadas de cronossequência de cana-de-açúcar no Cerrado Goiano. Médias seguidas de mesma letra não diferem significativamente entre os sistemas avaliados, pelo teste de Scott-Knott 5% de probabilidade.

4.4 Fracionamento Químico da Matéria Orgânica

Quanto às frações químicas da matéria orgânica, na primeira coleta verificou-se houve predomínio da fração humina C-HUM (Tabela 7 e Tabela 8) em todas as áreas e profundidades avaliadas, seguido da fração ácido fúlvico (C-FAF) nas áreas de cana com 1 e 5 anos em todas as profundidades e ácido húmico (C-FAH) nas áreas de cana 10 e 20 anos até 30 cm de profundidade. Entre as áreas de cana avaliadas, a fração humina apresentou os maiores teores nas áreas de 10 e 20 anos nas profundidades de 0-5 cm e 40-60 cm, nas demais profundidades essas áreas não diferiram das áreas de cana com 1 e 5 anos. Essa tendência de acúmulo na fração humina pode ser explicada pelo fato das huminas serem substâncias altamente estáveis e resistentes à degradação microbiana, fortemente associada à fração mineral do solo, principalmente em solos oxidicos (Stevenson, 1994; Benites et al., 2003 Barreto et al., 2008), ou pelo fato das frações C-FAH e C-FAF serem menos estáveis no solo,

sendo submetidas a processos de polimerização e mineralização, com movimentação no perfil do solo (Leite et al., 2003).

Tabela 7. Carbono na fração ácido fúlvico (C-FAF) e carbono na fração ácido húmico (C-FAH); Carbono na fração humina (C-HUM) na primeira coleta (setembro de 2009), nas áreas de cronossequência de cana-de-açúcar no Cerrado Goiano.

Sistemas	Profundidade (m)					
	0-5	5-10	10-20	20-30	30-40	40-60
C-FAF (g kg⁻¹)						
Cana 1	1,0 C	1,0 B	0,9 B	1,0 B	0,9 C	1,2 A
Cana 5	1,5 B	1,2 B	1,3 B	1,3 B	1,2 B*	1,2 A
Cana 10	1,2 C	1,3 B	1,2 B	1,1 B	1,3 B	1,1 B
Cana 20	1,0 C	1,1 B	1,2 B	1,1 B	1,0 C	0,8 B
Cerrado	1,8 A	1,9 A*	1,7 A*	1,9 A*	1,7 A*	1,5 A*
CV%	16,0	19,9	21,2	20,0	22,4	24,8
C-FAH (g kg⁻¹)						
Cana 1	0,7 B	0,9 B	0,8 B	1,0 A	0,5 A	0,4 C
Cana 5	1,3 A	1,0 B	0,6 B	0,7 B	0,5 B	0,5 C
Cana 10	1,7 A	1,7 A*	1,3 A	1,2 A*	0,8 A*	1,3 A
Cana 20	1,7 A	1,9 A*	1,5 A	1,3 A	0,8 A	0,5 C
Cerrado	1,6 A	1,9 A*	1,6 A*	1,1 A*	1,0 A*	0,8 B*
CV%	24,6	19,9	19,7	20,0	27,4	23,0
C-HUM (g kg⁻¹)						
Cana 1	3,0 B*	2,8 B	2,6 ^{ns}	2,3 B*	1,7 B	1,5 B*
Cana 5	3,8 B	3,2 B	2,5 ^{ns}	1,9 B	1,3 B	1,2 B*
Cana 10	4,7 A*	3,4 B*	3,1 ^{ns*}	2,4 B*	1,8 B*	1,9 A*
Cana 20	4,2 A	3,1 B*	2,7 ^{ns}	2,1 B	1,7 B	1,9 A
Cerrado	3,7 B	4,0 A*	3,2 ^{ns*}	2,9 A	2,3 A	1,9 A
CV%	18,0	16,3	21,3	22,7	25,0	22,7

Médias seguidas de mesma letra não diferem significativamente entre os sistemas avaliados, pelo teste de Scott-Knott 5% de probabilidade.

Na segunda coleta também foram verificadas os maiores teores de C-HUM até 20 cm de profundidade. Com exceção da profundidade de 0-5 cm para a área com cana de 20 anos, os outros tratamentos apresentaram maiores valores na fração C-FAF em detrimento da fração C-FAH. Entre as coletas foram verificados decréscimos principalmente nas áreas com cana de 10 e 20 anos na fração C-FAH e na fração C-HUM na área com cana de 10 anos, muito provavelmente esse padrão esteja associado com a reforma do canavial que ocorreu entre as duas coletas.

Rosset (2012) verificou que os maiores estoques de C-FAF ocorreram na área com cana-de-açúcar queimada antes da colheita e com aplicação conjunta de torta de filtro e vinhaça com valores de 3,95, 4,26 e 7,19 Mg ha⁻¹ nas profundidades de 0-5, 5-10 e 10-20 cm. Já para as áreas de cana queimada sem aplicação de resíduos, cana queimada com vinhaça e cana queimada com torta de filtro os teores não diferiram até 10 cm de profundidade. Para a fração C-FAH não foi verificada diferença entre os tratamentos e profundidades avaliadas.

Em estudos sobre estoque e qualidade da matéria orgânica de um solo cultivado com cana-de-açúcar no norte do Rio de Janeiro, Canellas et al. (2007) verificaram o predomínio da fração C-HUM, seguida da fração C-FAF e da fração C-FAH até os 40 cm de profundidade no sistema com cana queimada.

Avaliando as propriedades químicas em Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar Canellas et al., (2003) encontraram valores de C-FAF e C-FAH inferiores aos observados nesse estudo, com teores de 0,85 e 0,65 g kg⁻¹ para a fração C-FAF e teores de 0,36 e 0,15 g kg⁻¹ para a fração C-FAH nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm para o sistema de cana queimada e com teores de 1,02 e 1,42 para a fração C-FAF e teores de 0,96 e 0,88 g kg⁻¹ para a fração C-FAH nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm para o sistema de cana crua.

Tabela 8. Carbono na fração ácido fúlvico (C-FAF) e carbono na fração ácido húmico (C-FAH); Carbono na fração humina (C-HUM) na segunda coleta (maio de 2010), nas áreas de cronosequência de cana-de-açúcar no Cerrado Goiano.

Sistemas	Profundidade (cm)					
	0 - 5	5-10	10-20	20-30	30-40	40-60
C-FAF (g kg⁻¹)						
Cana 1	1,0 C	1,2 B	1,0 B	1,1 B	1,0 B	0,8 ^{ns}
Cana 5	1,5 B	1,5 B	1,4 B	1,2 B	0,9 B	1,1 ^{ns}
Cana 10	1,4 B	1,4 B	1,5 B	1,4 B	0,8 B	1,3 ^{ns}
Cana 20	1,2 C	1,2 B	1,2 B	1,3 B	1,2 B	1,5 ^{ns}
Cerrado	1,9 B	1,5 B	1,4 B	1,4 B	1,1 B	1,1 ^{ns}
Pastagem	2,5 A	2,8 A	2,6 A	2,5 A	2,2 A	1,6 ^{ns}
CV%	17,5	25,8	30,0	18,2	29,8	29,7
C-FAH (g kg⁻¹)						
Cana 1	0,6 B	0,7 ^{ns}	0,7 ^{ns}	0,8 A	0,4 C	0,3 B
Cana 5	1,1 A	1,4 ^{ns}	0,6 ^{ns}	0,7 B	0,4 C	0,4 B
Cana 10	1,2 A	0,8 ^{ns}	0,8 ^{ns}	0,6 B	0,5 C	0,4 B
Cana 20	1,6 A	1,2 ^{ns}	1,1 ^{ns}	1,1 A	1,2 A	1,0 A
Cerrado	1,4 A	0,9 ^{ns}	0,8 ^{ns}	0,4 B	0,5 C	0,4 B
Pastagem	1,7 A	1,4 ^{ns}	1,1 ^{ns}	1,1 A	0,8 B	0,8 A
CV%	29,5	36,6	40,3	32,4	33,4	31,8
C-HUM (g kg⁻¹)						
Cana 1	2,4 B	2,5 A	2,0 C	1,5 C	1,3 C	0,8 D
Cana 5	3,4 B	3,0 A	2,1 C	1,7 C	1,1 C	0,9 D
Cana 10	3,2 B	2,4 A	1,3 D	1,0 D	0,6 D	0,9 D
Cana 20	4,8 A	2,6 A	2,7 B	2,3 B	1,8 B	1,7 B
Cerrado	5,3 A*	2,8 A	2,0 C	2,0 B	1,8 B	1,2 C
Pastagem	3,9 B	3,6 A	3,6 A	3,1 A	2,7 A	2,6 A
CV%	22,8	22,9	14,6	25,8	22,0	16,5

Médias seguidas de mesma letra não diferem significativamente entre os sistemas avaliados, pelo teste de Scott-Knott 5% de probabilidade.

Para os valores médios de EstC-FAF, EstC-FAH e EstC-HUM (Figuras 10 e 11), observou-se o mesmo padrão que o verificado para C-FAF, C-FAH e C-HUM, ou seja, onde ocorreram os maiores teores das frações químicas, tem-se os maiores valores correspondentes de estoque. Canellas et al. (2007) observaram valores de estoque de carbono ordem de 25,0, 1,99 e 0,99 Mg ha⁻¹ até 20cm de profundidade na fração humina, C-FAF e C-CAH respectivamente.

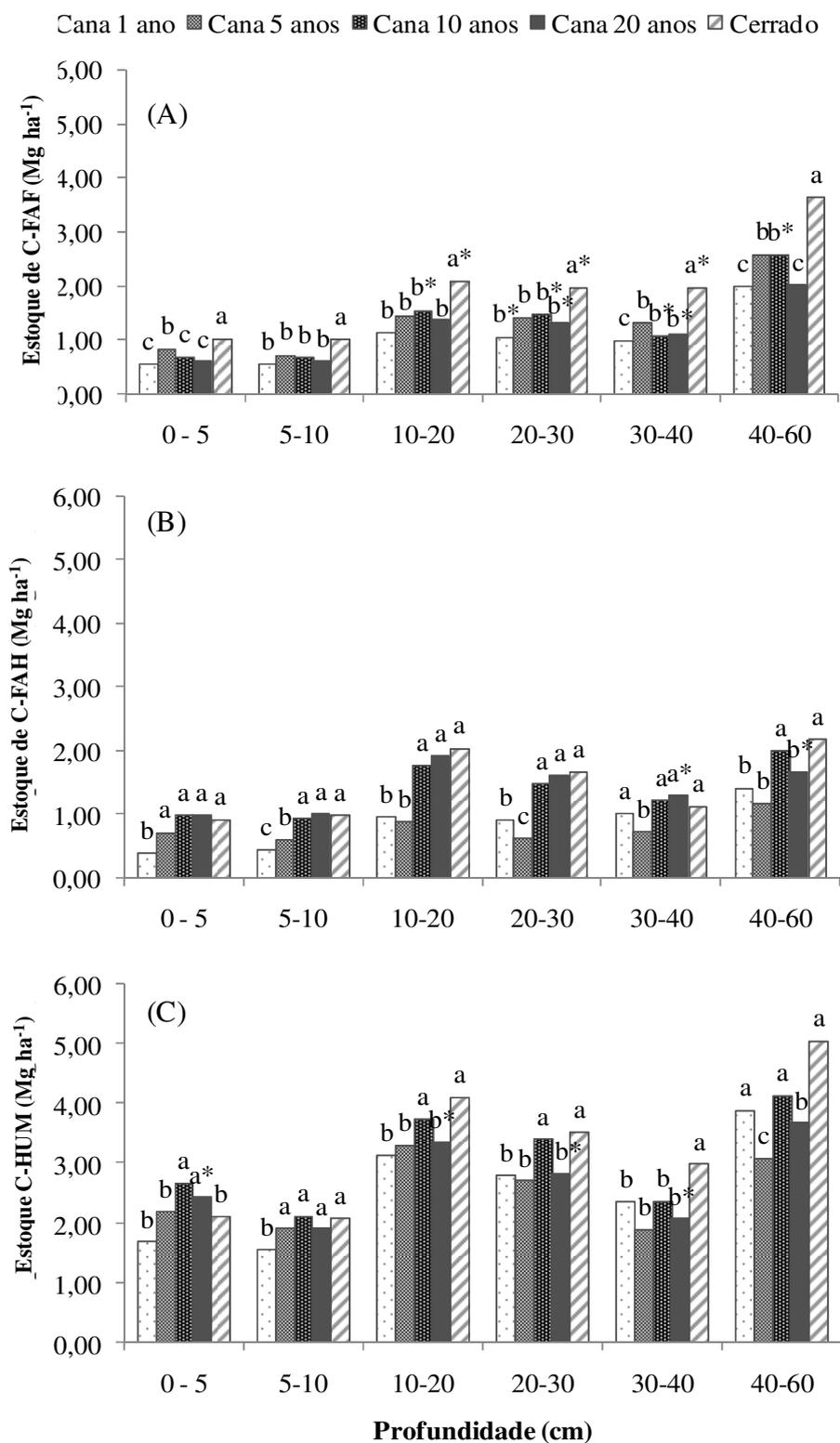


Figura 10. Estoque de matéria orgânica na fração ácido fúlvico (EstAF), na fração ácido húmico (EstAH), e na fração humina (EstHUM) para a primeira coleta (setembro de 2009) para as áreas avaliadas de cronossequência de cana-de-açúcar no Cerrado Goiano. Médias seguidas de mesma letra não diferem significativamente entre os sistemas avaliados, pelo teste de Scott-Knott 5% de probabilidade.

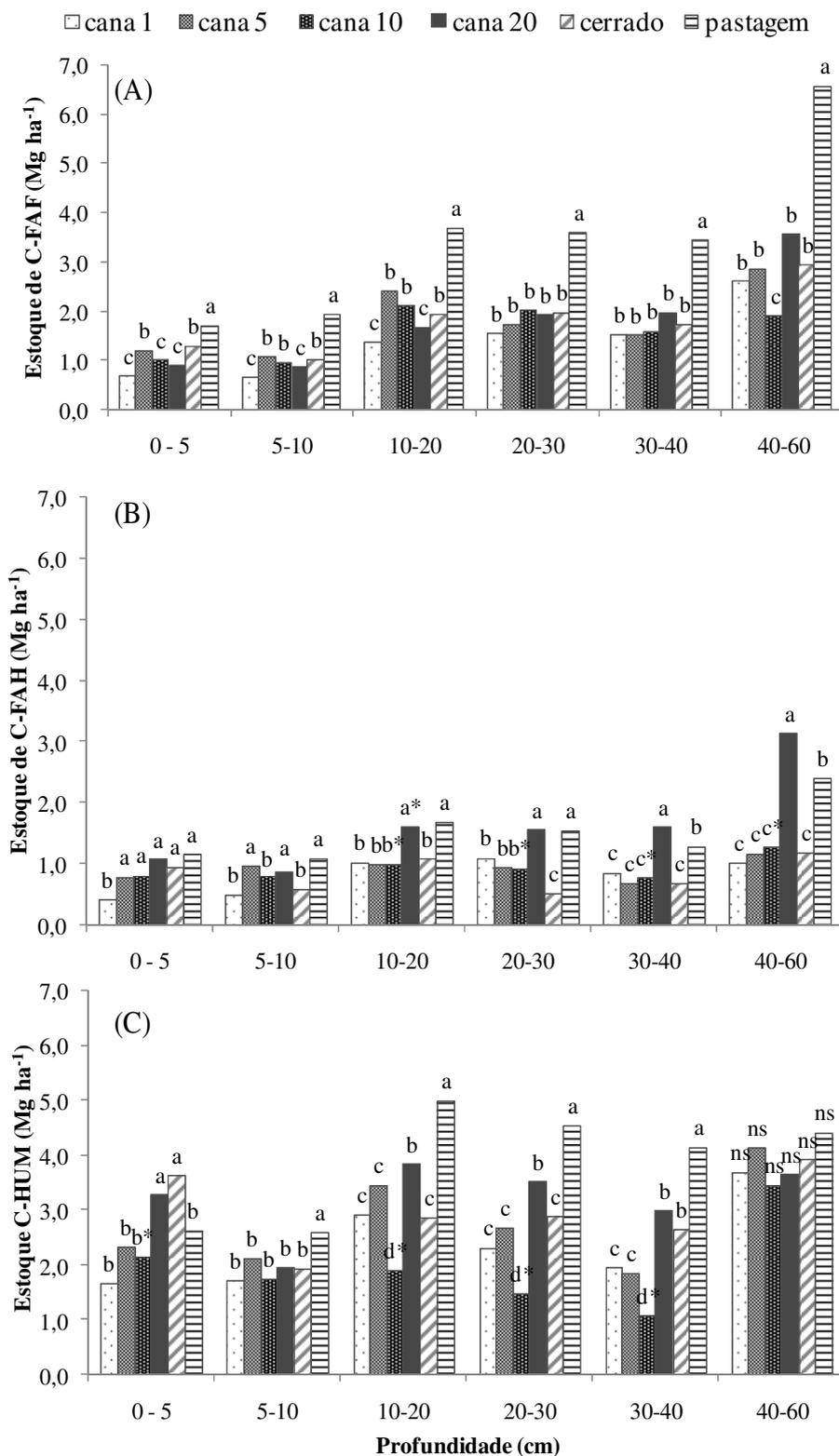


Figura 11. Estoque de matéria orgânica na fração ácido fúlvico (EstAF), na fração ácido húmico (EstAH), e na fração humina (EstHUM) para a segunda coleta (maio de 2010) para as áreas avaliadas de cronossequência de cana-de-açúcar no Cerrado Goiano. Médias seguidas de mesma letra não diferem significativamente entre os sistemas avaliados, pelo teste de Scott-Knott 5% de probabilidade.

4.5 Índice de Manejo de Carbono

O IMC foi calculado utilizando os dados da segunda coleta. De modo geral foram observadas diferenças em todos os parâmetros analisados (Tabela 9).

Tabela 9: Índice de manejo de carbono em cronossequência de cana-de-açúcar no Cerrado goiano.

Sistemas	IEC	L	IL	IMC
0-5 cm				
Cana 1	1,1 B	0,4 B	0,5 B	63,7 C
Cana 5	1,2 B	0,4 B	0,5 B	80,7 B
Cana 10	1,3 B	0,7 A	0,8 A	114,9 A
Cana 20	1,2 B	0,8 A	1,0 A	119,3 A
Pastagem	0,8 A	0,2 C	0,3 B	21,9 D
Cerrado	1,0	0,9	1,0	100
5-10 cm				
Cana 1	0,9 ^{ns}	0,2 C	0,2 C	23,5 C
Cana 5	0,8 ^{ns}	0,3 C	0,3 C	24,9 C
Cana 10	1,0 ^{ns}	0,9 B	1,0 B	102,9 B
Cana 20	0,9 ^{ns}	1,3 A	1,6 A	122 A
Pastagem	1,0 ^{ns}	0,2 C	0,2 C	21,9 C
Cerrado	1,0	0,9	1,0	100
10-20 cm				
Cana 1	1,1 ^{ns}	0,2 B	0,2 B	16,4 C
Cana 5	0,8 ^{ns}	0,2 B	0,2 B	20 C
Cana 10	0,9 ^{ns}	1,5 A	1,4 A	105,4 B
Cana 20	0,9 ^{ns}	2,1 A	1,8 A	145,3 A
Pastagem	1,2 ^{ns}	0,2 B	0,1 B	14,6 C
Cerrado	1,0	1,3	1,0	100
20-30 cm				
Cana 1	1,1 A	0,2 B	0,1 B	13,1 C
Cana 5	0,9 B	0,2 B	0,1 B	11,9 C
Cana 10	0,7 B	2,2 A	1,8 A	95,1 B
Cana 20	0,9 B	2,6 A	1,9 A	153,8 A
Pastagem	1,1 A	0,1 B	0,1 B	10 C
Cerrado	1,0	1,6	1,0	100
30-40 cm				
Cana 1	1,5 A	0,1 B	0,1 B	13,4 C
Cana 5	1,0 B	0,2 B	0,1 B	11,7 C
Cana 10	0,9 B	2,4 A	0,8 A	93,6 B
Cana 20	1,2 B	2,3 A	0,7 A	107,9 A
Pastagem	1,4 A	0,1 B	0,1 B	7,2 C
Cerrado	1,0	3,4	1,0	100
40-60 cm				
Cana 1	1,2 A	0,1 B	0,1 B	3,2 C
Cana 5	0,7 B	0,3 B	0,1 B	9,0 C
Cana 10	0,9 B	3,5 A	1,6 A	102,2 B
Cana 20	1,1 A	3,4 A	1,7 A	140,6 A
Pastagem	1,3 A	0,2 B	0,1 B	12,6 C
Cerrado	1,0	2,6	1,0	100,0

Letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-knott a 5%. IEC=Índice de estoque de carbono; L=Labilidade do carbono; IL=Índice de labilidade do carbono; IMC=Índice de Manejo de Carbono.

Sabe-se que o IMC mede as alterações nos estoques de carbono orgânico (CO) considerando os aspectos da labilidade do CO do solo (Nicoloso, 2005). Valores de IMC inferiores a 100 indicam práticas prejudiciais a manutenção da matéria orgânica e da qualidade do solo (Blair et al., 1995; De Bona, 2005). As áreas de cana de açúcar com 10 e 20 anos de cultivo apresentaram IMC superiores aos observados na área de vegetação nativa (Tabela 7). Já as áreas de cana com 1 e 5 anos e pastagem apresentaram IMC inferiores, o que indica um impacto negativo no estoque de C, principalmente da fração lábil o que pode provocar redução da atividade microbiana do solo e da qualidade do solo.

Estudando a matéria orgânica e a agregação do solo na rotação lavoura-pastagem em ambiente tropical, Salton (2005) evidenciou maiores valores de IMC para áreas de pastagens quando comparadas com áreas de plantio direto e convencional. Essa característica não ocorreu nesse trabalho, onde o tratamento com pastagem apresentou os menores valores de IMC.

Leite et al. (2003) observaram em estudos sobre estoques totais de carbono orgânico e seus compartimentos em Argissolo sob floresta e sob milho cultivado com adubação mineral e orgânica que o IMC aumentou com a incorporação do composto orgânico, variando na camada de 0-20 cm de 64 a 103. Blair (2000) avaliando diferentes sistemas de manejo de cana-de-açúcar na Austrália observou uma redução dos valores na labilidade de carbono (L) e no IMC no sistema de manejo com cana queimada quando comparado ao sistema de colheita de cana crua.

4.6 Nitrogênio Total do Solo

Com exceção da camada de 30-40 cm, onde os maiores teores de nitrogênio total (NT) foram observados na área de cana com 1 e 20 anos e para a área de Cerrado. Nas outras profundidades não foram verificadas diferenças significativas entre os sistemas avaliados (Tabela 10). Os teores de NT apresentaram decréscimo em profundidade semelhante ao verificado para o carbono orgânico. Este padrão é decorrente do maior aporte de resíduos vegetais nas camadas superficiais do solo. Os maiores valores de COT implicam em maior disponibilidade de NT, uma vez que mais de 95 % do NT do solo está presente na forma orgânica (Camargo et al., 1999).

O nitrogênio apresenta as maiores perdas quando um sistema natural, como o Cerrado, é desmatado e preparado para o cultivo (Fernandes et al., 1999), contudo, nesse estudo essa característica de decréscimo não foi verificado na passagem de Cerrado para as áreas de cultivo de cana-de-açúcar. Avaliando quantidade e qualidade da matéria orgânica em sistemas de colheita com e sem queima das áreas de cana-de-açúcar Czczyca (2009) verificou os maiores teores de NT para a área de vegetação nativa com valores de 2,20 g kg⁻¹ até 10 cm de profundidade, já para as áreas de cana-de-açúcar submetidas a queima por 6 e 12 anos foi verificado teor de NT de 1,25 g kg⁻¹. Estudando áreas de cana-de-açúcar com e sem queima da palhada em diferentes tipos de solo, Luca et al. (2008) não verificaram diferença estatísticas entre as áreas com e sem queima, com teores variando de 1,04 a 1,45 g kg⁻¹ de N em Latossolo Vermelho Distroférico, 0,45 a 0,71 g kg⁻¹ em Argissolos Amarelo distrófico e 0,19 a 0,50 g kg⁻¹ em Neossolo Quartzarênico. Signor (2010) estudando estoques de carbono e nitrogênio e emissões de gases de efeito estufa em áreas de cana-de-açúcar com 1, 3 e 6 anos após a reforma observaram teores de NT variando de 1 a 1,3 g kg⁻¹ e de 1,3 a 1,4 g kg⁻¹ em áreas manejadas com e sem queima da palhada.

Inúmeros fatores edafoclimáticos podem influenciar na relação C/N, entretanto a maioria dos casos apresenta-se com valores variando entre 10,0 e 13,0 (Czczyca, 2009). Nesse estudo foi verificada relação C/N variando entre 14,0 a 21,9, sendo os maiores valores verificados para a área de cana com 5 anos em comparação às outras áreas de cana e também ao Cerrado e a área de pastagem até a profundidade de 10 cm. Graham et al. (2002)

verificaram valores de relação C/N variando entre 15,0 a 19,0 para solos sob plantio de cana-de-açúcar conduzidos na África do Sul.

Tabela 10. Nitrogênio total do solo (NT) e relação carbono/nitrogênio (C/N) nas áreas de cronossequência de cana-de-açúcar no Cerrado Goiano.

Sistemas	Profundidade (cm)					
	0-5	5-10	10-20	20-30	30-40	40-60
NT (g kg⁻¹)						
Cana 1	1,1 ^{ns}	1,3 ^A	1,5 ^{ns}	1,1 ^A	1,0 ^A	0,8 ^{ns}
Cana 5	1,9 ^{ns}	1,9 ^A	1,4 ^{ns}	1,0 ^A	0,6 ^B	0,6 ^{ns}
Cana 10	1,8 ^{ns}	1,6 ^A	1,3 ^{ns}	1,0 ^A	0,8 ^B	0,7 ^{ns}
Cana 20	1,5 ^{ns}	1,6 ^A	0,9 ^{ns}	1,2 ^A	1,0 ^A	1,0 ^{ns}
Cerrado	2,4 ^{ns}	2,6 ^A	1,3 ^{ns}	1,2 ^A	1,0 ^A	0,8 ^{ns}
Pastagem	1,2 ^{ns}	1,0 ^A	0,9 ^{ns}	0,8 ^A	0,6 ^B	0,7 ^{ns}
CV%	32,1	29,6	22,9	14,2	16,7	24,3
C/N						
Cana 1	15,4 ^B	15,6 ^B	15,4 ^{ns}	15,6 ^{ns}	14,6 ^B	14,7 ^C
Cana 5	21,9 ^A	21,6 ^A	20,9 ^{ns}	17,1 ^{ns}	15,7 ^B	14,2 ^C
Cana 10	15,5 ^B	16,0 ^B	16,1 ^{ns}	16,6 ^{ns}	17,9 ^A	15,6 ^C
Cana 20	17,4 ^B	17,1 ^B	17,0 ^{ns}	16,7 ^{ns}	16,9 ^A	16,3 ^B
Cerrado	16,9 ^B	16,0 ^B	15,5 ^{ns}	14,7 ^{ns}	14,8 ^B	14,0 ^C
Pastagem	15,2 ^B	15,4 ^B	15,9 ^{ns}	16,6 ^{ns}	17,3 ^A	17,7 ^A
CV%	6,6	8,6	12,3	6,3	4,4	4,3

Médias seguidas de mesma letra não diferem significativamente entre os sistemas avaliados, pelo teste de Scott-knott 5% de probabilidade.

Luca et al. (2008) observaram uma alta variação da relação C/N entre as diferentes ordens de solo estudadas sob o cultivo de cana-de-açúcar. Para a classe Latossolo Vermelho e Argissolo Vermelho-Amarelo, 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, mostrando que as características químicas e físicas do solo influenciam na relação C/N. Signor (2010) verificou valores inferiores aos verificados nesse estudo com valores de relação C/N entre de 9,31 e 16,12 para as áreas com cana com queima. A autora verificou ainda uma redução dessa relação com o aumento do tempo de adoção da queima para a colheita em todas as profundidades avaliadas.

Em estudos de longa duração sobre propriedades químicas de um Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar Canellas et al. (2003) verificaram teores de nitrogênio de 1,5 e 1,45 g kg⁻¹ para 0-20 e 20-40 cm respectivamente para áreas de cana queimada. Na área de cana crua, ocorreu aumento de 47 e de 50 % nos teores de N nas camadas entre 0-20 cm e 20-40 cm, respectivamente, em relação aos valores obtidos na área de cana queimada. A adição de vinhaça não alterou os teores de N no solo, em comparação com a área sem adição do resíduo. Os autores encontraram nesse mesmo estudo valores da relação C/N do solo nas áreas estudadas variando de 7,6 a 10,2, mostrando a presença de matéria orgânica estável.

Calasans (1998) analisando a composição elementar (C/N) e isotópica do carbono orgânico em diferentes grupos de solos sob pastagem, cana-de-açúcar com queima durante a colheita e sem adição de vinhaça e mata, encontrou valores da relação C/N do solo de 12,8 a 13,2; de 10,9 a 16,0 e de 9,52 a 13,9, respectivamente.

4.7 Composição Isotópica de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$

A área coberta por Cerrado apresentou os menores valores de $\delta^{13}\text{C}$ com marcação entre -25,51 e -27,50‰ até 60 cm de profundidade (Figura 12). Esses valores estão de acordo com aqueles determinados para as espécies típicas do Cerrado (ciclo fotossintético C_3), com identificação isotópica ao redor de -28‰ (Matsui, 1981). Em estudos de estoques de carbono, nitrogênio e abundância natural de $\delta^{13}\text{C}$ e ^{15}N no perfil do solo sob diferentes sistemas de uso do solo, Loss (2011) observou para a área de Cerrado os menores valores de $\delta^{13}\text{C}$, sendo verificada variação de -26,26 ‰ (0,0-10,0 cm) a -23,02 ‰ (80,0-100,0 cm), quando comparados ao sistema de plantio direto (SPD) $\delta^{13}\text{C}$ variando de -16,06 a -12,85‰ e de -17,53 a -15,50‰ no sistema de interação lavoura-pecuária.

A área de pastagem apresentou $\delta^{13}\text{C}$ entre -14,01 e -14,62‰, mostrando um comportamento típico de plantas do ciclo fotossintético C_4 . Em relação às áreas de cultivo de cana de açúcar a área com 20 anos apresentou os maiores valores de $\delta^{13}\text{C}$, indicando que houve uma mudança da vegetação original (Cerrado), provocando modificações relacionadas ao decréscimo do teor e a substituição do carbono de plantas C_3 pelo carbono da vegetação de ciclo fotossintético C_4 .

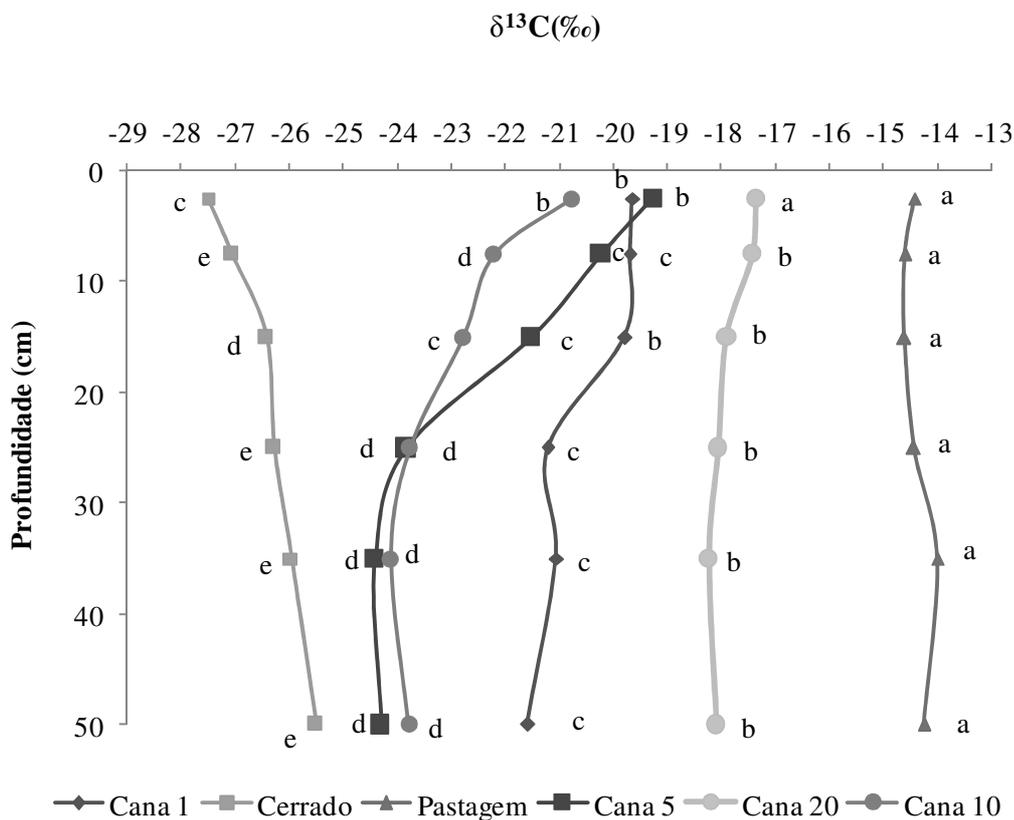


Figura 12. Composição isotópica de ^{13}C no solo nas áreas avaliadas de cronossequência de cana-de-açúcar no Cerrado Goiano. Médias seguidas de mesma letra não diferem significativamente entre os sistemas avaliados, pelo teste de Scott-Knott 5% de probabilidade.

O sistema com cana de açúcar com 5 e 10 anos apresentaram valores intermediários entre o Cerrado e a área de cana com 20 anos até 40 cm de profundidade, essas áreas eram cultivadas com culturas anuais antes da conversão para cana-de-açúcar. Já para a área de cana de 1 ano o $\delta^{13}\text{C}$ foi menor que os verificados nas áreas de 5 e 10 anos, fato que pode ser

explicado pela área ter sido utilizada com pastagem sendo depois convertida para a cultura da cana-de-açúcar.

Os valores de $\delta^{15}\text{N}$ apresentaram um enriquecimento isotópico em profundidade, sendo este padrão mais pronunciado na área de pastagem (20-30 cm) (Figura 13). Na área de Cerrado, os valores de $\delta^{15}\text{N}$ variaram de 4,2 a 7,3 ‰, na pastagem variaram de 6,4 a 11,6 ‰ e nas áreas de cana variaram de 5,0 a 7,9 ‰.

Os maiores teores de ^{15}N encontrados nas áreas cultivadas com cana de açúcar (Figura 13) podem ser decorrentes das transformações de N-orgânico em N-mineral e também da adição de adubos nitrogenados quando comparadas a área de Cerrado. A matéria orgânica do solo torna-se enriquecida em átomos de ^{15}N pelas reações de mineralização, nitrificação, desnitrificação e volatilização (Bustamante et al., 2004).

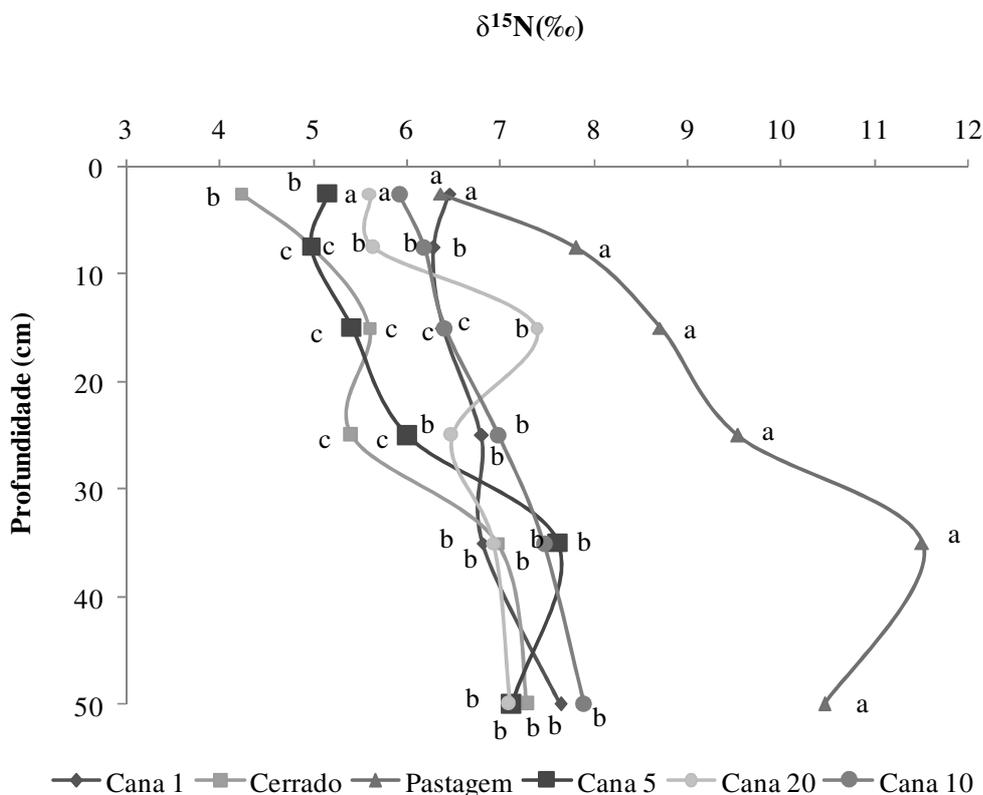


Figura 13. Composição isotópica de ^{15}N no solo nas áreas avaliadas de cronosseqüência de cana-de-açúcar no Cerrado Goiano. Médias seguidas de mesma letra não diferem significativamente entre os sistemas avaliados, pelo teste de Scott-Knott 5% de probabilidade.

Em estudos de identificação de mudanças florestais por ^{13}C e ^{15}N dos solos da Chapada do Araripe – CE, Mendonça et al. (2010) observaram que os menores valores de ^{15}N estavam associados à maior quantidade de MOS, tendo sido encontrados no solo de cerradão, já para a área da caatinga onde foram verificados os menores valores de carbono orgânico encontraram-se os maiores valores de ^{15}N , o que é um indício de mineralização.

Estudando o impacto da queima e preservação da palha da cana-de-açúcar nos estoques de carbono e nitrogênio em Argissolo Amarelo na região da Mata Atlântica, Pinheiro et al. (2010) verificaram valores de -27,3 a -26,38 ‰ para o perfil de solo sob mata, já para as áreas de cana-de-açúcar esses valores variaram de -17,8 a -18,5 ‰ para área sem queima e com queima, respectivamente. Já nas camadas mais profundas os autores observaram

diminuição dos valores, chegando a -24,7 ‰ para ambos os sistemas de colheita, demonstrando que os solos sob sistema com e sem queima da palhada estiveram sob mesma vegetação no passado. Esses valores de $\delta^{13}\text{C}$ para a área de Cerrado corroboram com os encontrados nesse estudo, onde foram observados os menores valores quando comparados com áreas que foram submetidas à conversão para sistemas de cultivo.

Avaliando a influência de diferentes sistemas de uso e manejo do solo envolvendo pastagens e sistemas de produção de grãos, com 12 anos de implantação sob Latossolo Vermelho em Planaltina, DF, Jantalia et al. (2007), não observaram diferenças significativas de $\delta^{13}\text{C}$ no solo sob as diferentes áreas agrícolas em relação ao Cerrado, demonstrando que o sinal de $\delta^{13}\text{C}$ encontrado referia-se ao sinal anterior a instalação do experimento.

Os menores teores de $\delta^{15}\text{N}$ verificados nas áreas de Cerrado e Cana 5 anos até a profundidade de 30 cm (Figura 13) podem ser decorrentes da maior proporção de espécies leguminosas presentes na vegetação de Cerrado. Em levantamento feito em plantas do Cerrado de Brasília (DF), Bustamante et al. (2004) verificaram menores proporções de $\delta^{15}\text{N}$ em espécies fixadoras de N quando comparadas com não leguminosas. Este padrão corrobora os resultados encontrados nas áreas de Cerrado e cana 5 anos, pois nessa área, antes da implantação da cana, somente foi usada com vegetação de Cerrado (Figura 4). Os resultados encontrados neste estudo são semelhantes aos verificados por Costa Junior et al. (2011), também em estudos com $\delta^{15}\text{N}$ em áreas de Cerrado e pastagem em Rio Verde (GO). Os autores encontraram menores valores de $\delta^{15}\text{N}$ na área de Cerrado, sendo também atribuído a maiores proporções de espécies leguminosas na área de vegetação original de Cerrado quando comparado com a pastagem.

Esses dados diferem dos encontrados nesse estudo, onde os maiores teores de $\delta^{15}\text{N}$ foram verificados na área de pastagem e coincidem com maiores teores de carbono em profundidade. Já para a área de Cerrado foi observado um padrão inverso, com valores de carbono estatisticamente iguais aos da área de pastagem, mas valores de $\delta^{15}\text{N}$ muito inferiores.

Segundo Costa Junior et al. (2011) os maiores teores de $\delta^{15}\text{N}$ encontrados na área de pastagem podem indicar um aumento da taxa de nitrificação, acarretando em um enriquecimento isotópico de $\delta^{15}\text{N}$.

4.8 Composição Elementar dos Ácidos Húmicos

A composição elementar, livre de umidade e cinzas, e as relações atômicas dos ácidos húmicos (AH) são mostradas na Tabela 11. O teor de carbono (C) nos AH variou de 41,38 a 58,46%, já o teor de oxigênio (O) variou de 31,5 a 45,7%. Resultados semelhantes aos encontrados nesse estudo para os teores de C foram verificados por Dobbss et al. (2009) estudando a caracterização química e espectroscópica da matéria orgânica de ácidos húmicos extraídos da camada superficial de Latossolos de diferentes regiões do Brasil. Os autores verificaram que o teor de C nos AH variou de 43,2 a 56,3%, Já o teores de oxigênio foram superiores aos encontrados nesse estudo, variando de 50,5 a 66,7%. Em áreas de cana de açúcar queimada em detrimento da colheita por mais de 50 anos cultivado sob Latossolo Amarelo Distrófico e Argissolo Amarelo Distrófico no município de Campos dos Goytacazes, região Norte Fluminense, Fontana et al. (2010) verificaram que os AH apresentaram em média 56,6% de carbono, 6,9% hidrogênio, 4,9% de nitrogênio e 31,6% de oxigênio.

Assis (2008) estudando as diferentes rotas de humificação dos ácidos húmicos e fúlvicos em Latossolo Húmico no estado de Minas Gerais verificaram teores médios de carbono de 53,8% para a camada de 0-10 cm e de 54,2% para a camada de 60-100 cm. Avaliando o impacto do fogo na matéria orgânica do solo em áreas florestais do distrito de Aveiro –PT, Crespo (2011) verificou para área de floresta de eucalipto queimada na camada

de 0-2 cm de profundidade teor de C de 61,64% e de O 33,10% e na camada de 2-5 cm o teor de C foi de 61,33% e O de 33,97%.

Caracterizando os ácidos húmicos extraídos dos sedimentos de uma microbacia subtropical do Brasil utilizando técnicas de espectroscopia Giavanela et al. (2010) verificaram teores de C variando de 50,3 a 51,3% e teores de O variando de 40,7 a 41,7%, segundo os autores esses dados estão dentro do encontrado na literatura, mas que devida à complexidade das SH são inconclusivos e que os as razões moleculares são mais indicadas nesse estudo.

Tabela 11. Composição elemental dos ácidos húmicos extraídos do solo nas áreas avaliadas de cronossequência de cana-de-açúcar no Cerrado Goiano.

Sistemas	% C	% H	% N	% O	H/C	O/C	O/H	C/N
0-5 cm								
Cana 1	49,01	5,26	3,49	42,24	1,3	0,6	0,5	16,4
Cana 5	48,95	4,58	3,49	42,98	1,1	0,7	0,6	16,4
Cana 10	47,42	3,72	3,19	45,67	0,9	0,7	0,8	17,3
Cana 20	49,22	4,3	3,38	43,1	1	0,7	0,6	17
Cerrado	47,74	4,49	3,4	44,37	1,1	0,7	0,6	16,4
Pastagem	47,37	4,88	3,45	44,3	1,2	0,7	0,6	16
5-10 cm								
Cana 1	52,15	4,32	3,82	39,71	1	0,6	0,6	15,9
Cana 5	51,81	4,54	3,76	39,89	1,1	0,6	0,5	16,1
Cana 10	52,11	4,07	3,54	40,28	0,9	0,6	0,6	17,2
Cana 20	51,29	4,24	3,56	40,91	1	0,6	0,6	16,8
Cerrado	51,31	4,63	3,75	40,31	1,1	0,6	0,5	16
Pastagem	47,49	4,81	3,55	44,15	1,2	0,7	0,6	15,6
10-20 cm								
Cana 1	50,86	4,74	3,79	40,61	1,1	0,6	0,5	15,7
Cana 5	51,11	4,76	3,79	40,34	1,1	0,6	0,5	15,7
Cana 10	50,76	3,97	3,34	41,93	0,9	0,6	0,7	17,7
Cana 20	49,42	4,39	3,43	42,76	1,1	0,6	0,6	16,8
Cerrado	50,68	4,59	4,09	40,64	1,1	0,6	0,6	14,5
Pastagem	41,38	5,25	3	50,37	1,5	0,9	0,6	16,1
20-30 cm								
Cana 1	51,06	4,44	3,86	40,64	1	0,6	0,6	15,4
Cana 5	49,45	4,7	4,08	41,77	1,1	0,6	0,6	14,1
Cana 10	50,7	3,95	3,45	41,9	0,9	0,6	0,7	17,1
Cana 20	46,62	4,23	3,44	45,71	1,1	0,7	0,7	15,8
Cerrado	58,46	5,18	4,84	31,52	1,1	0,4	0,4	14,1
Pastagem	50,41	5,14	3,92	40,53	1,2	0,6	0,5	15

A razão H/C é um indicador importante do grau de condensação aromática e maturidade das substâncias húmicas. A alta relação H/C indica maior contribuição de componentes alifáticos, enquanto a baixa relação indica maior aromaticidade (Benites et al., 2005). A razão O/C é representativa do grau de oxidação dos ácidos húmicos, dessa forma valores da relação O/C maiores que 0,5, indicam a presença de maior quantidade de grupos funcionais oxigenados como COOH e carboidratos. A razão H/C variou de 0,9 a 1,2 para todas as áreas e todas as profundidades avaliadas, o menor valor foi sempre observado para a área de cana com 10 anos e o maior foi observado para a área de pastagem.

Para a razão H/C, Fontana et al. (2010) verificaram valores entre 1,3 e 1,7, menor no pasto sob Argissolo Amarelo Distrófico e maior na floresta sob Latossolo Amarelo Distrófico e Argissolo Amarelo Distrófico, e a razão O/C apresentou valores entre 0,3 e 0,5, menor no pasto sob Latossolo Amarelo Distrófico e maior e semelhantes no pasto sob Argissolo Amarelo Distrófico e floresta sob Latossolo Amarelo Distrófico. Já Crespo (2011) observou valores da razão H/C menores que os verificados nesse estudo, valores de 0,77 e 0,92 para as camadas de 0-2 cm e 2-5 cm respectivamente em áreas de eucalipto queimada e razão O/C menores de 0,45.

4.9 UV-Visível

Os espectros de UV-visível e a relação E4/E6 de AH extraídos de amostras de Latossolo Vermelho sob cana-de-açúcar queimada, Cerrado e pastagem estão representados na Tabela 12 e Figura 14. Em geral nesse tipo de espectro verifica-se que a absorvância decresce com o aumento do comprimento de onda. Esse padrão é típico das substâncias húmicas, apesar de não ter sido observado um ombro entre 270-280 nm que à sobreposição da absorção de um grande número de cromóforos presentes no núcleo húmico. (Mendonça et al., 2004, Crespo, 2011; Giovanela et al., 2010). As áreas de cana-de-açúcar apresentaram um ombro entre 350-400nm, mas esse padrão não foi verificado para AH extraídos da área de Cerrado e pastagem.

A relação E4/E6 é uma das principais informações obtidas a partir da espectroscopia de UV-Visível e está relacionada à aromaticidade e ao grau de condensação dos AH, sendo usada como índice de humificação. Um menor valor dessa relação indica relativamente um alto grau de condensação de constituintes aromáticos, e quando maior reflete um baixo grau de condensação aromática e sugere a maior presença de estruturas alifáticas (Stevenson, 1994). Os maiores valores da relação E4/E6 foram verificados para a área de Cerrado e área de cana com 5 anos, seguidas pela área de cana com 1 ano de queima (Tabela 12).

Tabela 12. Relação E4/E6 de ácidos húmicos extraídos do solo nas áreas avaliadas de cronossequência de cana-de-açúcar no Cerrado Goiano

Sistemas	Profundidade (cm)			
	0-5	5-10	10-20	20-30
Cana 1	5,24	5,06	5,56	4,83
Cana 5	5,71	6,28	7,30	7,16
Cana 10	4,87	4,69	5,36	5,66
Cana 20	3,47	4,73	4,93	5,47
Cerrado	6,09	6,55	7,13	6,10
Pastagem	5,15	4,98	5,62	5,81

Esses resultados podem estar relacionados com a ausência de fogo no caso da área de Cerrado e do menor tempo de queima da cana nas áreas de 5 e 1 ano. Cunha (2005) estudando ácidos húmicos da região da Amazônia encontrou relação E4/E6 em torno de 4,0 para solos antropogênico sob cultivo e floresta e 6,0 para áreas de solo não antropogênico sob floresta, segundo o autor essa relação está dentro da faixa indicada para ácidos fúlvicos, sugerindo que estes ácidos húmicos são menos evoluídos quimicamente em relação aos dos grupos com presença de horizonte antrópico. Fontana et al. (2010) também verificaram maiores valores dessa relação para as áreas de floresta quando comparadas as áreas de cana-de-açúcar queimada por 50 anos e áreas de pastagem. Tinoco et al. (2006), estudando o efeito do fogo no solo sob floresta de Pinus observaram valores de E4/E6 mais baixos para os solos das áreas

queimadas, isso porque o fogo leva à condensação das moléculas, refletindo em razões E4/E6 mais baixas.

Já Crespo (2011) verificaram maiores valores da relação E4/E6 nas áreas submetidas ao fogo na camada superficial (0-2 cm de profundidade).

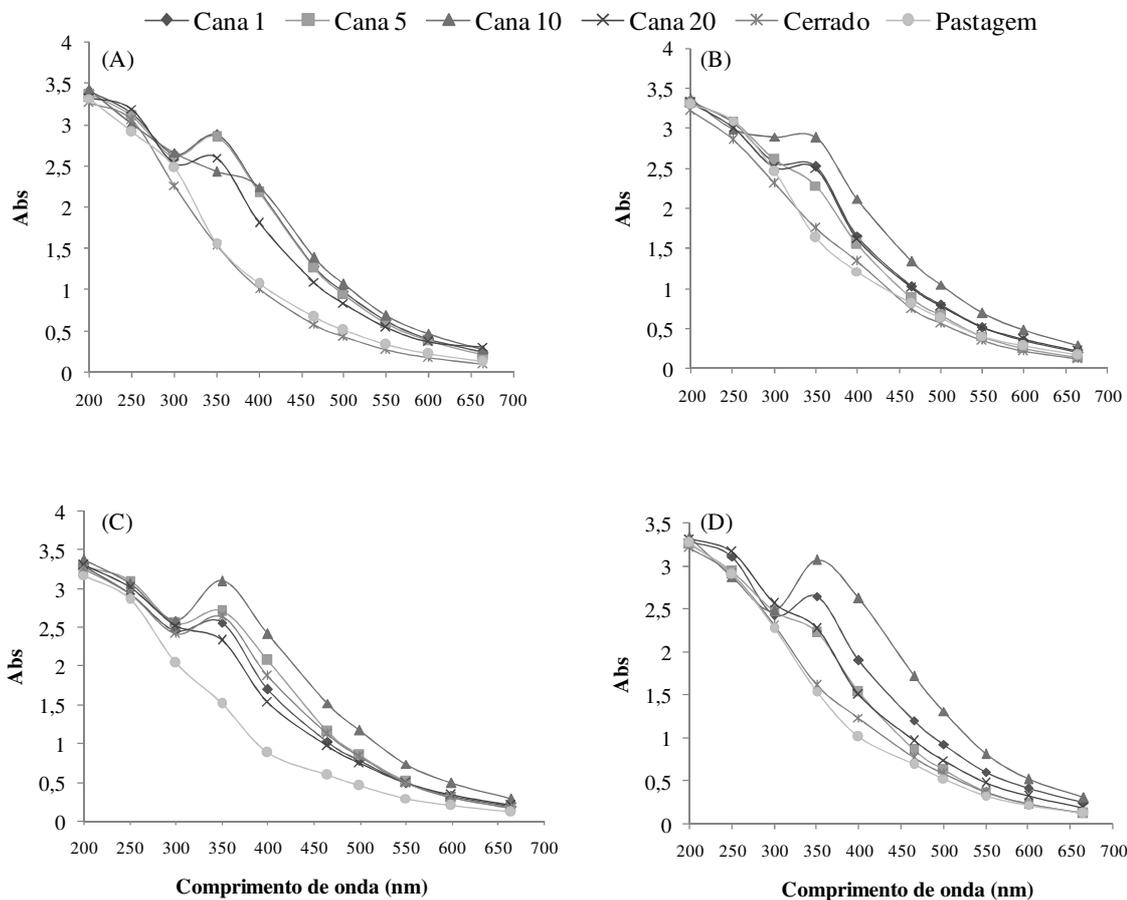


Figura 14. Espectros de UV-vísivel de ácidos húmicos extraídos do solo nas áreas avaliadas de cronossequência de cana-de-açúcar no Cerrado Goiano. (A) 0-5 cm de profundidade; (B) 5-10 cm de profundidade; (C) 10-20 cm de profundidade; (D) 20-30 cm.

4.10 Espectroscopia de Infravermelho (IV)

Os espectros de infravermelho obtidos para as substâncias húmicas estão representados nas Figura 15, Figura 16, Figura 17 e Figura 18 para as profundidades avaliadas. Os grupamentos funcionais comumente sensíveis à radiação infravermelha, tais como hidroxilas alcoólicas e fenólicas, carboxilas e carbonilas, estruturas alifáticas (alguns CH₃ e CH₂) e aromáticas, podem estar presentes nas estruturas dos ácidos húmicos, independente da sua origem. Entretanto, a intensidade desses grupos pode diferir de uma amostra para outra. No geral foram verificadas semelhanças com pequenas diferenças na intensidade e nas frequências de absorvância entre os espectros das áreas de cana com diferentes tempos de queima, Cerrado e pastagem. Os espectros também apresentaram semelhanças aos reportados na literatura por diversos autores. (Dick et al., 2008; Czycza, 2009; Dias et al., 2009; Dobbss et al., 2009; Fontana et al., 2010; Crespo, 2011).

Foram verificadas bandas alargadas, característica dos espectros de AH na região de 3440 – 3380 cm^{-1} (estiramento de O-H em grupo fenólico OH - contribuição de OH alifático e NH de vários grupos funcionais), contudo, em geral nitrogênio é um componente minoritário nas substâncias húmicas quando comparado com a concentração dos grupos funcionais que contêm oxigênio (Vergnoux et al., 2011). Na região de 3000-2800 cm^{-1} , pode-se inferir sobre o grau de saturação das substâncias húmicas. Em todos os espectros avaliados até 30 cm de profundidade apareceram duas bandas nessa região, a primeira aproximadamente em 2925 cm^{-1} e a segunda em 2855 cm^{-1} , essas bandas são atribuídas ao estiramento C-H assimétrico e simétrico respectivamente de CH e CH alifáticos (Baes & Bloom, 1989; Niemeyer et al., 1992). Foi observado um sinal em 2360 cm^{-1} para a área de cana com 20 anos na profundidade de 0-5 cm, para a área de cana com 1 ano e pastagem na profundidade de 5-10 cm e mais pronunciado na área de pastagem na profundidade 10-20 cm. Esse sinal foi também constatado por Narimoto (2006) nos espectros de AH extraídos de solo com aplicação de 3, 6, 9 e 12 Mg ha^{-1} de lodo de esgoto, mas a autora não observou essa banda para a área de mata nativa e no solo testemunha (Argissolo Amarelo sem aplicação de lodo), atribuindo essa banda às vibrações do grupo carboxila (COOH).

Na região entre 1720-1600 cm^{-1} , aparecem também mais duas bandas. Uma com menor intensidade aproximadamente a 1715 cm^{-1} , correspondendo ao estiramento C=O de grupos carboxílicos aos aldeídos e às cetonas, e a segunda, localizada a aproximadamente a 1627 cm^{-1} . Esta última banda de absorção tem várias atribuições incluindo estiramento C=C em anéis aromáticos, estiramento C=O de grupos amida (banda I) e quinonas.

A presença de grupos fenólicos e ácidos carboxílicos nos AHs apresenta significativa importância nas avaliações de fertilidade do solo. Esses compostos são caracterizados pela geração de cargas negativas com alto potencial de realizar ligações eletroquímicas com os nutrientes presentes no solo, principalmente na adsorção de fosfatos, maior adsorção de Al^{3+} , H^+ entre outros elementos. Essa característica apresenta grande benefício principalmente nos solos brasileiros, 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).

Estudando a técnica de infravermelho na caracterização dos ácidos húmicos de Latossolo Vermelho com aplicação de crescentes doses de lodo de esgoto no campo experimental da Embrapa Meio Ambiente, Dias et al. (2009) verificaram as mesmas bandas que as encontrados nesse estudo com exceção de uma banda com pequena intensidade em 2.500–2.600 cm^{-1} , correspondente ao estiramento axial de OH de grupo carboxílico. Essas bandas são atribuídas ao processo de purificação das mesmas com HF, que possibilita o rompimento de ligações organometálicas, formando complexos solúveis com os minerais e tornando livres os grupos carboxílicos, o que favorece a sua identificação.

Na região entre 1500-1000 cm^{-1} , é comumente marcada por vibrações que dão origem a bandas nesta zona: estiramento C-O de alcoóis, ácidos, fenóis e grupos éster, deformações O-H de alcoóis e grupos carboxílicos, entre outras, o que torna a interpretação bastante complexa (Vergnoux et al., 2011). Contudo, podem-se fazer algumas atribuições. As bandas na região 1460-1370 cm^{-1} devem se à deformação C-H em cadeias alifáticas, a deformações O-H, estiramentos C-O de grupos fenóis e estiramentos O-C-O em grupos COO^- . Absorbâncias na região 1270-1120 cm^{-1} correspondem a estiramentos C-O de vários grupos oxigenados.

Czycza (2009) verificou para os dois comprimentos de onda (1260 e 1680 cm^{-1}) modificações entre a área sob vegetação nativa e as áreas de cana-de-açúcar com 12 anos de queima e nas áreas que não sofrem queima por 12 e 19 anos nas duas profundidades avaliadas. Conclui-se dessa forma que os solos cultivados com cana de açúcar apresentaram

maiores concentrações de grupos fenólicos e carboxílicos em comparação ao solo de vegetação nativa nas duas profundidades avaliadas.

A banda na zona 1047-1044 cm^{-1} tem sido atribuída ao estiramento C-O de polissacarídeos e moléculas com estrutura semelhante. A maior intensidade destas bandas num espectro de FTIR de ácidos húmicos pode estar relacionada com a decomposição de celulose (Giovanela et al., 2010).

Crespo (2011) comparando os espectros de infravermelho de áreas de floresta de eucalipto com e sem queima observou que as amostras têm os espectros muito semelhantes, com exceção da amostra de ácidos húmicos de solo queimado de profundidade 0 a 2 cm, que apresenta as 3 bandas (3500-3300 cm^{-1} , 2925-2920 cm^{-1} e 2855-2850 cm^{-1}) com menor intensidade. A primeira banda corresponde ao estiramento de O-H e elongações N-H, e a segunda e a terceira devem-se, respectivamente, ao estiramento assimétrico e simétrico de grupos metilo e metileno de cadeiras alifáticas. Dessa forma, verifica-se que o impacto do fogo é notado, sobretudo na camada mais superficial, de 0 a 2 cm, ocorrendo à perda de grupos OH e de unidades estruturais alifáticas.

A banda verificada em torno de 1090 cm^{-1} foi observada para todas as áreas avaliadas até 30 cm de profundidade, essa banda está relacionada ao estiramento C-O em álcoois alifáticos, C-O-C de éteres e C-O em polissacarídeos. Essa banda também foi verificada por Narimoto (2006) em todos os espectros de AH extraído de Argissolo Amarelo com aplicação de diferentes doses de lodo. A autora atribuiu essa banda ao estiramento C-O de polissacarídeos e impurezas dos silicatos Si-O no AH.

Na região 900-700 cm^{-1} , os ácidos húmicos mostraram alguma absorbância que pode ser atribuída à deformação C-H de anéis aromáticos. Outra banda verificada em todos os espectros avaliados foi na região de 500 cm^{-1} , que geralmente é atribuída à presença de impurezas minerais no AH.

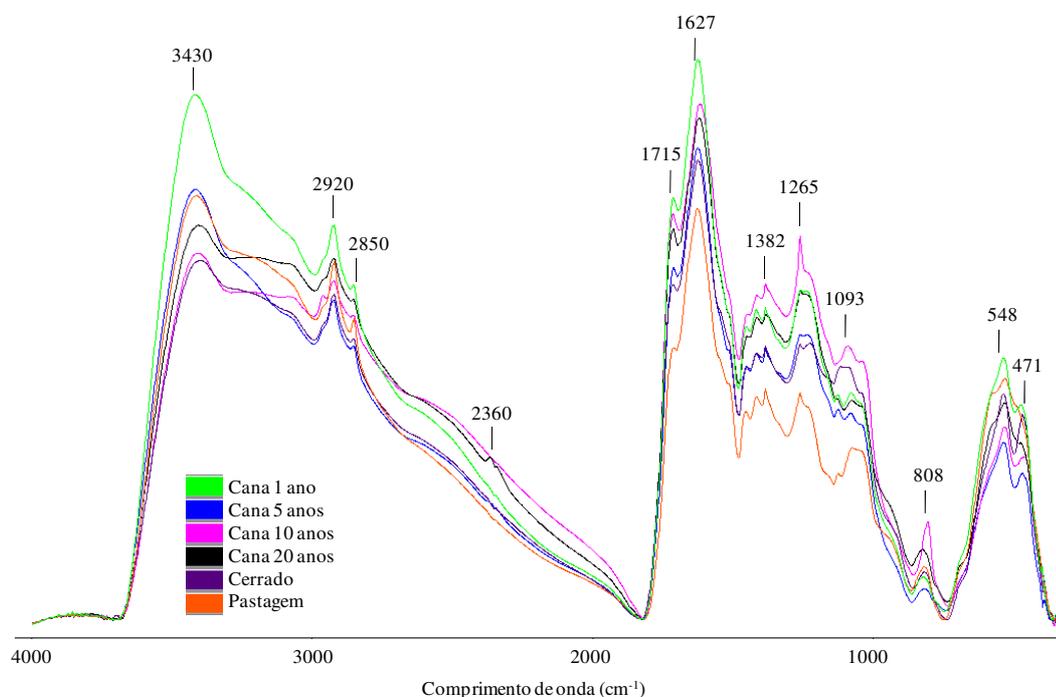


Figura 15. Espectros de Infravermelho de ácidos húmicos extraídos do solo na profundidade de 0-5 cm nas áreas avaliadas de cronossequência de cana-de-açúcar no Cerrado Goiano.

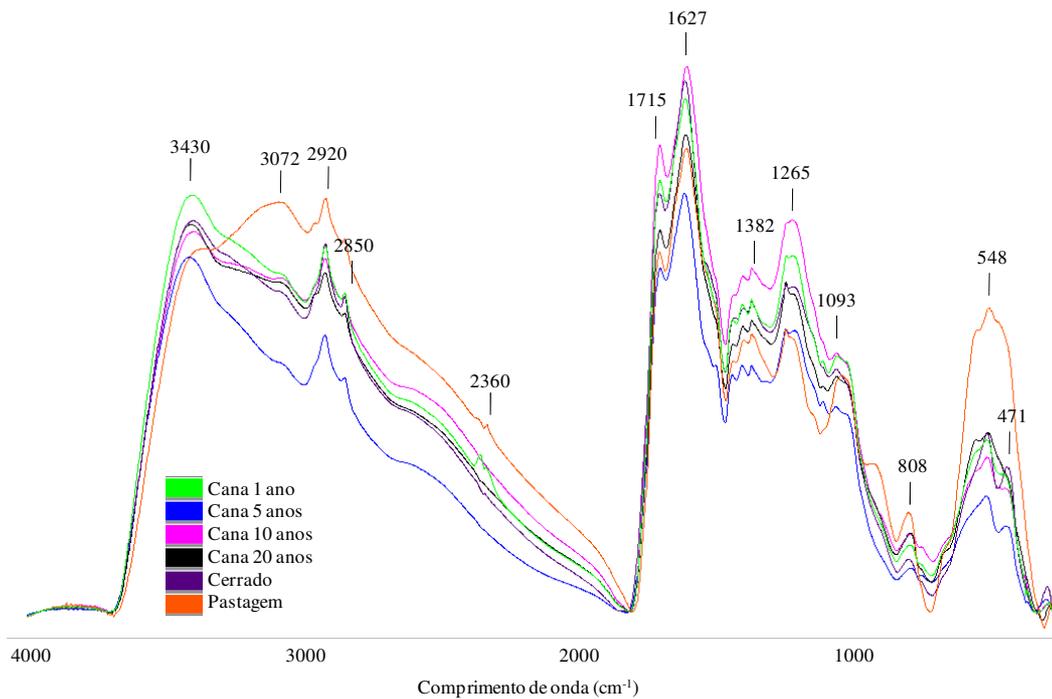


Figura 16. Espectros de Infravermelho de ácidos húmicos extraídos do solo na profundidade de 5-10 cm nas áreas avaliadas de cronossequência de cana-de-açúcar no Cerrado Goiano.

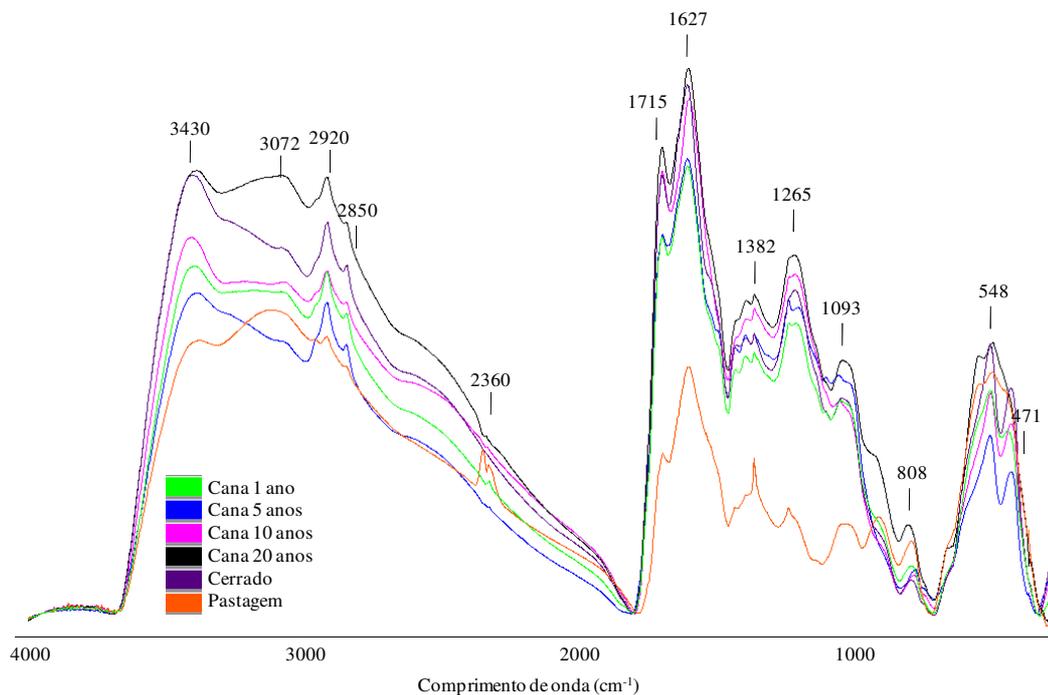


Figura 17. Espectros de Infravermelho de ácidos húmicos extraídos do solo na profundidade de 10-20 cm nas áreas avaliadas de cronossequência de cana-de-açúcar no Cerrado Goiano.

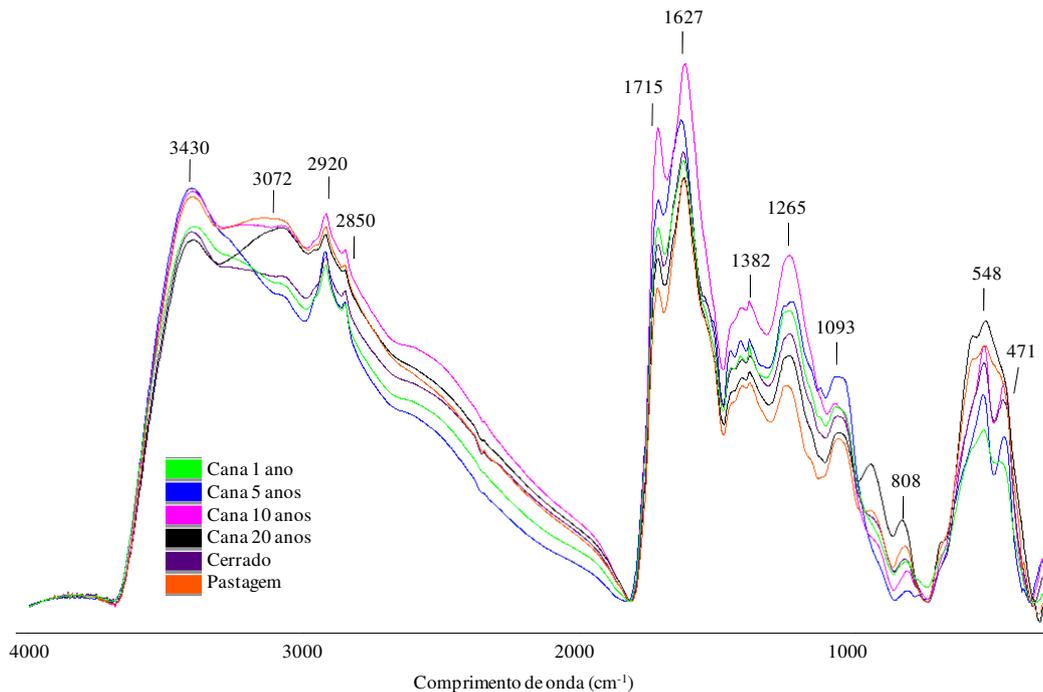


Figura 18. Espectros de Infravermelho de ácidos húmicos extraídos do solo na profundidade de 20-30 cm nas áreas avaliadas de cronossequência de cana-de-açúcar no Cerrado Goiano.

4.11 Espectroscopia de RMN de ^{13}C

Na Tabela 13 são apresentados os percentuais dos grupos funcionais associados às bandas correspondentes: grupos alifáticos (0-45ppm), N-alifáticos e metoxílicos (45-60ppm), O-alifáticos (60-110ppm), C-aromáticos (110-140ppm), O-aromáticos (140-160ppm), carboxílicos (160-185ppm) e carbonílicos (185-230ppm).

De maneira geral os espectros apresentaram os mesmos sinais com diferentes intensidades (Figuras 19, 20, 21 e 22) e são semelhantes aos espectros de ácidos húmicos reportados por diversos autores (Canellas et al., 2007; Dick et al., 2008; Spaccini & Piccolo, 2009; Crespo, 2011; Aguiar et al., 2012). Estes sinais foram:

Sinais agudos e intensos e ombros de ressonância de carbono alifático que ocorrem em 22, 28 e 30 ppm, que podem ser atribuídos, respectivamente, a grupos metil terminal, grupos metilenos de anéis alifáticos e grupos metilenos em longas cadeias alquílicas de origem variada, como ácidos graxos, lipídios, cutina e outros biopolímeros alifáticos (Cunha, 2005).

Sinal de menor intensidade em torno de 56 ppm, atribuído a C-metoxílico, que se sobrepõe com a intensidade do sinal, devido a N-C-alquil que tem sua região de deslocamento químico entre 46 e 67 ppm (Preston, 1996). Esses sinais são provavelmente devido à incorporação de lignina e outros componentes semelhantes ao solo (Pérez et al., 2004; Cunha, 2005);

Algumas amostras apresentaram sinais na região entre 72 e 75 ppm, esse sinal pode ser indicativo de ressonâncias sobrepostas de carbonos 2, 3, e 5 na estrutura piranosídica de celulose e hemiceluloses (Aguiar et al., 2012), ou corresponder ao carbono em anéis de polissacarídeos (Giovanela et al., 2010).

Diferentes sinais na região de 65-110 ppm são atribuídos a unidades monoméricas de cadeias de oligossacarídeos e polissacarídeos de tecidos de plantas (Spaccini & Piccolo 2009).

O sinal na região de 130 ppm deve-se à presença de carbonos aromáticos e insaturados, enquanto o reflexo a 152 ppm deve-se a carbonos ligados a fenóis e outros anéis aromáticos substituídos com carbono, oxigênio ou enxofre. Considerando o sinal do metoxilo (55 ppm) e o sinal fenólico a 152 ppm, pode-se concluir que a lenhina é a estrutura aromática predominante (Xiaoli et al., 2007).

O sinal em torno de 176 ppm foi verificado em todos os espectros, indicando um teor elevado de grupos funcionais carboxílicos, carbono amídico e éster de origem vegetal e microbiana. Esse sinal está presente, com intensidades similares, na maioria dos espectros.

Tabela 13. Distribuição (%) dos compostos de carbono, Índice de Alifidade e Índice de Aromaticidade nos ácidos húmicos extraídos de um Latossolo Vermelho em cronosequência de cana-de-açúcar no Cerrado goiano.

	Deslocamento Químico (ppm)								Alif.	Arom.
	0-45	46-60	60-90	90-110	110-140	140-160	160-185	185-230		
0-5 cm										
Cana 1	33,6	9,3			6,5		29,0	21,5	86,8	13,2
Cana 5	14,5	10,9	11,8		19,1	1,8	41,8		64,1	35,9
Cana 10	4,6	3,7	6,5		34,3		50,9		30,2	69,8
Cana 20	10,3	6,5	2,8		14,0		53,3	13,1	58,3	41,7
Cerrado	18,0	1,8	6,3	1,8	13,5		51,4	7,2	67,4	32,6
Pastagem	30,4	5,9	11,8		10,8	4,9	34,3	2,0	75,4	24,6
5-10 cm										
Cana 1	7,4	2,5	13,1		30,3	0,8	44,3	1,6	42,4	57,6
Cana 5	9,4	8,5	15,1		25,5	1,9	39,6		54,7	45,3
Cana 10	3,2	1,6		5,6	21,4	1,6	58,7	7,9	31,0	69,0
Cana 20	22,4	5,1		11,2	9,2	2,0	43,9	6,1	77,6	22,4
Cerrado	20,9	2,6		0,0	7,0		67,0	2,6	77,1	22,9
Pastagem	15,8		21,8	5,9	12,9	1,0	29,7	12,9	75,9	24,1
10-20 cm										
Cana 1	18,5	4,6	1,9	1,9	29,6		38,9	4,6	47,5	52,5
Cana 5	34,7	9,2	1,0		18,4		34,7	2,0	71,0	29,0
Cana 10	27,1	11,8	14,1		1,2		35,3	10,6	97,8	2,2
Cana 20	13,4	7,2	25,8	5,2	20,6		26,8	1,0	71,4	28,6
Cerrado	33,0	1,9	13,2	4,7	5,7		41,5		90,3	9,7
Pastagem	22,6	0,9	18,3		36,5		21,7		53,3	46,7
20-30 cm										
Cana 1	11,8	2,0	12,7	0,0	47,1	2,0	24,5		35,1	64,9
Cana 5	38,5	3,4	32,5	6,8		1,7	17,1		97,9	2,1
Cana 10	35,0	5,1	4,3				53,8	1,7	100,0	0,0
Cana 20	10,3	10,3	3,4		17,2		58,6		58,3	41,7
Cerrado	17,1	1,9	17,1	3,8	17,1	1,9	41,0		67,7	32,3
Pastagem	12,9		12,3	8,0	16,6		49,1	1,2	66,7	33,3

O índice de aromaticidade é uma forma de estimar o grau de humificação da matéria orgânica do solo, quanto maior seu valor, maior a humificação (Kavdir et al., 2005). Contudo, a relação entre teor de aromaticidade e grau de humificação nem sempre é tão direta, uma vez que materiais não decompostos, como lignina e tanino, também apresentam grupos aromáticos. É de se esperar que com a utilização do fogo as substâncias húmicas tenderiam a apresentar uma maior proporção de compostos aromáticos principalmente nas camadas mais superficiais por serem submetidas a uma maior influência do fogo. No entanto, nesse estudo foi observado para a profundidade de 0-5 cm maiores contribuições de componentes alifáticos com exceção da área de cana com 10 anos, já para a profundidade de 5-10 cm houve uma inversão nesse padrão com maiores contribuições de componentes aromáticos. Nas outras profundidades estudadas (10-20 e 20-10), novamente se observa maiores contribuições dos componentes alifáticos. As áreas que não são queimadas (Cerrado e pastagem) apresentaram uma maior homogeneidade na distribuição dos sinais, com os maiores proporções de C-alquila e O-alquila, representando valores superiores a 70% para a área de Cerrado e superiores a 50% e para pastagem, demonstrando uma matéria orgânica menos humificada quando comparadas às áreas que recebem fogo frequentemente (Tabela 13).

Padrão diferente ao encontrado nesse estudo foi verificado por Crespo, (2011) mostrando que ácidos húmicos de amostras de solo queimado (principalmente a da camada de 0 a 2 cm, a mais afetada pelo fogo) são mais parecidos com matéria orgânica mais humificada que os das amostras de solo não queimado, dando suporte à teoria que os ácidos húmicos tornam-se mais aromáticos com a decomposição.

Para a profundidade 0-5 cm, profundidade com maior influência do fogo, verificou-se um aumento no conteúdo de grupos carboxílicos, sendo o maior valor observado para a área de cana com 20 anos. O avanço do processo de humificação aumenta o conteúdo de grupos carboxílicos e aromáticos, enquanto ocorre uma diminuição dos grupos O - aromáticos e metoxilas, pois esses grupos são constituintes da lignina que tem seu conteúdo diminuído com as transformações da matéria orgânica do solo (Leinweber et al., 1993).

Canellas et al. (2007) verificaram que o principal efeito da preservação do palhiço da cana-de-açúcar sobre a qualidade da MOS foi um aumento significativo na quantidade de C atribuído a compostos aromáticos e, ou, olefinas (deslocamento químico entre 110 e 150 ppm). Foi observado um aumento de até quatro vezes nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm em comparação com as áreas com queima do canavial. Além disso, os autores constataram menor conteúdo de C atribuído a grupos carboxílicos nas áreas de cana-de-açúcar crua (deslocamento químico entre 165 e 200 ppm, que inclui absorção de grupos cetonas, ésteres e amidas).

O aumento do conteúdo de C-alquílico encontrado em material decomposto pode ser atribuído à preservação seletiva desses materiais com maior recalcitrância à atividade biológica (Theng et al., 1992). A presença de C de carboidratos pode refletir tanto a produção de resíduos pela atividade microbiana como resultado da degradação de outras formas de C, como os contidos em biopolímeros aromáticos, como as ligninas. O resultado dessa dinâmica da decomposição na área com queima do canavial é o aumento na quantidade de matéria orgânica oxidada (C-carboxílicos) e recalcitrante (C-alquílico) (Canellas et al., 2007).

Estudando a bioatividade de ácidos húmicos isolados de vermicomposto com diferentes composições e diferentes tempos de incubação, Aguiar et al. (2012) verificaram a predominância de sinais correspondente aos componentes C-alquila (0-45 ppm) e O- alquila (45-110 ppm), representando de 69% a 78% do total da área espectral dos diferentes vermicompostos avaliados. Resultados semelhantes com predomínio de sinais de C- alifático também foram observados por Spaccini & Piccolo, (2009) estudando características moleculares de ácidos húmicos extraídos do composto com diferentes estágios de maturidade.

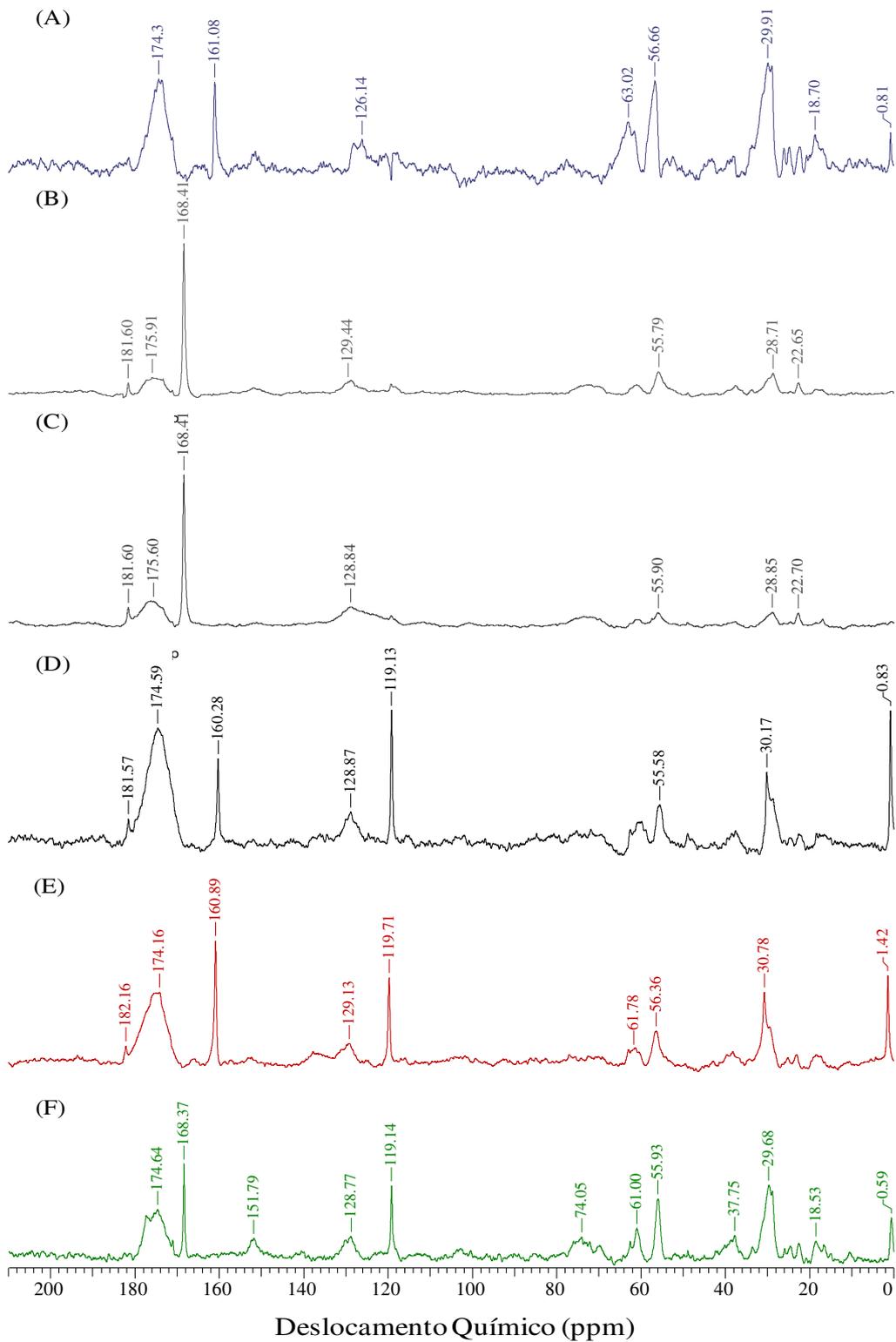


Figura 19. Espectros de RMN ^{13}C de ácidos húmicos extraídos do solo na profundidade de 0-5 cm nas áreas avaliadas de cronossequência de cana-de-açúcar no Cerrado Goiano. (A) Cana de açúcar 1 ano; (B) Cana-de-açúcar 5 anos; (C) Cana-de-açúcar 10 anos; (D) Cana-de-açúcar 20 anos; (E) Cerrado e (F) Pastagem.

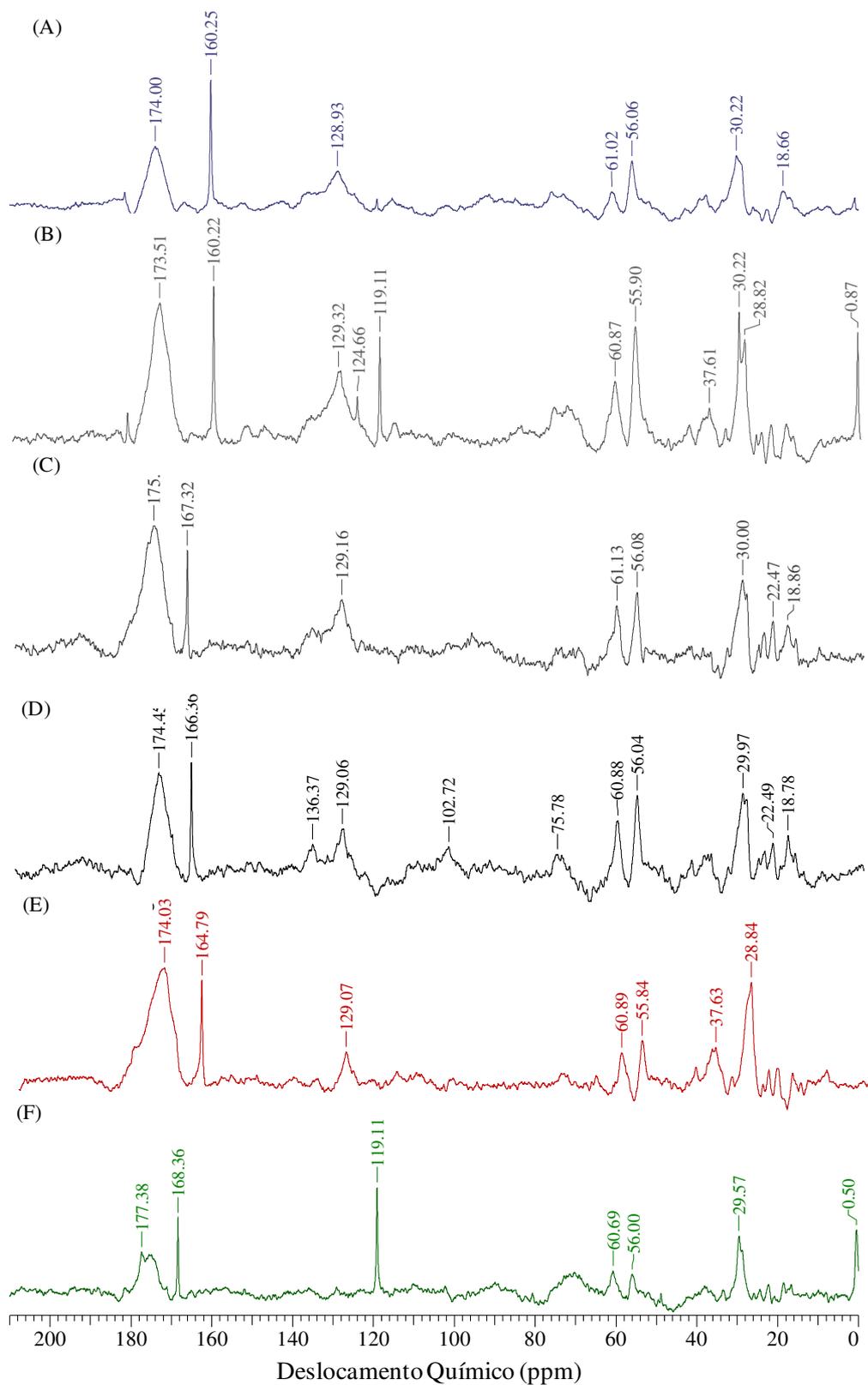


Figura 20. Espectros de RMN ^{13}C de ácidos húmicos extraídos do solo na profundidade de 5-10 cm nas áreas avaliadas de cronossequência de cana-de-açúcar no Cerrado Goiano. (A) Cana-de-açúcar 1 ano; (B) Cana-de-açúcar 5 anos; (C) Cana-de-açúcar 10 anos; (D) Cana-de-açúcar 20 anos; (E) Cerrado e (F) Pastagem.

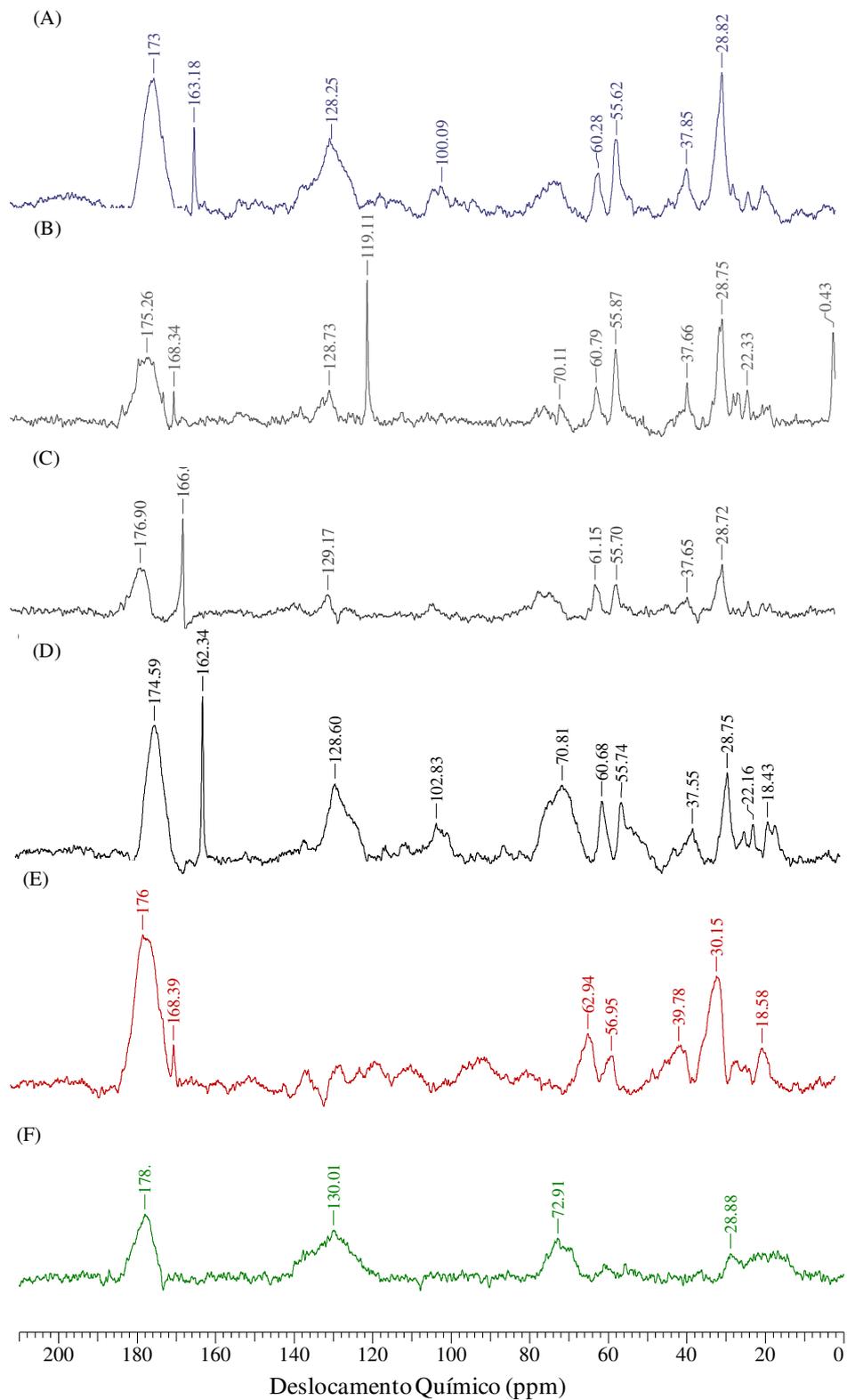


Figura 21. Espectros de RMN de ^{13}C de ácidos húmicos extraídos do solo na profundidade de 10-20 cm nas áreas avaliadas de cronossequência de cana-de-açúcar no Cerrado Goiano. (A) Cana-de-açúcar 1 ano; (B) Cana-de-açúcar 5 anos; (C) Cana-de-açúcar 10 anos; (D) Cana-de-açúcar 20 anos; (E) Cerrado e (F) Pastagem.

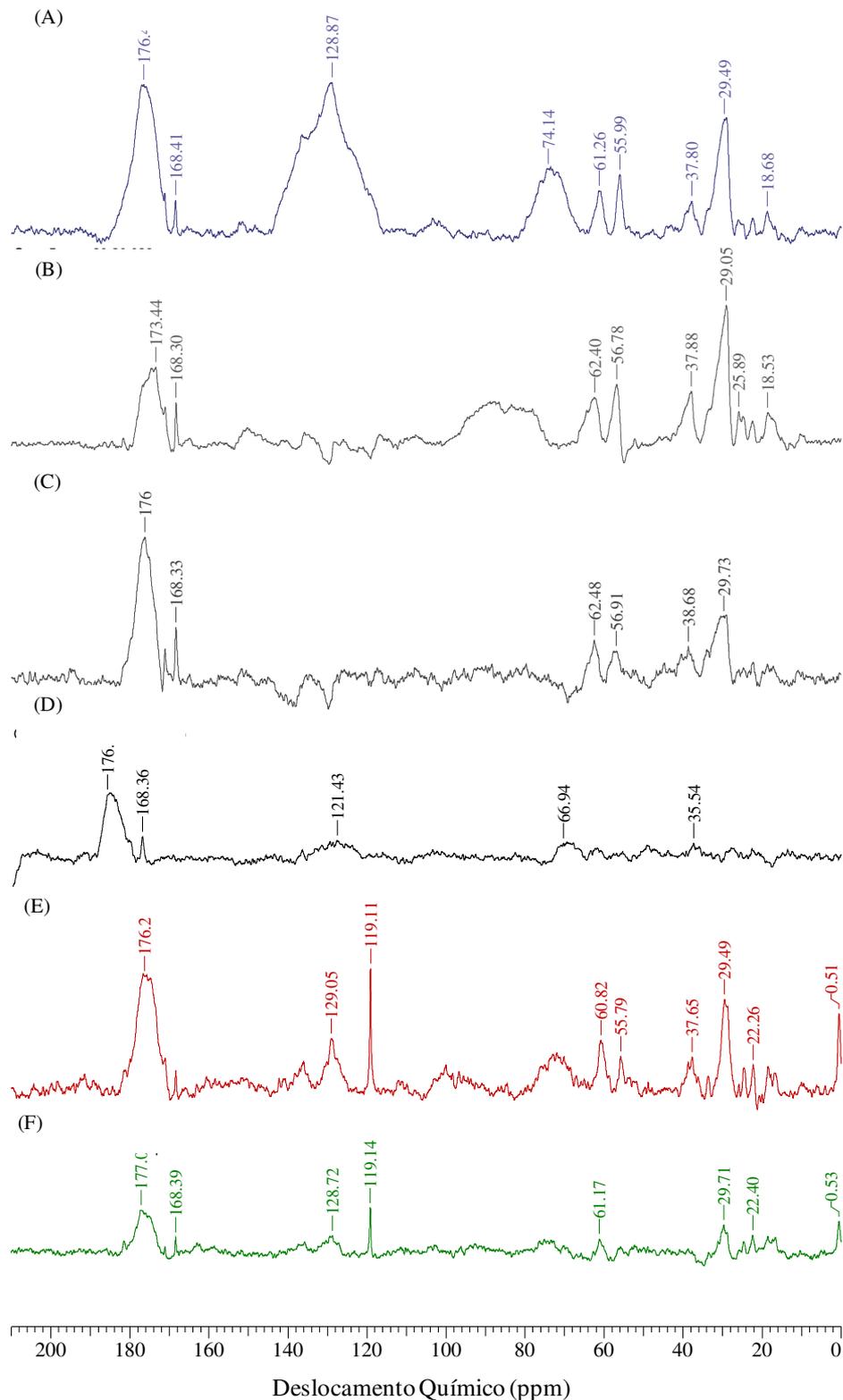


Figura 22. Espectros de RMN de ^{13}C de ácidos húmicos extraídos do solo na profundidade de 20-30 cm nas áreas avaliadas de cronossequência de cana-de-açúcar no Cerrado Goiano. (A) Cana-de-açúcar 1 ano; (B) Cana-de-açúcar 5 anos; (C) Cana-de-açúcar 10 anos; (D) Cana-de-açúcar 20 anos; (E) Cerrado e (F) Pastagem.

4.12 Fósforo Orgânico (Po)

Os maiores valores de fósforo total (Pt) foram quantificados nas áreas de cana-de-açúcar, que pode ser atribuído a adubação feita nas áreas de cultivo. O Pt apresentou diferenças estatísticas entre as áreas de cana-de-açúcar nas profundidades avaliadas (Tabela 14). Na área de cana com 20 anos foram observados os maiores valores de Pt quando comparada as demais áreas avaliadas até 40 cm de profundidade, tal efeito pode ser devido a contribuição da aplicação da vinhaça (29 mg L⁻¹) nessa área. Já para a camada de 40-60 a área de 5 anos apresentou valores estatisticamente iguais aos verificados para a área de 20 anos. A área de 5 anos apresentou valores crescentes de Pt com o aumento da profundidade, essa área foi convertida diretamente do Cerrado para a implantação da lavoura de cana e esses resultados podem ser reflexos do material adicionado pela vegetação anterior.

Estudando conteúdo de fósforo orgânico em diversos solos brasileiros, Guerra et al. (1996) verificaram para solos arenosos valores de Pt variando de 87 a 267 mg kg⁻¹ até 20 cm de profundidade, já para Latossolos de textura média e argilosa os autores quantificaram valores de Pt entre 132 e 557 mg kg⁻¹. Duda (2000) avaliando o conteúdo de fósforo microbiano, orgânico e biodisponível em diferentes classes de solo verificou para Argissolo com textura arenosa sob cultura de cana-de-açúcar no município de Carpina-PE valores de Pt de 71,4 e 17,6 mg kg⁻¹ para horizonte A e Bt respectivamente, diferindo do observado nesse estudo. Cunha et al. (2007) encontraram teores de Pt variando de 585 a 515 mg kg⁻¹ em solos de textura franco-arenosa sob pastagem na região de Santa Maria Madalena-RJ. Para Latossolos com textura argilosa sob agrossistemas de cacau no município de Itajuípe – Ba, foram verificados valores de P total variando de 585 a 736 mg kg⁻¹ (Zaia et al., 2008).

Tabela 14. Fósforo total do solo (mg kg⁻¹) determinado por digestão sulfúrica nas áreas de cronossequência de cana-de-açúcar no Cerrado Goiano.

Sistemas	Profundidade (cm)					
	0-5	5-10	10-20	20-30	30-40	40-60
	P total (mg kg ⁻¹)					
Cana 1	234,05 D	261,76 C	267,31 B	206,34 D	218,54 C	222,97 B
Cana 5	272,86 C	263,37 C	273,91 B	358,27 B	375,14 B	419,43 A
Cana 10	358,41 B	304,72 B	265,52 B	262,96 C	207,57 C	210,13 B
Cana 20	420,49 A	437,36 A	435,25 A	403,62 A	405,72 A	428,92 A
Cerrado	155,08 E	100,26 D	179,92 C	113,10 E	136,23 D	128,52 C
Pastagem	272,43 C	249,30 C	271,58 B	269,86 C	237,31 C	220,18 B
CV %	9,42	9,49	7,53	7,72	8,87	8,1

Médias seguidas de mesma letra não diferem significativamente entre os sistemas avaliados, pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade.

A proporção relativa de P orgânico e P inorgânico verificada nesse estudo apresentou padrão heterogêneo entre as áreas (Figura 23), com exceção da camada mais superficial que apresentou proporções mais homogêneas dessa relação. Em estudos de longa duração com cultivo de cana-de-açúcar sob Cambissolo Háplico no Noroeste do estado do Rio de Janeiro Busato et al. (2005) verificaram uma predominância da P inorgânico quando comparado a fração orgânica nas áreas de cana sem queima em relação a cana queimada. Foram verificados incrementos de 277% no solo onde se preservou a palhada em comparação com a área com fogo em pré-colheita. Os autores atribuem o maior teor de P inorgânico, provavelmente, à mineralização dos resíduos provenientes do cultivo ou da matéria orgânica humificada do solo, favorecendo principalmente o compartimento disponível.

O fracionamento sequencial do fósforo (Tabela 15, Tabela 16 e Tabela 17) mostrou que a fração resistente (P OH⁻), extraída com NaOH foi a que apresentou os maiores teores de

fósforo em todas as áreas avaliadas. Os menores valores foram observados na fração moderadamente resistente ($P H^+$), essa fração só foi analisada até 40 cm de profundidade, pois abaixo dessa camada os teores de P foram inferiores ao nível de detecção técnica de espectrometria. Souza et al. (2007) estudando Latossolos e Neossolos do Estado de Minas Gerais, com uma ampla variação nos conteúdos de argila, na mineralogia e nos teores de matéria orgânica (MO), observaram que independente das áreas de estudo, uma pequena participação da fração de P lábil no pool total de P, predominando nesses solos as formas de P não-lábeis. Fernandes et al. (2002), trabalhando com solos de várzea do sul de Minas Gerais, e Ivanoff et al. (1998), com Organossolos (Histossolos) de Everglades, do sul da Flórida (EUA), também verificaram pequena participação do P lábil no P total dos solos.

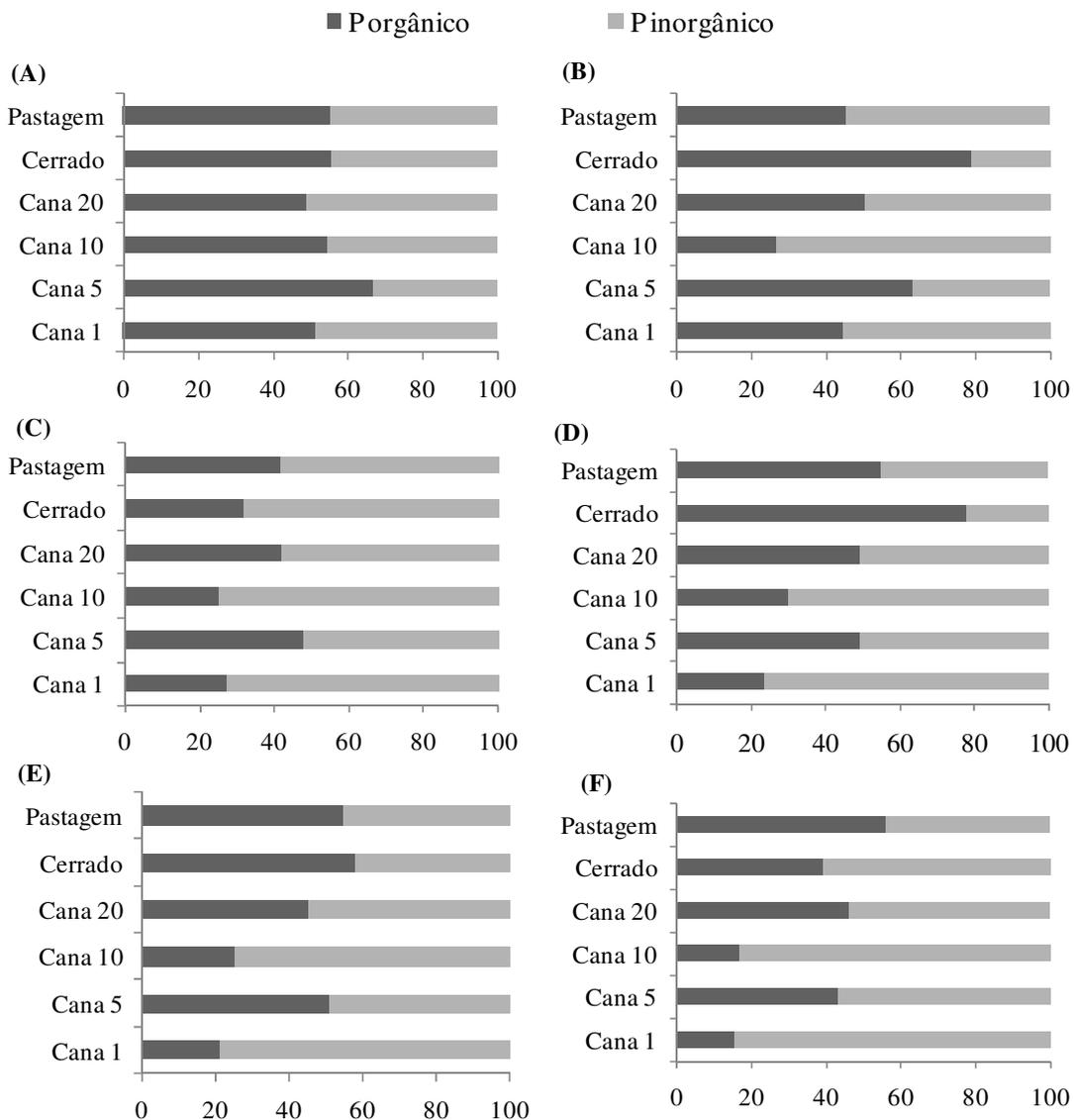


Figura 23. Distribuição relativa de P orgânico total e inorgânico total de um Latossolo Vermelho nas áreas de cronossequência de cana-de-açúcar no Cerrado Goiano. (A) 0-5 cm profundidade; (B) 5-10 cm; (C) 10-20 cm; (D) 20-30 cm; (E) 30-40 cm e (F) 40-60 cm.

Em relação à fração lábil total do fósforo (Tabela 15), os maiores teores foram encontrados na área de Cerrado e refletiram nas maiores proporções do P lábil orgânico em relação ao P lábil total. Entre as áreas de cana-de-açúcar, a área de 20 anos apresentou

maiores teores de P lábil total, cujo padrão pode estar associado à adição de vinhaça nessa área (Tabela 15). O P inorgânico lábil foi maior na área de cana de 20 anos até 30 cm de profundidade, já para a fração de P lábil orgânico a área de cana de 20 anos apresentou as menores proporções dessa fração em relação ao P lábil total. Esse padrão indica que com a aplicação de fontes externas de fósforo ocorre uma diminuição da contribuição do P orgânico no solo.

A área de cana de 20 anos além da adubação, também recebe quantidades expressivas de vinhaça que contém em torno de 29 mg de P L⁻¹. Beck & Sanches (1994) observaram em solos com adubação fosfatada, a contribuição do P orgânico é de 9%, aumentado para 34% nos sistemas sem adubação. Da mesma forma, Gatiboni et al. (2007) relatam que, em solos adubados, a contribuição do P orgânico para a nutrição das plantas foi de 6%, e aumentou para 43% no solo sem adição de fertilizantes minerais.

Tabela 15. Frações lábeis de fósforo extraídas com NaHCO₃ nas áreas de cronossequência de cana-de-açúcar no Cerrado Goiano.

Sistemas	Profundidade (cm)					
	0-5	5-10	10-20	20-30	30-40	40-60
P Lábil Total (mg kg ⁻¹)						
Cana 1	35,6 C	35,1 B	40,9 A	37,3 A	31,4 B	33,0 A
Cana 5	36,2 C	32,8 C	26,2 C	35,2 A	32,0 B	23,6 C
Cana 10	37,4 C	24,1 D	25,9 C	20,5 C	18,8 D	17,1 D
Cana 20	41,7 B	45,9 A	39,5 A	36,1 A	17,5 D	19,5 D
Cerrado	65,5 A	53,2 A	42,3 A	35,7 A	34,0 A	28,7 B
Pastagem	43,2 B	38 B	30,5 B	31,3 B	27,4 C	27,8 B
CV %	5,7	7	9,5	9,32	7,04	14,14
P Lábil Inorgânico (mg kg ⁻¹)						
Cana 1	19,3 B	17,7 C	18,2 B	22,3 A	21,6 A	15,7 A
Cana 5	10,0 D	15,7 C	9,8 C	11,7 D	8,8 D	6,1 D
Cana 10	17,4 C	13,9 D	14,2 D	6,8 E	7,0 E	7,8 C
Cana 20	26,1 A	24,3 A	22,7 A	20,7 B	4,3 F	6,2 D
Cerrado	19,7 B	20,1 B	19,4 B	17,2 C	16,7 B	16,4 A
Pastagem	17,6 C	16,3 C	17,4 B	16,8 C	13,8 C	14,6 B
CV %	9,7	11	11,3	8,2	9,9	9,6
P Lábil Orgânico (mg kg ⁻¹)						
Cana 1	16,3 D	17,4 C	22,8 A	15,0 C	9,8 D	19,0 A
Cana 5	26,2 B	17,1 C	16,5 B	23,5 A	23,2 A	17,5 A
Cana 10	19,9 C	10,2 D	11,8 C	13,6 C	11,8 C	9,2 C
Cana 20	15,6 D	21,6 B	16,8 B	15,4 C	13,2 C	13,3 B
Cerrado	45,9 A	33,1 A	22,8 A	18,4 B	17,3 B	12,3 B
Pastagem	25,6 B	21,6 B	13,1 C	14,6 C	13,5 C	13,1 B
CV %	12,6	10,6	16,6	15,3	13,9	20,9

Médias seguidas de mesma letra não diferem significativamente entre os sistemas avaliados, pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade.

O teor de P na fração lábeis, extraído com NaHCO₃ em Cambissolo Ta no município de Campos dos Goytacazes, manejada sem queima da palhada, com valores médios de 115 mg kg⁻¹ que representou 14 % do teor de P extraído, já para a área com cana queimada valores médios de 16 mg kg⁻¹, a participação dessas formas correspondeu a 5 %, evidenciando a importância da preservação da matéria orgânica para o aumento das formas de P mais disponíveis no solo (Busato et al.,2005). Esses valores corroboram com aos encontrados nesse estudo para as áreas de cana queimada.

Estudando frações de fósforo em topossequência de Latossolos com textura franco-arenosa em Ouricuri-Pe, Araújo et al.(2004) verificaram valores inferiores aos encontrados nesse estudo, com valores de P lábil extraído com NaHCO₃ variando de 4,3 a 6,5 mg kg⁻¹ no terço superior, 3,5 a 5,5 mg kg⁻¹ para terço médio e de 4,1 a 6,4 mg kg⁻¹ para terço inferior.

Avaliando as formas de fósforo em Latossolo Vermelho Distroférico com textura muito argilosa sob cana-de-açúcar colhida sem queima no nordeste de São Paulo, Correia (2010) verificou que os teores de Po lábil nas amostras das áreas sob cultivo de cana sem queima e queimada foram equivalentes aos da área sob vegetação natural nas amostras até 10 cm de profundidade. O autor atribui esses resultados ao revolvimento do solo, calagem, deposição de cinzas e a decomposição da palha nos cultivares da cana estimulam a atividade microbiana e favorecem o acúmulo do Po adsorvido na superfície dos colóides minerais (Sharpley & Smith, 1985).

Os maiores valores de P H⁺ total (Tabela 16) foram verificados na área de cana com 20 anos, com exceção da camada de 20-30 cm de profundidade onde o maior valor foi observado na área de cana 5 anos.

Tabela 16. Frações moderadamente resistentes de fósforo (P H⁺) extraídas com H₂SO₄ nas áreas de cronosequência de cana-de-açúcar no Cerrado Goiano.

Sistemas	Profundidade (cm)				
	0-5	5-10	10-20	20-30	30-40
P H ⁺ Total mg kg ⁻¹					
Cana 1	19,8 C	18,1 D	14,0 C	10,3 C	5,4 E
Cana 5	22,3 C	20,7 C	16,7 B	12,9 B	8,2 D
Cana 10	38,4 B	23,4 B	11,8 D	9,5 D	5,0 E
Cana 20	41,8 A	30,8 A	17,6 B	10,7 C	10,1 C
Cerrado	18,3 C	18,3 D	20,4 A	22 A	18,6 A
Pastagem	14,6 D	12,9 E	13,6 C	10,7 C	13 B
CV %	10,8	4,6	10,4	14,5	9,5
P H ⁺ Inorgânico mg kg ⁻¹					
Cana 1	17,6 D	16,1 C	12,8 B	8,1 B	4,1 D
Cana 5	19,3 C	17,7 B	14,4 A	9,8 A	6,1 B
Cana 10	29,1 A	19,6 A	9,5 C	7,5 B	3,7 D
Cana 20	28,5 B	17,6 B	11,9 B	7,7 B	7,4 A
Cerrado	4,9 E	4,9 D	5,5 D	6,3 C	4,7 C
Pastagem	2,9 F	2,6 E	2,8 E	1,9 D	2,5 E
CV %	1,9	5,6	9,7	11,2	14,5
P H ⁺ Orgânico mg kg ⁻¹					
Cana 1	2,2 C	2,0 D	1,2 D	2,2 C	1,3 D
Cana 5	3,0 C	3,0 C	2,2 D	3,2 C	2,1 C
Cana 10	9,2 B	3,8 C	2,3 D	2,1 C	1,3 D
Cana 20	13,3 A	13,2 A	5,7 C	2,9 C	2,7 C
Cerrado	13,4 A	13,5 A	14,9 A	15,7 A	13,8 A
Pastagem	11,6 A	10,3 B	10,8 B	8,8 B	10,5 B
CV %	31,8	13,3	21,6	23,1	14

Médias seguidas de mesma letra não diferem significativamente entre os sistemas avaliados, pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade.

Tabela 17. Frações resistentes de fósforo (P OH⁻) extraídas com NaOH nas áreas de cronossequência de cana-de-açúcar no Cerrado Goiano.

Sistemas	Profundidade (cm)					
	0-5	5-10	10-20	20-30	30-40	40-60
P OH ⁻ Total mg kg ⁻¹						
Cana 1	134,6 D	129,9 D	75,6 D	56,7 D	55,2 F	41,5 E
Cana 5	191 B	187,6 B	148,8 B	185,0 B	201,7 B	202,0 B
Cana 10	257,2 A	149,7 C	98,8 C	111,3 C	91,6 D	72,6 D
Cana 20	269,1 A	302,1 A	258,6 A	261,3 A	241,1 A	248,5 A
Cerrado	66,3 E	68,1 E	39,8 E	80,9 D	74,6 E	74,0 D
Pastagem	163,0 C	131,8 D	137,8 B	166,1 B	148 C	144,3 C
CV %	8,4	9	13,9	14,5	7,6	6,8
P OH ⁻ Inorgânico mg kg ⁻¹						
Cana 1	34,1 E	35,4 E	27,7 D	25,8 F	23,8 F	26,6 F
Cana 5	39,9 D	41,0 D	37,2 C	39,7 D	36,9 D	39,7 C
Cana 10	91,9 B	83,3 B	47,6 B	49,2 B	52,9 B	47,4 B
Cana 20	98,0 A	128,3 A	98,5 A	83,7 A	73,5 A	66,0 A
Cerrado	33,5 E	27,8 F	33,7 C	34,3 E	28,8 E	37,1 D
Pastagem	45,6 C	47,2 C	54,4 B	43,4 C	40,4 C	30,5 E
CV %	6,5	4,2	11,5	4,8	4,6	5,1
P OH ⁻ Orgânico mg kg ⁻¹						
Cana 1	97,2 D	94,6 C	48,0 D	32,5 D	31,4 C	14,9 E
Cana 5	151,1 B	146,6 B	111,6 B	145,3 B	164,8 A	162,4 B
Cana 10	165,0 B	66,5 D	51,1 D	62,1 C	38,8 C	25,1 E
Cana 20	171,0 A	173,8 A	160,1 A	177,6 A	167,6 A	182,5 A
Cerrado	32,8 E	40,3 E	14,7 E	46,6 D	45,8 C	37,0 D
Pastagem	124,1 C	84,6 C	83,4 C	149,4 B	107,5 B	113,8 C
CV %	9,7	14,5	17,2	13,1	10,3	10,6

Médias seguidas de mesma letra não diferem significativamente entre os sistemas avaliados, pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade.

As áreas de pastagem e Cerrado apresentaram as maiores proporções de P H⁺ orgânico em relação ao P H⁺ total entre todas as áreas estudadas, com valores da relação maiores que 70% em todas as profundidades.

De maneira geral Duda (2000) encontrou os maiores valores de P associado à extração ácida em comparação aos outros extratores, no entanto verificou valores semelhantes aos observados nesse estudo em Argissolos de textura arenosa sendo os valores quantificados na ordem de 40 mg kg⁻¹ e 8 mg kg⁻¹ para fração P H⁺ total e P H⁺ orgânico respectivamente. O autor destaca a importância dessa fração nos estudos de fertilidade do solo, já que esta fração está associada a substâncias não húmicas e aos ácidos fúlvicos (Sequi et al., 1986), a acessibilidade desse compartimento pelos microrganismos e plantas pode ser mais fácil do que o P associado aos ácidos húmicos (Fares et al., 1974).

Estudando formas de fósforo em Luvisolo Crômico Órtico sob sistemas agroflorestais no município de Sobral-CE, Nogueira et al. (2008) verificaram que houve o predomínio do fósforo extraído em meio ácido quando comparada à fração extraída no meio alcalino. O conteúdo de Pt (H⁺) apresentou variação de 69,9 até 414,5 mg kg⁻¹ de solo com um valor médio de 141 mg kg⁻¹ de solo, sendo esses valores muito superiores aos verificados nesse estudo. De acordo com Novais & Smith (1999), a extração de P em meio ácido solubiliza formas de fósforo ligadas ao cálcio, o que corrobora com os resultados da composição química dos solos estudados por Nogueira et al. (2008), pois, segundo Mota (1997), entre os

minerais primários predominantes nos Luvissoles dessa região encontram-se horblenda, feldspatos e biotita.

Os valores de P extraído com solução alcalina na área de cana com 20 anos apresentaram diferenças estatísticas quando comparados as outras áreas de cana e também com a área de Cerrado e de pastagem, apresentando os maiores valores nas três frações avaliadas (total, inorgânica e orgânica). No que se refere à fração de P solúvel em meio alcalino admite-se que a mineralização desta fração seria mais lenta, tendo em vista que a mesma encontra-se associada à forma mais estáveis da matéria orgânica, tais como aos ácidos húmicos e huminas que possuem alta resistência à mineralização (Stevenson, 1994).

O NaOH tem maior eficiência de extrair as formas P de baixa labilidade e com disponibilidade restrita à absorção vegetal, essas formas de P são associadas aos fosfatos amorfos e cristalinos de Al e Fe (Novais & Smyth, 1999; Rheinheimer & Anghinoni, 2001), logo a quantidade de P extraído com NaOH é justificado pelo tipo de solo da região estudada.

Nogueira et al. (2008) quantificaram baixos valores de P extraídos com NaOH sendo que esses não apresentaram diferenças significativas nas áreas avaliadas e com altos coeficientes de variação (46,2%) avaliando formas de fósforo em Luvissoles de regiões sob sistemas agrofloretais na região do semi-árido brasileiro.

As formas consideradas pouco lábeis de P (Pi e Po-NaOH), que possuem disponibilidade restrita à absorção vegetal, foram as que apresentaram o maior teor verificado por Souza et al. (2007), que estudaram formas de fósforo do solo sob influência da calagem e da adubação orgânica em solos com diferentes texturas. Segundo os autores os maiores teores observados nessa fração indicam a grande importância da aplicação de resíduos orgânicos, já que esse reservatório representa um importante compartimento na ciclagem de P no solo (Tate & Salcedo, 1988).

Busato et al. (2005) verificaram que a fração extraída com solução de NaOH representou uma porção importante no teor total de P em todas as áreas avaliadas, especialmente no manejo que recebeu vinhaça em ambas as profundidades estudadas. Os autores observaram para áreas com cana-de-açúcar colhida crua as menores participações desse compartimento, com 11% do fósforo em relação ao teor total de P até 40 cm de profundidade. Segundo os autores a adoção do manejo da cana-de-açúcar sem a queima por longo período, além de diminuir as emissões de poluentes na atmosfera, contribui para maiores teores de P no solo em superfície e em subsuperfície.

4.13 Espectroscopia de RMN de ^{31}P

A integração eletrônica da área dos sinais mais expressivos nos espectros adquiridos para a cronosequência de cana-de-açúcar avaliadas encontra-se na Tabela 18. Em geral os espectros apresentaram pouca diversidade de sinais (Figuras 24 e 25), verificou-se um predomínio dos sinais atribuídos para P em ligação monoéster (sinal entre 5,0 e 5,9 ppm) e P em ligação diéster (sinal entre -1 e 1 ppm) em diferentes proporções em todas as áreas de cana de açúcar e também para o Cerrado e pastagem até 10 cm de profundidade. Busato et al. (2005) em estudos utilizando RMN ^{31}P em cultivos de cana-de-açúcar por longo tempo em Cambissolo Háptico verificaram um padrão espectral semelhante nas áreas de cana queimada e cana crua com poucos sinais, e ainda com a presença exclusiva de P diéster diferente da maioria dos trabalhos encontrados na literatura que apresentam espectros com maior diversidade de sinais. Na área de pastagem foi observado um sinal entre 6 e 7 ppm atribuído à ortofosfato inorgânico nas profundidades avaliadas exceto na profundidade de 5-10 cm. Para as outras áreas esse sinal foi verificado a partir de 10 cm de profundidade com exceção da área de cana-de-açúcar com 20 anos onde não foi observado esse sinal em nenhuma profundidade avaliada.

Para a profundidade de 0 - 5 cm (Tabela 18) As maiores proporções de P em ligação monoéster foram observadas nas áreas de cana com 5 e 10 anos (78 e 79% respectivamente) com sinal referente aos açúcares fosfatados (5-5,9 ppm), como a ribose-5-fosfato e glicose-6-fosfato (Adams & Byrne, 1989) e uma participação de aproximadamente 20% de P em ligação diéster.

Gatiboni et al. (2005) em estudos com cultivos sucessivos e com diferentes doses de fósforo (0, 360 e 720 kg de P₂O₅) verificaram em termos quantitativos, que a principal forma encontrada foi o ortofosfato inorgânico, seguido do Po monoéster, Po diéster e pirofosfato inorgânico. Os autores observaram sinais secundários de Po monoéster com uma pequena contribuição dos açúcares fosfatados.

A fração de P monoéster não apresentou em nenhum dos espectros avaliados na profundidade de 0-5 cm sinal referente ao fosfato de Inositol, que é comumente identificado por diversos autores como predominante em solos com diferentes graus de intemperismo (Rheinheimer, 2000; Busato et al., 2005; Turner, 2007, Dolette et al., 2010).

Tabela 18. Distribuição (%) dos compostos de fósforo nos ácidos húmicos extraídos de um Latossolo Vermelho em cronossequência de cana-de-açúcar no Cerrado goiano.

Sistemas	Deslocamento Químico (ppm)							Piro-fosfato	Relação di/mono
	Ortofosfato Inorgânico	P em ligação monoéster			P em ligação diéster		-5,8 a - 8,5		
	6 a 7	Açúcares 5 a 5,9	Mono-nucleotídeos 3,8 a 5	Inositol Fosfato 2 a 3,5	Ácido teicóico 1 a 2	Ortofosfato diéster 1 a -1			
0-5 cm									
Cana 1		50					50		1,0
Cana 5		79					21		0,3
Cana 10		78					22		0,3
Cana 20		25					75		3,0
Cerrado		38					63		1,7
Pastagem	40	40					20		0,5
5-10 cm									
Cana 1		33					67		2,0
Cana 5		0		38			54	8	1,4
Cana 10		75					25		0,3
Cana 20		62					38		0,6
Cerrado		52					48		0,9
Pastagem		33					25		0,5
10-20 cm									
Cana 1		50					50		1,0
Cana 5	50	25					25		1,0
Cana 10		83					17		0,2
Cana 20		50					50		1,0
Cerrado	41	39					21		0,5
Pastagem	47	53					0		0,0
20-30 cm									
Cana 1	40	43					17		0,4
Cana 5	36	36					27		0,8
Cana 10	44	48					9		0,2
Cana 20		85					15		0,2
Cerrado	39	39					20	2	0,5
Pastagem	25	50					25		0,5

Essa fração é caracterizada por apresentar forte ligação com os minerais do solo e elevada densidade de cargas, conferindo alta estabilidade contra o ataque enzimático e microbiano, principalmente pela formação de complexos organominerais com óxidos de ferro

e alumínio do solo dificultando o processo de mineralização e favorecendo o acúmulo no solo, sendo de baixa labilidade e disponibilidade às plantas (Dalal, 1977; Tate, 1984; Stewart & Tiessen, 1987). Turrión et al. (2001) em estudos de RMN ^{31}P em solos de floresta naturais e adubados encontraram relação direta entre formas de P monoéster e a quantidade de argila dos solos, apresentando possível caminho para estabilização dos componentes monoésteres do solo.

A dinâmica rápida de hexafosfato de inositol (fitato) aplicado a um solo com carbonato ($11,1\text{g CaCO}_3 \text{kg}^{-1}$) do norte da Austrália e demonstrado através ^{31}P RMN por Dolette et al., (2010). Os autores verificaram um rápido declínio do fitato aplicado após 13 semanas de incubação do solo. Esse estudo demonstra que no solo com carbonato examinado, o fitato não estava altamente estável, mas em uma forma biologicamente disponível de P.

McDowell & Stewart (2006) estudando a composição do fósforo por extração sequencial e ^{31}P RMN em pastagem, floresta nativa e áreas com manejo florestal na Nova Zelândia verificaram que o maior incremento de P orgânico foi atribuído ao P em ligação monoéster (31-60% de P total nos espectros), seguido de diésteres (1-12% de P total nos espectros).

A área de cana com 20 anos apresentou mudanças representativas na distribuição das espécies de P nos ácidos húmicos com maiores proporções de P em ligação diéster, 75% do sinal foi atribuído ao ortofosfato diéster e somente 25% foi atribuído ao P em ligação monoéster. O P orgânico em ligação diéster é constituído majoritariamente por materiais que possuem menor densidade de cargas como DNA, uma vez que o fosfato está ligado ao carbono por duas ligações ésteres, possuindo baixa capacidade de interagir ionicamente em comparação aos monoésteres que possuem uma única ligação covalente (Turrión et al., 2001; McDowell e Stewart, 2006). Esse padrão pode ser efeito da aplicação constante da vinhaça na área. Busato et al. (2005) analisando ácidos húmicos por RMN ^{31}P em Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar por longo tempo no Norte do estado do Rio de Janeiro, observaram que a aplicação de vinhaça por um período de 35 anos nas áreas de produção de cana-de-açúcar proporcionou mudanças na proporção das espécies de P nos ácidos húmicos.

Foi observado um sinal pronunciado espectro de RMN ^{31}P em -0,39 ppm, característico de P em ligação diéster nas áreas que receberam aplicação de vinhaça. Busato et al. (2005) verificaram ainda o maior número de sinais obtidos pela RMN ^{31}P nas áreas que receberam vinhaça quando comparada com áreas de cana-de-açúcar crua e queimada.

Essa maior diversidade de sinais na área com aplicação de vinhaça não foi verificada nesse estudo, a área com maior diversidade foi à área de pastagem. A área de Cerrado também apresentou valores elevados de P em ligação diéster, por ser uma área que mantém um aporte de matéria orgânica, boa drenagem e temperaturas elevadas, o que favorece a atividade microbiana, o elevado teor de alumínio encontrado nessa área pode restringir a atividade dos microrganismos (Marakov, et al. 1995) promovendo um acúmulo dessa fração. Entretanto Summan et al, (1998) em estudos sobre efeitos climáticos sobre as formas de fósforo orgânico nos Estados Unidos verificaram uma maior proporção de espécies orgânicas mais lábeis em solos florestais sob ótimas condições para o desenvolvimento microbiano. Os autores atribuíram tal efeito ao grande aporte de material vegetal na área estudada. Já para a área de pastagem a contribuição de P em ligação diéster foi duas vezes menor em relação ao P em ligação monoéster. Para a pastagem 0-5 cm foi verificado também um pico diferente (6 - 7 ppm) dos encontrados nos outros tratamentos que correspondeu a cerca de 40% da área avaliado no espectro.

McDowell & Stewart (2006) verificaram em todos os espectros de ^{31}P RMN para áreas de pastagem, floresta nativa e floresta manejada picos em torno de 6,5 a 6,7 atribuíram esses sinais a presença de ortofosfato (Newman e Tate, 1980).

Ácidos húmicos extraídos de diversos tipos de solos de montanha e áreas com solo arado da Eslováquia e analisados por espectroscopia de ^{31}P RMN por Barancikova et al. (2007) mostraram uma grande diversidade de sinais nos espectros e com exceção do sinal entre 22 e 24, todos os outros sinais observados para compostos de P orgânico foram observados pelos autores com distintas proporções. Dentre os sinais observados o que apresentou maior pico foi para o fosfato monoéster (3-7 ppm). Fitato é um composto rico em P encontrado em cereais, leguminosas e óleo de sementes de culturas (Reddy et al., 1989) e funciona como principal forma de armazenamento de P em sementes e é gradualmente enzimaticamente hidrolisado para libertar ortofosfato durante a germinação (Bassiri & Nahapetian, 1977). O fitato quando presente no solo se encontra numa forma indisponível para absorção pelas plantas, precisando ser hidrolisado para que ocorra a liberação do fosfato (Lung & Lim, 2006).

Busato et al. (2005) não observaram diferenças nos compostos encontrados na área de cana-de-açúcar crua e queimada, porém observaram distribuições relativas diferentes, mostrando que houve uma alteração no ciclo de Po com a queima do material vegetal. A participação do P diéster em relação ao monoéster passou de 92% para 17% nas amostras de 0-20 cm de profundidade. Os autores verificaram ainda para a área de cana com queima a presença do sinal Po lábil de origem microbiana com 51% da área de espectro. Esse incremento de ácido teicóico pode estar relacionado com a morte dos microrganismos nas áreas queimadas e conseqüentemente extravasamento de material celular.

Para a profundidade de 5-10 cm os mesmos sinais foram observados, com exceção da área de cana-de-açúcar com 5 anos que apresentou o fosfato de inositol como principal componente do Po em ligação monoéster ao contrário das outras áreas de cana que apresentaram sinal para açúcares como ligação de Po monoéster (Tabela 18). A área de cana de 5 anos também apresentou nessa profundidade sinal referente ao pirofosfato (-5,8 a -8,5) contribuindo com 8% da área de integração do espectro, sendo essa forma considerada relativamente estável no solo (Marakov, 1998). Sinais de pirofosfato de até 50% da área do espectro também foram verificados por Busato et al. (2005) nos manejos com e sem aplicação de vinhaça na camada de 20 a 40 cm de profundidade, esse padrão pode ser decorrente em parte, pela hidrólise do Po durante a concentração da solução para a espectroscopia, ou ainda pela liberação do ortofosfato associado com o material húmico (Makarov, 1998). Esses valores são semelhantes aos observados por Solomon et al. (2002), que encontraram participações do pirofosfato variando de 2 até 6 % em extrato alcalino.

Na profundidade de 10-20 e 20-30 cm (Tabela 18,

Figura 25), sinal referente ao ortofosfato inorgânico aparece de forma mais pronunciada, chegando a 50% da área de integração do espectro para a cana de 5 anos na profundidade de 10-20 e a 44% para a cana de 10 anos na profundidade de 20-30. Nessa profundidade verificou-se também a menor contribuição dos compostos diésteres. A predominância do ortofosfato inorgânico depende principalmente da adição de fertilizantes e do grau de intemperismo do solo. Quanto mais intemperizado for o solo e menor a adubação empregada, o Po monoéster pode aparecer em maior proporção que o ortofosfato inorgânico (Zech et al., 1985; Guggenberger et al., 1996a e b) isso ocorre devido à utilização de P inorgânico pelas plantas ou sua transformação em formas orgânicas (Dalal, 1977). Em solos que receberam adubação fosfatada ou que ainda há reservas de Pi no solo, o ortofosfato inorgânico é a fração predominante (Rheinheimer et al, 2002; Cardoso et al, 2003, Gatiboni et al., 2005).

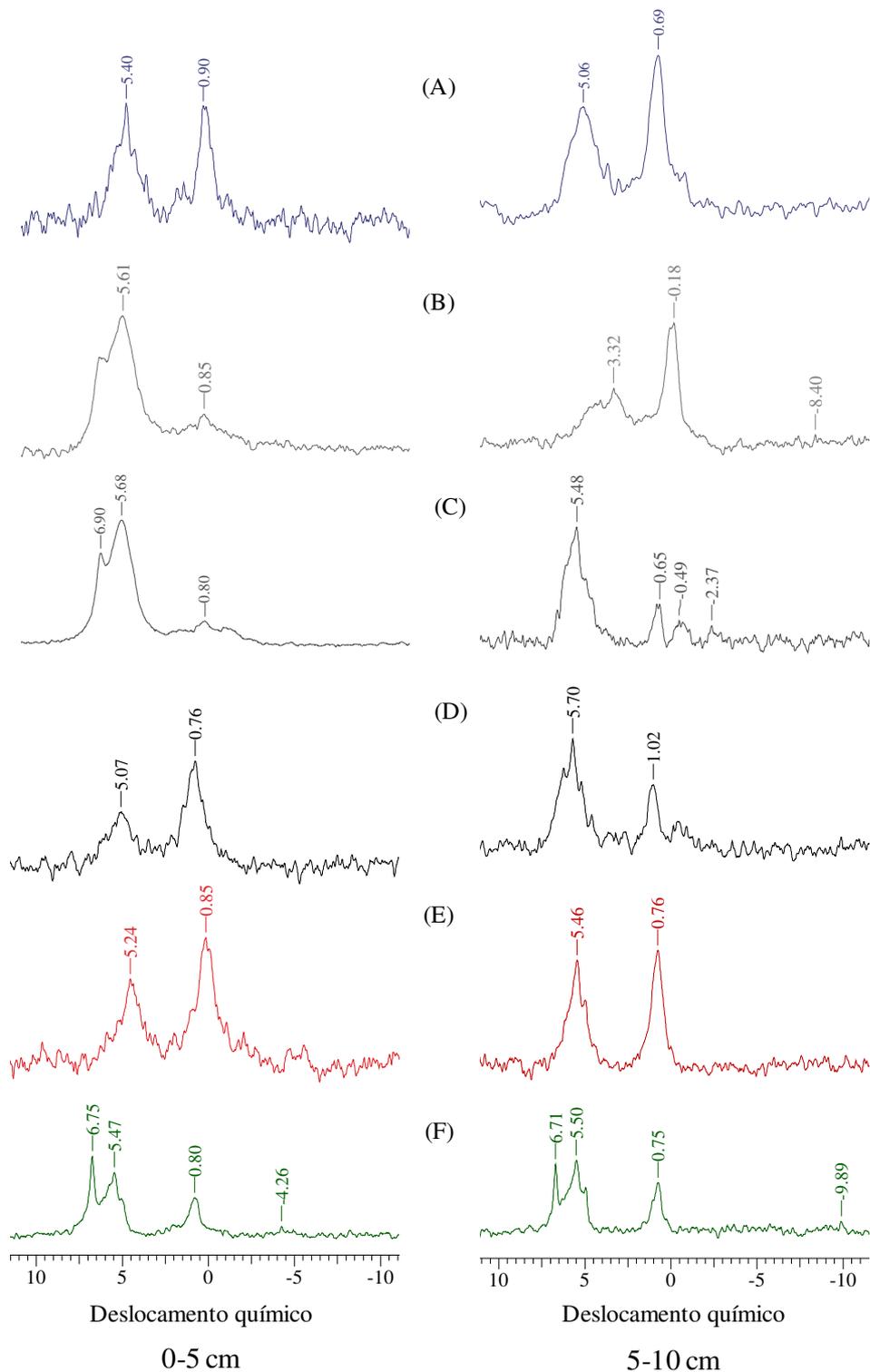


Figura 24. Espectros de RMN ^{31}P na profundidade de 0-5 e 5-10 cm em cronossequência de cana-de-açúcar no Cerrado goiano. (A) Cana de açúcar 1 ano; (B) Cana-de-açúcar 5 anos; (C) Cana-de-açúcar 10 anos; (D) Cana-de-açúcar 20 anos; (E) Cerrado e (F) Pastagem.

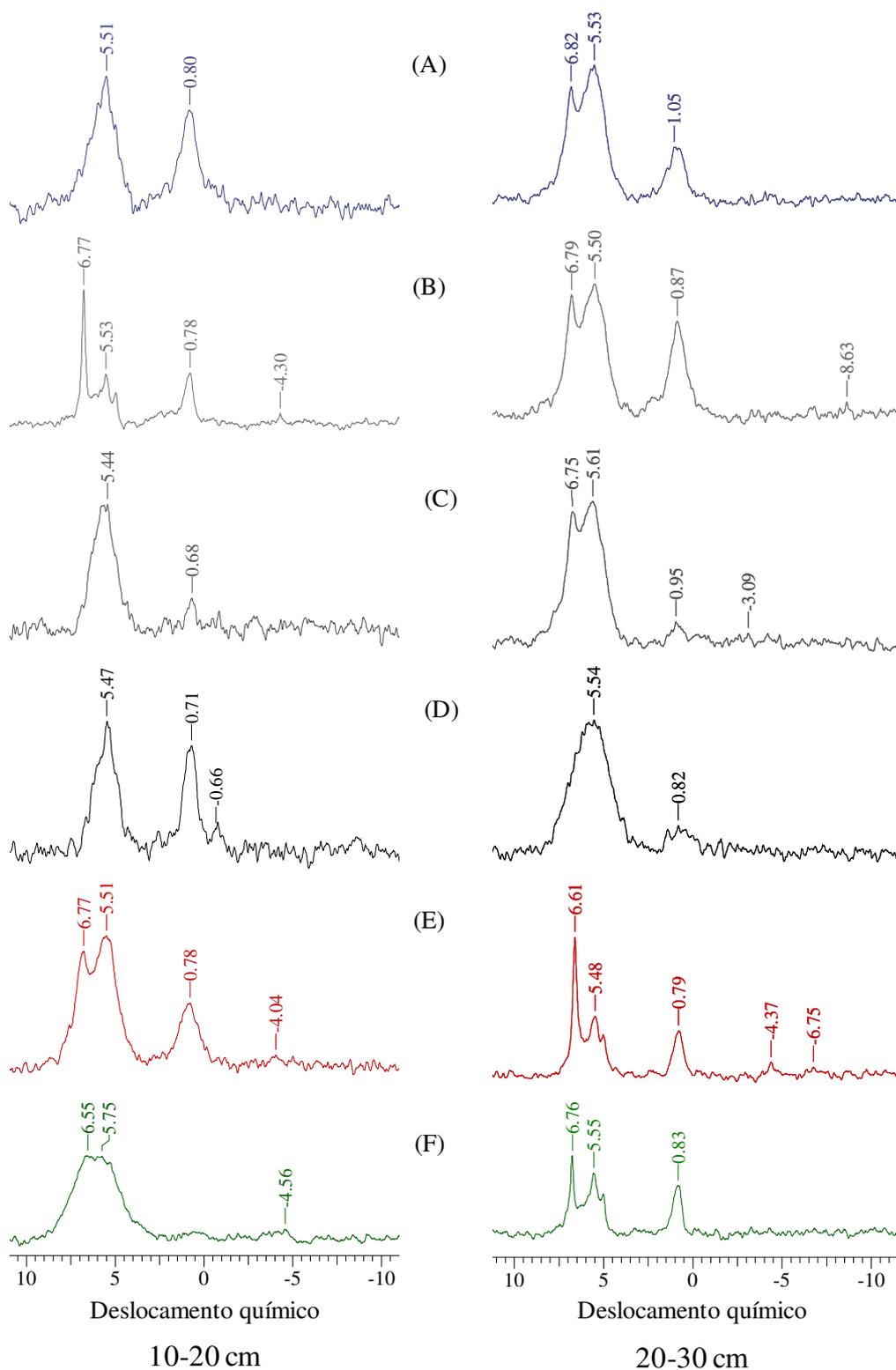


Figura 25. Espectros de RMN ^{31}P na profundidade de 10-20 e 20-30 cm em cronossequência de cana-de-açúcar no Cerrado goiano. (A) Cana-de-açúcar 1 ano; (B) Cana-de-açúcar 5 anos; (C) Cana-de-açúcar 10 anos; (D) Cana-de-açúcar 20 anos; (E) Cerrado e (F) Pastagem.

Os valores da relação diéster/monoéster, foram calculados para os ácidos húmicos extraídos do solo estudados (Tabela 18). Essa relação apresentou grande variação com valores 3,0 para área de cana 20 na profundidade de 0-5 cm e 0,2 para a área de cana de 20 anos na profundidade de 20-30 cm. Esses resultados diferem dos encontrados por Busato et al. (2005), onde os autores não observaram em nenhum de seus espectros sinais referentes ao P em ligação diéster para áreas com manejo de cana queimada.

Os valores encontrados nesse estudo são superiores aos verificados em extrato alcalino de solos tropicais da Etiópia por Solomon et al. 2002, que apresentaram variação de 0,13 até 1, sendo os maiores valores referentes às áreas de florestas não perturbadas e os menores originados de solos sob intenso cultivo agrícola.

Em áreas cultivadas com café em sistema agroflorestral e em plantio convencional com diferentes idades na Zona da Mata, sudeste do estado de Minas Gerais foi verificado valores médios da relação diéster/monoéster próximas a 0,06 demonstrando grande participação de compostos de Po em ligação monoéster (Cardoso et al., 2003). Padrão semelhante foi observado em estudos de composição de fósforo contrastando solos de pastagem e solos em sistema agroflorestrais na Nova Zelândia, onde foram quantificados valores da relação diéster/monoéster próximas a 0,06 (McDowell & Stuwart, 2006).

5 CONCLUSÕES

As áreas de cana-de-açúcar com 1 e 5 anos apresentaram os maiores valores de Ca e Mg e os menores valores de K e P.

As áreas de cana-de-açúcar queimada igualaram os teores de COT e de estoque de COT das áreas de Cerrado nativo após 5 anos de implantação do sistema de cultivo.

Os valores da CO_p e da CO_{am} diferiram estatisticamente entre os sistemas avaliados e entre as coletas, com uma inversão dos teores nas áreas de cana com 10 e 20 anos provocada pela reforma do canavial.

As áreas de cana-de-açúcar com 10 e 20 anos de queima apresentaram índice de manejo de carbono superior aos observados na área de vegetação nativa, já as áreas de cana com 1 e 5 anos e pastagem apresentaram índice de manejo de carbono inferior, indicando impacto negativo no estoque de C, principalmente da fração lábil.

A substituição da vegetação original de Cerrado para implantação de áreas cultivadas com cana-de-açúcar acarretou em mudanças do $\delta^{13}\text{C}$, promovendo um aumento do sinal de plantas com ciclo fotossintético C₄.

As áreas de cana de 1, 10 e 20 anos, apresentaram maiores valores de $\delta^{15}\text{N}$, indicando que a mineralização da MOS ocorreu de forma mais acelerada nessas áreas.

A área de cana com 20 anos de queima e aplicação de vinhaça apresentou os maiores valores de P total e P OH⁻. O P orgânico apresentou grande contribuição nos teores de P total, com valores na ordem de 20% para área de cana-de-açúcar com 1 ano e chegando a 80% na área de Cerrado.

As análises espectroscópicas de carbono (RMN ¹³C, UV-vísivel e infravermelho) dos ácidos húmicos permitiram concluir que independente do tempo de queima os grupos funcionais verificados foram semelhantes e apareceram em diferentes intensidades, no entanto não foi possível verificar diferenças na qualidade da matéria orgânica causada pela utilização da queima para eliminação da palhada da cana-de-açúcar.

A espectroscopia de RMN ³¹P demonstrou diferenças quanto às proporções e a distribuição das formas orgânicas de P nos ácidos húmicos nos diferentes sistemas avaliados. Os grupos de maior destaque foram o ortofosfato diéster e os açúcares fosfatados.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAMS, M.A.; BYRNE, L.T. ^{31}P -NMR analysis of phosphorus compounds in extracts of surface soils from selected karri (*Eucalyptus diversicolor* F. Muell.) forests. *Soil Biology Biochemistry* v. 21, p.523–528. 1989.
- AGUIAR, N. O.; OLIVARES, F. L.; NOVOTNY, E. H.; DOBBSS, L. B.; BALMORI, D. M.; SANTOS-JÚNIOR, L. G.; CHAGAS, J. G.; FAÇANHA, A. R.; CANELLAS, L. P.. Bioactivity of humic acids isolated from vermicomposts at different maturation stages. *Plant and Soil*, v. 372, p.161-174 2012.
- ALBRECHT, S.L.; RASMUSSEN, P.E.; SKIRVIN, K.W. e GOLLER, R.H. Is burning an effective management practice for the Pacific Northwest cereal region? In: Albrecht S.L (ed.), p. 105-109, 1995.
- ALMENDROS, G.; GONZÁLEZ-VILA, F. J.; MARTIN, F.; FRUND, R. LUDEMANN H-D. Solid state NMR studies of fire-induced changes in the structure of humic substances. *Science Total Environment*, v. 117/118, p. 63–74, 1992.
- ALMENDROS, G.; LEAL, J.A. An evaluation of some methods for oxidative degradation of the humic substances applied to carbohydrate-derived humic-like polymers. *Journal of Soil Science*, v. 41, p. 51-59, 1990
- ANDRIULO, A.E.; GALANTINI, J.A.; PECORATI, C.; TORIONI, E. Materia organica del suelo en la región pampeana. I. Un método de fraccionamiento por tamizado. *Agrochimica*, v.34, p.475-489, 1990.
- ANGHINONI, I. Fertilidade do Solo e seu manejo no sistema plantio direto. In.: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Ed.). *Fertilidade do solo*. 873-928, 2007.
- ARAÚJO, M. S. B.; SCHAEFER, C. E. G. R.; SAMPAIO, E. V. S. B. Frações de fósforo após extrações sucessivas com resina e incubação, em Latossolos e Luvisolos do semi-árido de Pernambuco. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, v. 28, p.259-268, 2004.
- aspectos sobre a biomassa vegetal, fertilidade do solo e emissão de CO₂ para atmosfera.
- ASSIS, C.P. *Matéria orgânica de Latossolos Húmicos: análise térmica e espectroscópica, efeito do uso e correção química*. Universidade Federal de Viçosa. 2008. 88p. Tese (Doutorado).
- BAES, A.U. & BLOOM, P.R. Diffuse reflectance and transmission fourier transform infrared (DRIFT) spectroscopy of humic and fulvic acids. *Soil Science Society American Journal*, v. 53, p. 695-700, 1989.
- BALDOCK, J. A.; PRESTON, C. M. Chemistry of carbon decomposition processes in forests as revealed by solid-state carbon-13 nuclear resonance. In: McFEE, W. W.; KELLY, J. M. (Eds) *Carbon forms and functions in forest soils*. Madison: Soil Science Society of America, 1995.p. 89-117.
- BALL-COELHO, B.; TIESSEN, H.; STEWART, J.W.B.; SALCEDO, I.H.; SAMPAIO, V.S.B. Residue management effects on sugarcane yield and soil properties in Northeastern Brazil. *Agronomy Journal*, v.85, p.1004-1008. 1993.

- BARANCIKOVA, G.; LIPTAJ, T.; PRONAYOVA, N. Phosphorus Fractions in Arable and Mountain Soils and their Humic Acids. *Soil & Water Research*, v. 2, p. 141–148, 2007.
- BARANCIKOVA, G.; SENESI, N.; BRUNETTI, G. Chemical and spectroscopic characterization of humic acids isolated from different Slovak soil types. *Geoderma*, v.78, p.251-266, 1997.
- BARRETO, A. C.; FREIRE, M. B. G. S.; NACIF, P. G. S.; ARAÚJO, Q. R.; FREIRE, F. J.; INÁCIO, E. S. B. Fracionamento químico e físico do carbono orgânico total em um solo de mata submetido a diferentes usos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, p. 1471-1478, 2008.
- BARROW, N. J. The four laws of soil chemistry: the Leeper lecture 1998. *Australian Journal of Soil Science*, v 37, p. 787-829, 1999.
- BASSIRI, A.; NAHAPETIAN, A. Differences in concentrations and interrelationships of phytate, phosphorus, magnesium, calcium, zinc, and iron in wheat varieties grown under dryland and irrigated conditions. *Journal of Agricultural & Food Chemistry*, v. 25, p. 1118–1122, 1977.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O. (Ed.). *Matéria orgânica do solo: fundamentos e caracterização*. Porto Alegre: Gênese. p.9-26, 1999.
- 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 Soil*, v. 238, p.133-140, 2002.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J. MARTIN-NETO, PAVINATO, A. Armazenamento de carbono em frações lábeis da material orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. v. 39, p.677-683, 2004.
- BECK, M.A. & SANCHES, P.A. Soil phosphorus fraction dynamics during 18 years of cultivation on a Typic Paleudult. *Soil Science Society and American Journal*, v. 58, p.1424-143, 1994.
- BENITES, V. M.; MADARI, B. & MACHADO, P. L. O. A. Extração e fracionamento quantitativo de substâncias húmicas do solo: um procedimento simplificado de baixo custo. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2003. 7p. (Embrapa solos. Comunicado Técnico, 16).
- BENITES, V. M.; SÁ, E.; SCHAEFER, C. E.; NOVOTNY, E. H.; REIS, E.; K. E. R, J. K. Properties of black soil humic acids from high altitude rock complexes in Brazil. *Geoderma*, v. 127, p. 104-113, 2005.
- Bioscience Journal*, v. 25, p. 83-89, 2009.
- BLAIR, G. J.; LEFROY, R. D. B.; LISLE, L. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and the development of a carbon management index for agricultural systems. *Australian Journal of Agricultural Research*, v. 46, p.1459- 1460, 1995.
- 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 Tillage Research*, v. 55, p.183-191, 2000.
- BLANCANEUX, P. H.; FREITAS, P.L. de; AMABILE, R.F.; CARVALHO, A.M. de. Le semis direct comme pratique de conservation des sols des Cerrados du Brésil Central. *Cahier ORSTOM: Série Pédologie*, Paris, v.28, n.2, p.245-267, 1993.
- BÖHM, W. *Methods of studying root system*. Berlin, Springer-Verlag, 188p, 1979.

- BORLAUG, N.E. Feeding a world of 10 billion people: the miracle ahead. In: R. Bailey (ed.). Global warming and other eco-myths. Competitive Enterprise Institute, Roseville, EUA. p. 29-60, 2002.
- BOWMAN, R.A. A sequential extraction procedure with concentrated sulfuric acid and diluted base for soil organic phosphorus. *Soil Science Society and American Journal*, v. 53, p. 326-366, 1989.
- BRITO, F. L.; ROLIM, M. M.; SILVA, J. A. A.; PEDROSA, E. M. R. Qualidade do percolado de solos que receberam vinhaça em diferentes doses e tempo de incubação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 11, p. 318-323, 2007.
- BROOKES, P.C. The use of microbial parameters in monitoring soil pollution by heavy metals. *Biology and Fertility of Soils*, v.19, p. 269-279, 1995.
- BROOKES, P.C.; POWLSON, D.S.; JENKINSON, D.S. Phosphorus in the soil microbial biomass. *Soil Biology and Biochemistry*, v.16, p.169-175, 1984.
- BUSATO, J. G.; CANELLAS, L. P.; VELLOSO, A. C. X. Fósforo num Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar por longo tempo: I - Fracionamento sequencial. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 29, p. 935- 944, 2005.
- BUSTAMANTE, M. M. C.; MARTINELLI, L. A.; SILVA, D. A.; CAMARGO, P. B.; KLINK, C. A.; DOMINGUES, T. F.; SANTOS, R. V. 15N natural abundance in woody plants and soils of central brazilian savannas (Cerrado). *Ecological Applications*, v.14, p.S200-S213, 2004.
- CADE-MENUN, B.J. Characterizing phosphorus in environmental and agricultural samples by ³¹P nuclear magnetic resonance spectroscopy. *Talanta*, v. 66, p. 359-371, 2005.
- CALASANS, C.V.C. Origem e dinâmica da matéria orgânica em um sistema fluvio-lacustre da região Norte Fluminense. Campos dos Goytacazes, Universidade Estadual do Norte Fluminense, 1998. 100p. Tese (Doutorado).
- CAMARGO, F.A.C.; GIANELLO, C.; TEDESCO, M.J. & VIDOR, C. Nitrogênio orgânico do solo. In: SANTOS, G.A. & CAMARGO, F.A.O., eds. Fundamentos da matéria orgânica do solo. Porto Alegre, Genesis, p.117-137, 1999.
- CAMBARDELLA, C. A.; ELLIOTT, E. T. Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. *Soil Science Society of America Journal*, v. 56, p. 777-783, 1992.
- CANASAT. Disponível em: <www.dsr.inpe.br/laf/canasat>. Acesso em: 12 dez. 2012.
- CANELLAS, L. P.; BALDOTTO, M. A.; BUSATO, J. G.; MARCIANO, C.R.; MENEZES, S.C. SILVA, N. M.; RUMJANEK, V. M.; VELLOSO, A. C. X.; SIMÕES, M. L.; MARTINETO, L. Estoque e qualidade da matéria orgânica de um solo cultivado com cana-de-açúcar por longo tempo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 31, p.331-340, 2007.
- CANELLAS, L.C. & SANTOS, G.A. Humosfera: Tratado preliminar sobre a química das substâncias húmicas. Campos dos Goytacazes, 2005. 309p.
- CANELLAS, L.P.; BUSATO, J.G.; DOBBSS, L.B.; BALDOTTO, A.; RUMJANEK, V.M.; OLIVARES, F.L. Soil organic matter and nutrient pools under long-term non-burning management of sugar cane. *European Journal of Soil Science*, v.61, p.375-233, 2010.
- 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 palhicho e adição de vinhaça por longo tempo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 27, p. 935-944, 2003.

CARDOSO, I. M.; VAN DER MEER, PIETER.; OENEMA, OENE.; JANSSEN, B.H.; KUYPER, T. W. Analysis of phosphorus by ^{31}P NMR in Oxisols under agroforestry and conventional coffee systems in Brazil. *Geoderma*, v. 112, p. 51–70, 2003.

CARNEIRO, L.A.; ARAÚJO, R.F.G.; BRITO, G.J.M.; FONSECA, M.H.P.B.; COSTA, A.; CROCOMO, O.J.; MANSUR, E. In vitro regeneration from leaf explants of *Neoregelia cruenta* (R. Graham) L.B. Smith, an endemic bromeliad from eastern Brazil. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, v. 55, p. 79-83. 1999.

CARTER, M. R. Organic matter and sustainability. In: REES, R. M.; BALL, B. C.; CAMPBELL, C. D.; WATSON, C. A. (Ed.). *Sustainable management of soil organic matter*. New York: CABI Publishing, p. 9-22, 2001.

CARVALHO, J. L. N.; RAUCCI, G. S.; CERRI, C. E. P.; BERNOUX, M.; FEIGL, B. J.; WRUCK, F.J.; CERRI, C. C. Impact of pasture, agriculture and crop-livestock systems on soil C stocks in Brazil. *Soil Tillage Research*, v.110, p.175-186, 2010.

CERETTA, C. A.; BAYER, C.; DICK, D. P., MARTINS-NETO, L., COLNAGO, L. A. Métodos espectroscópicos. In: SANTOS, G. de A.; CAMARGO, F. A. O. (Eds) *Fundamentos da matéria orgânica: ecossistemas tropicais e subtropicais*. Porto Alegre: Gênese, p. 201-228. 2008.

CERRI, C. C.; BERNOUX, Martial; MAIA, S.M.F. ; CERRI, C. E. P. ; COSTA JUNIOR, C. ; FEIGL, B. J. ; FRAZÃO, L.A. ; MELLO, F. ; GALDOS, M. V. ; MOREIRA, C.S. ; CARVALHO, J.L.N. . Greenhouse gas mitigation options in Brazil for land-use change, livestock and agriculture. *Scientia Agrícola*, v. 67, p. 102-116, 2010.

CERRI, C. C.; FELLER, C.; CHAUVEL, A. Evolução das principais propriedades de um latossolo vermelho escuro após desmatamento e cultivo por doze e cinquenta anos com cana-de-açúcar. *Cahiers Orstom, série Pédologie*, v.26, p.37-50, 1991.

CERRI, C. C.; GALDOS, M. V.; MAIA, S.M.F.; BERNOUX, Martial ; FEIGL, B. J. ; POWLSON, D ; CERRI, C. E. P. Effect of sugarcane harvesting systems on soil carbon stocks in Brazil: an examination of existing data. *European Journal of Soil Science*, v. 62, p. 23-28, 2011.

CHAN, K.Y.; HEENAN, D.P.; OATES, A. Soil carbon fractions and relationship to soil quality under different tillage and stubble management. *Soil Tillage Research*, v. 63, p. 133-139, 2002.

CHENG, B.T. Soil organic matter as a plant nutrient. In: *Symposium on soil organic matter studies*. Soil organic matter studies. Austria: IEA, p. 31-39. 1997.

CHRISTENSEN, B. T. Organic matter in soil: structure, function and turnover. Tjele: DIAS. (DIAS Report. Plant Production, 30). 95 p, 2000.

CHRISTENSEN, B. T. Structure and organic matter storage in agricultural soils. In: CARTER, M. R.; STEWART, B. A. (Ed.). *Structure and organic matter storage in agricultural soils*. Boca Raton: CRC Press, p. 97- 165, 1996. (Advances in Soil Science).

CIOTTA, M.N.; BAYER, C.; ERNANI, P.R.; FONTOURA, S.M.V.; ALBUQUERQUE, J.A. & WOBETO, C. Acidificação de um Latossolo sob plantio direto. *Revista Brasileira Ciência do Solo*, v. 26, p.1055-1064, 2002.

- COLLINS, H.P.; PAUL, E.A.; PAUSTIAN, K. & ELLIOTT, E.T. Characterization of soil organic carbon relative to its stability and turnover. In: Soil organic matter in temperate agroecosystems - long-term experiments in North America. Boca Raton, CRC Press, p.51-72, 1997.
- CORREIA, L.B.; ALLEONI, L.R.F. Conteúdo de carbono e atributos químicos de Latossolo sob cana-de-açúcar colhida com e sem queima. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 46, p. 944-952, 2011.
- COSTA JUNIOR, C.; PICOLLO, M. C.; CAMARGO, P.B.; BERNOUX, M. M. Y.; SIQUEIRA NETO, M.. Nitrogênio e Abundância Natural de ^{15}N Em Agregados do Solo no Bioma Cerrado. Ensaios e Ciência Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde, v. 15, p 47-66, 2011.
- COUTINHO, L.M. O Cerrado e a ecologia do fogo. Ciência Hoje, Brasília, v.12, p.22-30, 1990
- CRESPO, M.P. Impacto do fogo na matéria orgânica do solo – Caracterização estrutural. Universidade de Aveiro. 2011. 77p. Tese (Doutorado).
- CUNHA, G.M.; GAMA-RODRIGUES, A.C.; COSTA, G.S.; VELLOSO, A.C.X. Fósforo orgânico em solos sob florestas montanas, pastagens e eucalipto no norte fluminense. Revista Brasileira de Ciências do Solo, v. 31, p. 667-671, 2007.
- CUNHA, T.J.F. Ácidos húmicos de solos escuros da Amazônia: Terra Preta de Índio. – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 118p. 2005. (Tese de Doutorado)
- CZYCZA, R.V. Quantidade e qualidade da matéria orgânica do solo em sistemas de colheita com e sem queima da cana-de-açúcar. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba 2009. 92 p. (Dissertação Mestrado).
- DALAL, R.C. Soil organic phosphorus. Advances in Agronomy, v. 29, p. 83–113, 1977.
- DE BONA, F.D. Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas irrigados por aspersão sob plantio direto e preparo convencional. Universidade Federal do Rio Grande do Sul 2005. 154f. Dissertação (Mestrado).
- DEBANO, L.F.; NEARY, D.G.; FOLLIOTT, P.F. Fire’s Effects on Ecosystems. New York: John Wiley & Sons, Inc. 333 p. 1998.
- DIAS, B. O.; SILVA, C. A.; MERCÊS, M. B. S; BETTIOL, W.; GUERREIRO, M. C.; BELIZÁRIO, M. H. Infravermelho na caracterização de ácidos húmicos de Latossolo sob efeito de uso contínuo de lodo de esgoto. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 33, p. 885-894, 2009.
- DICK D.P.; BARROS, L.S.; INDA JUNIOR, A.V. & KNICKER, H. Estudo comparativo da matéria orgânica de diferentes classes de solos de altitude do sul do Brasil por técnicas convencionais e espectroscópicas. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 32, p. 2289-2296, 2008
- DICK, W.A.; TABATABAI, M. A. Kinetic parameters of phosphatase in soils and organic waste materials. Soil Science, v. 137, p. 7-15, 1984.
- DIEKOW, J. Estoque e qualidade da matéria orgânica do solo em função de sistemas de culturas e adubação nitrogenada no sistema plantio direto. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 164 f. 2003. Tese (Doutorado).
- DOBBSS, L.B.; RUMJANECK, V.M.; BALDOTTO, M.A.; 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 de Ciência do Solo*, v. 33, p. 51-63, 2009.

DOLETTE, A. L.; SMERNIK, R. J.; DOUGHERTY, W. J. Rapid decomposition of phytate applied to a calcareous soil demonstrated by a solution ^{31}P NMR study. *European Journal of Soil Science*, v. 61, p. 563–575. 2010.

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*, v. 36, p. 350-356, 2002.

DORAN, J.W.; PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F. & STEWART, B.A. eds. *Defining soil quality for a sustainable environment*. Madison, Soil Science Society of America. p.3-22. 1994. (Publication Number, 35).

DORAN, J.W.; ZEISS, M.R. Soil health and sustainability; Managing the biotic component of soil quality. *Applied Soil Ecology*, v. 15, p. 3-11, 2000.

DUDA, G.P. Conteúdo de fósforo microbiano, orgânico e biodisponível em diferentes classes de solos. Itaguaí, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2000. 158p. Tese (Doutorado).

EIVAZI, F.; TABATABAI, M.A. Phosphatases in soils. *Soil Biology and Biochemistry*, v.9, p.167-172, 1977.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2. ed. Rio de Janeiro, 212 p, 1997. (EMBRAPA-CNPS. Documentos, 1).

EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2ª Edição. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2006. 306p.

FARES, FL.; FARDEAU, J. C.; JACQUIN, F. Quantitative survey of organic phosphorus in different soil types. *Phosphorus in Agriculture*, v. 28, p.25-40, 1974.

FELLER, C.; BEARE, M.H. Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics. *Geoderma*, v.79, p.69-116, 1997.

FERNANDES, A. F.; CERRI, C.C.; FERNANDES, A.H.B.M. Alterações na matéria orgânica de um Podzol hidromórfico pelo uso com pastagens cultivadas no Pantanal Mato-Grossense. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 34, 1943-1951. 1999.

FERNANDES, L. A.; FAQUIN, V.; FURTINI, A.E. & CURI, N. Formas de fósforo em solos de várzea e biodisponibilidade para o feijoeiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 37, p.373-383, 2002.

FERNÁNDEZ R. I. E.; NOVAIS, R. F.; NUNES, F. N.; KER, J. C. Reversibilidade de fósforo não-lábil em solos submetidos à redução microbiana e química. II - extrações sucessivas do fósforo pela resina de troca aniônica. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, p.2319-2330, 2008.

FERREIRA, E. A. B.; RESCK, D. V. S.; GOMES, A. C & RAMOS, M. L. G. Dinâmica do carbono da biomassa microbiana em cinco épocas do ano em diferentes sistemas de manejo do solo no Cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 31, n.6, p. 1625-1635, 2007.

FIGUEIREDO, E. B.; SCALA JUNIOR, N. Greenhouse gas balance due to the conversion of sugarcane areas from burned to green harvest in Brazil. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 141, p. 77-85, 2011.

- FONTANA, A.; BRITO, R. J.; PEREIRA, M. G. ; LOSS, A.; BENITES, V. M. Caracterização de substâncias húmicas da camada superficial do solo sob diferentes coberturas vegetais. *Magistra*, v. 22, p. 49-56, 2010.
- FONTANA, A.; PEREIRA, M. G.; LOSS, A.; CUNHA, T. J. F.; SALTON, J. C. Atributos de fertilidade e frações húmicas de um Latossolo Vermelho no Cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.41, p.847-853. 2006.
- FRANCHINI, J.C.; CRISPINO, C.C.; SOUZA, R.A.; TORRES, E.; HUNGRIA, M. Microbiological parameters as indicators of soil quality under various soil management and crop rotation systems in southern Brazil. *Soil Tillage Research*, v. 92, p.18-29, 2007.
- FREIRE, W. J. & CORTEZ, I. A. B. Vinhaça de cana-de-açúcar. *Série engenharia agrícola. Livraria e editora Agropecuária*, v.1, 2000, 203 p.
- FREITAS, P. L.; BLANCANEAUX, P. H.; GAVINELLI, E.; LARRÉ-LARROUY, M. C.; FELLER, C. Nível e natureza do estoque orgânico de Latossolos sob diferentes sistemas de uso e manejo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 35, p. 157-170. 2000.
- FREIXO, A. A. Caracterização da matéria orgânica de Latossolos sob diferentes sistemas de cultivo através de fracionamento físico e espectrografia de infravermelho. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2000. 86f. Tese (Mestrado).
- FREIXO, A. A.; CANELLA, L.P. & MACHADO, P.L.O.A. Propriedades espectrais da matéria orgânica leve-livre e leve-intra-agregado de dois Latossolos sob plantio direto e preparo convencional. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 26, p.445-453, 2002.
- GALDOS, M. V.; CERRI, C. C.; CERRI, C.E.P. . Soil carbon stocks under burned and unburned sugarcane in Brazil. *Geoderma*, v. 153, p. 347-352, 2009.
- GALDOS, V. M. Dinâmica do carbono do solo no agrossistema cana-de-açúcar. Universidade de São Paulo- Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2007, 101p. (Tese de Doutorado).
- GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J.; RHEINHEIMER, D. S.; FLORES, J. P. C. Biodisponibilidade de formas de fósforo acumuladas em solo sob sistema plantio direto. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, v. 31, p. 691-699, 2007.
- GATIBONI, L. C.; RHEINHEIMER, D. S.; FLORES, A. F. C.; ANGHINONI, I.; KAMINSKI, J.; LIMA, M. A. S. Phosphorus forms and availability assessed by ³¹P-NMR in successively cropped soil *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v.36, p.2625-2640, 2005.
- GATIBONI, L.C. Disponibilidade de formas de fósforo do solo às plantas. - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2003. 231p. Tese (Doutorado)
- GIOVANELA, M., CRESPO, J.S., ANTUNES, M., ADAMATTI, D.S, FERNANDES, A.N., BARISON, A., SILVA, C.W.P., GUÉGAN. R., MOTELICA-HEINO, M., SIERRA, M.M.D., Chemical and spectroscopic characterization of humic acids extracted from the bottom sediments of a Brazilian subtropical microbasin. *Journal of Molecular Structure*, v.981, p.111-119, 2010.
- GLÓRIA, N. A.; ORLANDO FILHO, J. Aplicação de vinhaça como fertilizante. São Paulo: Coopersucar, 1983. 38p.
- GONZÁLEZ-PÉREZ, J.A.; GONZÁLEZ-VILA, F.J.; ALMENDROS, G.; KNICKER, H. The effect of fire on soil organic matter – a review. *Environmental International*, v. 30, p. 855-870, 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*, v. 53, p. 589-598, 2002.

GRANGED, A. J. P.; ZAVALA, L. M.; JORDÁN, A.; BÁRCENAS-NORENO, G. Post-fire evolution of soil properties and vegetation cover in a Mediterranean heathland after experimental burning: A 3-year study. *Geoderma*, v. 164, p.85-94. 2011.

granulométricas e substâncias húmicas de um Latossolo Vermelho Amarelo distrófico- LVAd sob diferentes agrossistemas. *Acta Amazonica*, v. 39, p. 655- 660, 2009.

GREGORICH, E. G.; CARTER, M. R.; ANGERS, D. A.; MONREAL, C. M.; ELLERT, B.H. Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soils. *Canadian Journal of Soil Science*, v. 74, p. 367-375, 1994.

GREGORICH, E.G.; BEARE, M.H.; MCKIM, U.F.; SKJEMSTAD, J.O. Chemical and biological characteristics of physically uncomplexed organic matter. *Soil Science Society of America Journal*, v.70, p.975-985, 2006.

GRESSEL, N.; McCOLL, J. G. Phosphorus mineralization and organic matter decomposition: A critical review. In: CADISCH, G. & GILLER, K.E., eds. *Driven by nature: Plant litter quality and decomposition*. Wallingford, CAB International, 1997. p. 297-309.

GUERRA, J. G. M. Produção sazonal de *Brachiaria decumbens* Stapf., conteúdo de fósforo orgânico e microbiano em solos tropicais de baixa fertilidade natural. Universidade Federal do Rio de Janeiro. .234f. 1993. Tese (Doutorado)

GUERRA, J. G. M.; ALMEIDA, D. L.; SANTOS, G. A.; FERNANDES, M. S. Conteúdo de fósforo orgânico em amostras de solos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 31, p. 291-299, 1996.

GUERRA, J. G. M.; FONSECA, M. C.; ALMEIDA, D. .L.; DE-POLLI, H.; FERNANDES, M. S. Conteúdo de fósforo da biomassa microbiana de um solo cultivado com *Brachiaria decumbens*. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 30, p.543-551, 1995.

GUGGENBERGER, G.; CHRISTENSEN, B. T.; RUBAEK, G. Landuse and fertilization effects on P forms in two European soils: resin extraction and ³¹P-RMN analysis. *European Journal of Soil Science*, v 47, p. 605-614, 1996b.

GUGGENBERGER, G.; HAUMAIER, L.; THOMAS, R. J. Assessing the organic phosphorus status of an oxisol under tropical pastures following native savanna using ³¹P NMR spectroscopy. *Biology and Fertility of Soils*, v. 23 p. 332-339, 1996a.

ISLAM, K. R.; WEIL, R. R. Soil quality indicator properties in mid-atlantic soils as influenced by conservation management. *Journal Soil Water Conservation*, v. 55, p. 69-78, 2000.

ISPN www.ispn.org.br/LevantamentoSite.pdf (acessado em 04/04/09).

IVANOFF, D. B.; REDDY, K. R.; ROBINSON, S. Chemical fractionation of organic phosphorus in selected histosols. *Soil Science*, v.163, p. 36-45, 1998.

IYAMUREMYE, F.; DICK, R. P.; BAHAM, J. Organic amendments and phosphorus dynamics: I. phosphorus chemistry and sorption. *Soil Science*, Baltimore, v 161, p. 426-435, 1996.

JACQUES, A. V. A. A queima das pastagens naturais – efeitos sobre o solo e a vegetação. *Revista Ciência Rural*, v. 33, p.177-181. 2003.

- JACQUES, A. V. A. Relatório do “dia de campo” do CITE nº 100 (Morro da Vigia). Sítio do Pinheirinho, RST 470 Km 150, André da Rocha, RS. 05/07/97. 1997.
- JACQUES, A. V. A. Sítio do Pinheirinho: uma pequena experiência de 37 anos. RST 470 Km 150, André da Rocha, RS. 2002. 9p. (Relatório).
- JANTALIA, C. P.; RESCK, D. V. S.; ALVES, B.J.R.; ZOTARELLI, L.; URQUIAGA, S. BODDEY, R. M. Tillage effect on C stocks of a clayey oxisol under a soybean-based crop rotation in the Brazilian Cerrado. *Soil Tillage Research*, v.95, p.97-109, 2007.
- JANZEN, H. H.; CAMPBELL, C. A.; BRANDT, S. A.; LAFOND, G. P.; TOWNLEY-SMITH, L. Light-fraction organic matter in soils from longterm crop rotations. *Soil Science Society of America Journal*, v.56, p.1799-1806, 1992.
- JORDÃO, C. P.; COSTA, E. D.; BRUNE, W.; GOURLART, A. T.; *Química Nova*, v. 16, p. 517- 520, 1993.
- KAUFFMAN, J. B.; CUMMINGS, D. L.; WARD, D. E. Relationships of fire, biomass and nutritional dynamics along vegetation gradient in the Brazilian Cerrado. *Journal of Ecology*, v.82, p.519-531, 1994.
- KAVDIR, Y., EKINCI, H., YUKSEL, O., MERMUT, A. R. Soil aggregate stability and ¹³C CP/MAS-NMR assessment of organic matter in soils influenced by forest wildfires in Çanakkale, Turkey. *Geoderma*, v. 129, p.219-229. 2005.
- KNICKER, H. How does fire affect the nature and stability of soil organic nitrogen and carbon? A review. *Biogeochemistry*, v.85, p.91-118, 2007.
- KNICKER, H.; GONZÁLEZ-VILA, F. J.; POLVILLO, O.; GONZÁLEZ, J. A.; ALMENDROS, G. Wildfire induced alterations of the chemical composition of humic material in a Dystric Xerochrept under a Mediterranean pine forest (*Pinus pinaster Aiton*). *Soil Biology and Biochemistry*, v. 37, p. 701-718, 2005.
- KONONOVA, M. M. *Materia orgánica del suelo: su naturaleza, propiedades y métodos de investigación*. Barcelona, Oikos-tau, Espanha. 364p. 1982.
- KONONOVA, M. M. *Soil organic matter. Its nature, its role in soil formation and in soil fertility*. Pergamon, Oxford, 2nd English edition 544 p. 1966.
- LEINWEBER, P., FRÜND, R., REUTER, G. A ¹³C-NMR study on the formation of soil organic matter from grass residues. *Zeitschrift Pflanzenernähr Bodenk*, v.156, p. 415-420, 1993.
- LEITE, L. F. C; MENDONÇA, E. S., MACHADO, P. L. O. A., MATOS, E. S. Total C and N storage and organic C pools of a Red-Yellow Podzolic under conventional and no tillage at the Atlantic Forest Zone, Southeastern Brazil. *Australian Journal Soil Research*, v.41, p.717-730, 2003.
- LOARIE, S. R., D. B. LOBELL, G. P. ASNER, AND C. B. FIELD. Land-Cover and Surface Water Change Drive Large Albedo Increases in South America. *Earth Interactions*, v. 15, p. 1-16. 2011.
- LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C.; GIACOMO, S. G.; PERIN, A. Agregação, carbono e nitrogênio em agregados do solo sob plantio direto com integração lavoura-pecuária. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.46, p. 565-579, 2011.
- LUCA, E.F.; FELLER, C.; CERRI, C.C.; BARTHES, B.; CHAPLOT, V.; DINAILSON CORREA CAMPOS, D. C.; MANECHINI, C. Avaliação de atributos físicos e estoques de

carbono e nitrogênio em solos com queima e sem queima de canavial. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, p.789-800, 2008.

LUNG, S. C.; LIM, B .L. Assimilation of phytate-phosphorus by the extracellular phytase activity of tobacco (*Nicotiana tabacum*) is affected by the availability of soluble phytate. *Plant & Soil*, v. 279, p. 187–199, 2006.

MAIA, S. M. F.; OGLE, S. M.; CERRI, C. E. P.; CERRI, C. C. Effect of grassland management on soil carbon sequestration in Rondônia and Mato Grosso states, Brazil. *Geoderma*, v.149, p.84-91, 2009.

MAKAROV, M. I. Organic phosphorus compounds in Alpine Soils is the Northwestern Caucasus. *Eurasian Soil Science*, v. 31, p.778-786, 1998.

MAKAROV, M. I.; GUGGENBERGER, G.; ALT, H. G. & ZECH, W. Phosphorus status of Eutric Cambisols polluted by P-containing immissions: Results of ^{31}P NMR spectroscopy and chemical analysis. *Zeitschrift Pflanzernähr Boden*, v. 158, p. 293-298, 1995.

MAKAROV, M.I.; HAUMAIER, L. & ZECH, W. Nature of soil organic phosphorus: An assessment of peak assignments in the diester region of ^{31}P spectra. *Soil Biology & Biochemistry*, v. 34, p.1467-1477, 2002.

MARQUES, T. A.; SASSO, C. G.; SATO, A. M.; SOUZA, G. M. Queima do canavial: aspectos sobre a biomassa vegetal, fertilidade do solo e emissão de CO_2 para atmosfera. *Bioscience Journal*, v. 25, n. 1, p. 83-89, 2009.

MARTINS, E. L.; CORINGA, J. E. S.; WEBER, O. L. S. Carbono orgânico nas frações granulométricas e substâncias húmicas de um Latossolo Vermelho Amarelo distrófico- LVAd sob diferentes agrossistemas. *Acta Amazonica*, v. 39, n. 2, p. 655- 660, 2009.

MATHERS, N. J.; MAO, X. A.; SAFFIGNA, P. G.; XU, Z. H.; BERNERS-PRICE, S. J.; PERERA, M. C. S. Recent advances in the application of ^{13}C and ^{15}N NMR spectroscopy to soil organic matter studies. *Australian Journal of Soil Research*, Collingwood, v. 38, p. 769-787, 2000.

MATSUI, E. Utilização de isótopos estáveis em pesquisas. *Jornal Brasileiro de Ciência*, v.1, p.73-76, 1981.

MCDOWELL R.W.; STEWART I. The phosphorus composition of contrasting soils in pastoral, native and forest management in Otago, New Zealand: Sequential extraction and ^{31}P NMR. *Geoderma*, v. 130, p. 176–189, 2006.

MEDEIROS, S. C. L.; RIBEIRO, S. R.; CONEGLIAN, C. M. R.; BARROS, R. M.; BRITO, N. N.; DRAGONI SOBRINHO, G.; TONSO, S.; PELEGRINI, R. Impactos da agroindústria canavieira sobre o meio ambiente. In: Fórum de Estudos Contábeis, 3, 2003, Rio Claro, Anais... Rio Claro: Universidade de Campinas - UNICAMP, 2003. CD Rom.

MEHRA, O. P.; JACKSON, M. L. Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. *Clays Clay Miner*, v. 7, p. 317-327. 1960.

MENDONÇA, A., DUARTE, A.C., SANTOS, E.B.H., Spectroscopic properties of sedimentary humic acids from a salt marsh (Ria de Aveiro, Portugal): comparison of sediments colonized by *Halimione portulacoides* (L.) Aellen and non-vegetated sediments. *Biogeochemistry*, v. 69, p.159-174. 2004.

MENDONÇA, L. A. R.; FRISCHKORN, H.; SANTIAGO, M. M. F; CAMARGO, P. B.; LIMA, J. O. G.; MENDES FILHO, J. Identificação de mudanças florestais por ^{13}C e ^{15}N dos

solos da Chapada do Araripe/Ceará. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 14, p. 314-319, 2010.

MENDOZA, H. N. S. Efeitos de sistemas de colheita dos canaviais sobre propriedades químicas e biológicas em solo de tabuleiro no Espírito Santo. Seropédica: UFRRJ, 1996. 112p. Dissertação (Mestrado).

MIELNICZUK, J. Importância do estudo de raízes no desenvolvimento de sistemas agrícolas sustentáveis. In: *WORKSHOP SOBRE SISTEMA RADICULAR: metodologias e estudo de caso*, 1999, Aracaju, SE. Anais. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, p.13-17, 1999.

MIELNICZUK, J. Matéria orgânica e sustentabilidade de sistemas agrícolas. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (Org.). *Fundamentos da matéria orgânica do solo - ecossistemas tropicais e subtropicais*. 2ª ed. Porto Alegre, 2008, p. 1-5.

MOLINA, R. M. A torta de filtro e o bagaço no comportamento da biota, propriedades físicas e produtividade de um solo cultivado em cana-de-açúcar. Seropédica: UFRRJ, 1995. 96p. Tese (Doutorado).

MOORE, J.; KLOSE, S.; TABATABAI, M. A. Soil microbial biomass carbon and nitrogen as affected by cropping systems. *Biology and Fertility of Soils*, v. 31, p. 200-210, 2000.

MOTA, F. O. B. Mineralogia de solos da região semi-árida do estado do Ceará. Universidade de São Paulo, São Paulo. 1997. 205 f. Tese (Doutorado).

MUNNER, M.; OADES, J. M. The role of Ca-organic interactions in soil aggregate stability. III. Mechanisms and models. *Australian Journal of Soil Research*, v.29, p.411-423, 1989.

NAHAS, E. Microrganismos do solo produtores de fosfatases em diferentes sistemas agrícolas. *Revista Solos e Irrigação*, v 61, p. 267-275, 2002.

NICOLOSO, R. S. Dinâmica da matéria orgânica do solo em áreas de integração lavoura-pecuária sob sistema plantio direto. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2005. 149p. Tese (Mestrado)

NIEMEYER, J.; CHEN, Y.; BOLLAG, J.M. Characterization of humic acids, composts, and peat by diffuse reflectance fourier transform infrared spectroscopy. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.56, p.135-140, 1992.

NOBLE, A. D.; MOODY, P.; BERTHELSEN, S. Influence of changed management of sugarcane on some soil chemical properties in the humid wet tropics of north Queensland. *Australian Journal Soil Research*, v. 41, p.1133-1144, 2003.

NOGUEIRA, R. S.; OLIVEIRA, T. S.; SÁ MENDONÇA, E.; FILHO ARAÚJO, J.A. Formas de fósforo em Luvissolo Crômico Órtico sob sistemas agroflorestais no município de Sobral-CE. *Revista Ciência Agronômica*, v. 39, p. 494-502, 2008.

NOVAIS, R. F.& SMYTH, T. J. Fósforo em solo e planta em condições tropicais. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 1999. 399p.

OADES, J. M.; GILLMAN, G. P.; UEHARA, G. Interaction of soil organic matter and variable charge clays. In: *DYNAMICS of soil organic matter in tropical ecosystems*. Honolulu: University of Hawaii, Cap.3, p.69-95, 1989.

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

- ORLANDO FILHO, J.; ROSSETO, R.; MURAOKA, T.; ZOTELLI, H. B. Efeitos do sistema de despalha (cana crua x cana queimada) sobre algumas propriedades do solo. STAB-Açúcar, Álcool Subpr., v. 16, p.30-34, 1998.
- PAULINO, J.; ZOLIN, C. A.; BERTONHA, A.; FREITAS, P. S. L.; FOLEGATTI, M. V. Estudo exploratório do uso da vinhaça ao longo do tempo. II. Características da cana-de-açúcar. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 15, p. 244-249, 2011.
- PEREIRA, M. G.; LOSS, A.; BEUTLER, S. J.; TORRES, J. L. R. Carbono, matéria orgânica leve e fósforo remanescente em áreas de Cerrado sob plantio direto, MG. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.45, p.1-6, 2010.
- PÉREZ, M. G.; 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, ¹³C NMR, FTIR and fluorescence spectroscopy, Geoderma, v. 118, p.181-190, 2004.
- PICCOLO, A. Humus and soil conservation. In: PICCOLO, A. (Ed.). Humic substances in in Terrestrial Ecosystems. Elsevier, p. 625-664.
- PILLON, C. N. Alteração no conteúdo e qualidade da matéria orgânica do solo induzidas por sistemas de culturas em plantio direto. Universidade Federal do Rio Grande do Sul- Porto Alegre, 2000. 232 f. Tese (Doutorado).
- PINHEIRO, E. F. M.; LIMA, E.; CEDDIA, M. B.; URQUIAGA, S.; ; ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M. . Impact of pre-harvest burning versus trash conservation on soil carbon and nitrogen stocks on a sugarcane plantation in the Brazilian Atlantic forest region. Plant and Soil, v. 333, p. 71-80, 2010.
- PRESTON, C. M. Applications of NMR to soil organic matter analysis: History and prospects. Soil Science, v. 161, p.144-166, 1996.
- PRIMO, D. C.; MENEZES, R. S. C.; DA SILVA, T. O. Substâncias húmicas da matéria orgânica do solo: uma revisão de técnicas analíticas e estudos no nordeste brasileiro. Scientia Plena v. 7, p. 1-13. 2011.
- QUEIROZ, F. A. de. Impactos da sojicultura de exportação sobre a biodiversidade do Cerrado. Sociedade & Natureza, v. 21 p. 193-209, 2009.
- REDDY, D. D.; SUBBA RAO, A.; RUPA, T.R. Effects of continuous use of cattle manure and fertilizer phosphorus on crop yields and soil organic phosphorus in a Vertisol. Bioresource Technology, v. 75, p.113-118, 2000.
- REDDY, N. R., PIERSON, M. D., SATHE, S. K.; SALUNKHE, D. K. Phytates in Cereals and Legumes. CRC Press, Boca Raton, FL. 1989. 152p.
- REDIN, M.; SANTOS, G. F.; MIGUEL, P.; DENEGA, G. L.; LUPATINI, M. ; DONEDA, A.; SOUZA, E. L. Impactos da queima sobre atributos químicos, físicos e biológicos do solo. Ciência Florestal, v. 21, p. 381-392, 2011.
- RESCK, D. V. S.; FERREIRA, E. A. B.; FIGUEIREDO, C. C.; ZINN, Y. L. Dinâmica da matéria orgânica no Cerrado. In: SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P.; CAMARGO, F.O., eds. Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais. 2.ed. Porto Alegre, p.359-417. 2008.
- RHAGHOTHAMA, K. G. Phosphate acquisition. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology, v. 50, p. 665-693, 1999.
- RHEINHEIMER, D. S. ANGHINONI, I.; CONTE, E. Fósforo da biomassa microbiana em

solos sob diferentes sistemas de manejo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 24, p.589-597, 2000.

RHEINHEIMER, D. S.; ANGHINONI, I. Distribuição do fósforo inorgânico em sistemas de manejo de solo. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 36, p.151-160, 2001.

RHEINHEIMER, D. S.; ANGHINONI, I.; CONTE, E. Sorção de fósforo em função do teor inicial e de sistemas de manejo de solos. Revista Brasileira de Ciências do Solo, v. 27, p. 41-49, 2003.

RHEINHEIMER, D. S.; ANGHINONI, I.; FLORES, A. F. Organic and inorganic phosphorus as characterized by phosphorus-31 nuclear magnetic resonance in subtropical soils under management systems. Communications in Soil Science and Plant Analysis, v. 33, p. 1853-1871, 2002.

ROSCOE, R.; BUURMAN, P.; VELTHORST, E. J.; PEREIRA, J. A. A. Effects of fire on soil organic matter in a Cerrado "sensu-stricto" from Southeast Brazil as revealed by changes in $d^{13}C$. Geoderma, v.95, p.141-160, 2000.

ROSSET, J.S. Matéria orgânica e agregação de um Latossolo Vermelho cultivado com cana-de-açúcar em diferentes sistemas de manejo. Universidade Estadual De Mato Grosso Do Sul. Aquidauana-MS, 82f. 2012. Dissertação (Mestrado).

SÁ, J. C. M.; CERRI, C. C.; DICK, W. A.; LAL, R.; VENZKE FILHO, S. P.; PICCOLO, M. C.; FEIGL, B. E. Organic matter dynamics and carbon sequestration rates for a tillage chronosequence in a brazilian oxisol. Soil Science Society American Journal v.65, p.1486-1499, 2001.

SALTON, J. C. Matéria orgânica e agregação do solo na rotação lavoura-pastagem em ambiente tropical. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2005. Tese (Doutorado).

SANO, E. E.; ROSA, R.; BRITO, J. L. S.; FERREIRA, L. G. Mapeamento semidetalhado do uso da terra do Bioma Cerrado. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 43, p. 153-156, 2008.

SANTOS, E. A.; KLIEMANN, H. J. Disponibilidade de fósforo de fosfatos naturais em solos de Cerrado e sua avaliação por extratores químicos. Revista Agropecuária Tropical, v. 35, p.139-146, 2005.

SATÍN, C., GONZÁLEZ-PÉREZ, M., OTERO, X. L., VIDAL-TORRADO, P., MACÍAS, F., ÁLVAREZ, M. A., Characterization of humic substances in salt marsh soils under sea rush (*Juncus maritimus*). Estuarine, Coastal and Shelf Science, v. 79, p. 541-548. 2008.

SCHOLLES, R. J.; BREEMEN, N. The effects of global change on tropical ecosystems. Geoderma, v.79, p. 9-24, 1997.

SELLES, F.; KOCHHANN, R. A.; DENARDIN, J. E.; ZENTNER, R. P.; FAGANELLO, A. Distribution of phosphorus fractions in Brazilian oxisol under different tillage systems. Soil and Tillage Research, v. 44, p. 23-34, 1997.

SEQUI, P.; NOBILI, M. de; LEITA, L.; CERCIGNANI, G. A new index of humification. Agrochimica, Pisa, v.30, p.175-179, 1986.

SHARPLEY, A. N.; SMITH, S. J.; NANEY, J. W. Environmental impact of agricultural nitrogen and phosphorus use. Journal of Agricultural and Food Chemistry, v. 35, p. 812-817. 1987.

SHARPLEY, A.N.; SMITH, S.J. Fractionation of inorganic and organic phosphorus in virgin and cultivated soils. Soil Science Society of America Journal, v. 49, p. 127-130, 1985.

- SIGNOR, D. Estoques de carbono e nitrogênio e emissões de gases do efeito estufa em áreas de cana-de-açúcar na região de Piracicaba. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. 119 p. 2010. Dissertação (Mestrado).
- SILVA FILHO, G. N.; NARLOCH, C.; SCHARF, R. Solubilização de fosfatos naturais por microrganismos isolados de cultivos de Pinus e Eucalyptus de Santa Catarina. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 37, p. 847-854, 2002.
- 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 Latosol in Northeast Brazil. Soil & Tillage Research, v. 94, p. 420-424, 2007.
- SILVA, A. N. J; CABEDA, M. S. V.; CARVALHO, F.G. Matéria orgânica e propriedades físicas de um Argissolo Amarelo Coeso sob sistemas de manejo com cana-de-açúcar. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 10, p. 579-586, 2006.
- SILVA, I. R.; MENDONÇA, E. S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V.; FERNANDES, V. H.; FONTES, N.; CANTARUTTI, R.L.; NEVES, J.C.L., eds. Fertilidade do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.275-374. 2007.
- SILVERSTEIN, R. M.; BASSLER, G. C.; MORRIL, T.C. Identificação espectrométrica de compostos orgânicos. Rio de Janeiro, Guanabara-Koogan, 1994. 387p
- SIQUEIRA NETO, M.; PICCOLO, M. C.; COSTA JUNIOR, C.; CERRI, C. C.; BERNOUX, M. Emissão de gases do efeito estufa em diferentes usos da terra no bioma Cerrado. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 35, p. 1-14, 2011.
- SIQUEIRA NETO, M.; VENZKE FILHO, S.P.; PICCOLO, M.C.; CERRI, C.E.P. & CERRI, C.C. Rotação de culturas no sistema plantio direto em Tibagi (PR). - I Sequestro de carbono no solo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 33, p. 1013-1022, 2009.
- SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S. Biologia e bioquímica do solo. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 291p, 2001.
- SISTI, C. P. J.; SANTOS, H. P.; KOHHAN, R.; ALBES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; BODEY, R. M. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. Soil and Tillage Research, v.76, p.39-58, 2004.
- SKJEMSTAD, J. O.; CLARKE, P.; GOLCHIN, A.; OADES, J. M.. Characterization of soil organic matter by solid-state ¹³C NMR spectroscopy. In: CADISCH, G.; GILLER, K.E. (Ed.). Driven by nature: plant litter quality and decomposition. London: CAB International,. p. 253-271. 1997
- SKJEMSTAD, J. O.; TAYLOR, J. A. e SMERNIK, R. J. Estimation of charcoal (char) in soils. Communications in Soil Science and Plant Analysis. v. 30, p. 2283-2298, 1999.
- SMECK, N, E. Phosphorus dynamics in soils and landscapes. Geoderma, Amsterdam, v. 36, p. 185-199, 1985
- SMERNIK, R. J.; SKJEMSTAD, J. O.;OADES, J. M. Virtual fractionation of charcoal from soil organic matter using solid state ¹³C NMR spectral editing. Australian Journal of Soil Research, v. 38, p. 665-683, 2000.
- SMITH, P.; JANZEN, H.; MARTINO, D.; ZUCONG, Z.; KUMAR, P.; MCCARL, B. A.; OGLE, S.; O'MARA, F.; RICE, C.; SCHOLE, B.; SIROTENKO, O.; HOWDEN, M.; MCALLISTER, T.; GENXING, P.; ROMANEKOV, V.; SCHNEIDER, U. A.;

- TOWPRAYOON, S.; WATTENBACH, M.; SMITH, J. Greenhouse gas mitigation in agriculture. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, v. 363, p. 789-813, 2008.
- SOLLINS, P.; HOMMAN, P.; CALDWELL, B.A. Stabilization and destabilization of soil organic matter: mechanisms and controls. *Geoderma*, v. 74, p.65-105, 1996.
- SOLOMON, D.; LEHMANN, J.; MAMO, T.; FRITZSCHE, F.; ZECH, W. Phosphorus compounds and dynamics as influenced by land use changes in the sub-humid Ethiopian highlands. *Geoderma*, v. 105, p.21-48, 2002.
- SOUZA, R. F.; FAQUIN, V.; ANDRADE, A. T.; TORRES, P. R. F. Formas de fósforo em solos sob influência da calagem e adubação orgânica. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 31, p. 1535-1544, 2007.
- 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*, v.40, p.271-278, 2005.
- SPACCINI, R. & PICCOLO A. Molecular characteristics of humic acids extracted from compost at increasing maturity stages. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 41, p. 1164–1172, 2009.
- SPAGNOLLO E.; AMADO, T. J. C.; VEIGA, M. da; CONCEIÇÃO P .C.; SARI, E. L. Matéria orgânica particulada em sistemas de manejo com ênfase a queima dos resíduos culturais. IN: RBCS 2002, Cuiabá MT, 2002, (CD-ROM).
- STEVENSON, F. J.; In: *Humic Substances in soil, sediment and water*; Aiken, G. R.; Mcknight, D. M.; Wershaw, R. L., Eds. Wiley & Sons; New York, p.13, 1985.
- STEVENSON, F.J. *Humus chemistry: genesis, composition, reactions*. New York: J. Wiley, 496p, 1994.
- STEWART, J. W. B., TIESSEN, H. Dynamics of soil organic phosphorus. *Biogeochemistry*, v. 4, p. 41– 60. 1987.
- STOUT, J. D.; GOH, K. M.; RAFTER, T. A. Chemistry and turnover naturally occurring resistant organic compounds in soil. In: *SOIL biochemistry*. New York: Marcel Dekker, 1985.
- SUMANN, M.; AMELUNG, W.; HAUMAIER, L.; ZECH, W. Climatic effects on soil organic phosphorus in the North America great plains identified by phosphorus-31 nuclear magnetic resonance. *Soil Science Society of American Journal*, v. 62, p. 1580– 1586. 1998.
- SWIFT, R. S. Organic matter characterization. In: SPARKS, D.L.; PAGE, A.L.; HELMKE, P.A.; LOEPPERT, R.H.; SOLTANPOUR, P.N.; TABATABAI, M.A.; JOHNSTON, C.T.; SUMNER, M.E. (Eds.). *Methods of soil analysis*. Madison: Soil Science Society of America: American Society of Agronomy, (Soil Science Society of America Book Series, 5). Part 3. Chemical methods. p.1011-1020, 1996.
- TATE, K. R., SALCEDO, I. H. Phosphorus control of soil organic matter accumulation and cycling. *Biogeochemistry*, v. 5, p. 99-107, 1988.
- TATE, K. R.; SPEIR, T. W.; ROSS, D. J. Temporal variations in some plants and soil P pools in two pasture soils of widely different P fertility status. *Plant and Soil*, Dordrecht, v 132, p. 219-232, 1991.
- TATE, K.R. The biological transformation of P in soil. *Plant Soil*, v. 76, p. 245-256, 1984.

- TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. Análises de solo, plantas e outros materiais. 2.ed. Porto Alegre: UFRGS, 1995. 174p. (Boletim técnico de solos, 5).
- THENG, B.G.K.; TATE, K.R.; BECKER-HEIDMANN, P. Towards establishing the age, location and identity of the inert soil organic matter of spodosol. *Zeitschrift Pflanzenernähr Bodenk*, v. 155, p.181-184, 1992.
- THENG, B. K. G.; TATE, K. R.; SOLLINS, P. Constituents of organic matter in temperate and tropical soils. In: *DYNAMICS of soil organic matter in tropical ecosystems*. Honolulu: University of Hawai, Cap.1, p.5-32, 1989.
- TIESSEN, H.; MOIR, J. A. Characterization of available P by sequential extraction. In: Carter, M.R. (edit): *Soil sampling and methods of analysis*. Canadian Society of Soil Science, Montreal, p. 75-86, 1993.
- TIESSEN, H.; SALCEDO, I. H.; SAMPAIO, E. V. S. B. Nutrient and soil organic matter dynamics under shifting cultivation in semi-arid northeastern Brazil. *Agriculture, Ecosystem and Environment*, Amsterdam, v 38, p 139-151, 1992.
- TIESSEN, H.; STEWART, J. W. B. & COLE, C. V. Pathways of phosphorus transformation in soils of differing pedogenesis. *Soil Science*, v. 48, p. 853-858, 1984.
- TINOCO, P., ALMENDROS, G., SANZ, J., GONZÁLEZ-VÁSQUEZ, R., GONZÁLEZ-VILA, F. J. Molecular descriptors of the effect of fire on soils under pine forest in two continental Mediterranean soils. *Organic Geochemistry* v. 37, p. 1995-2018, 2006.
- TOKURA, A. M.; FURTINI NETO, A. E.; CURI, N.; FAQUIN, V.; KURIHARA, C. H.; ALOVISI, A.A. Formas de fósforo em solo sob plantio direto em razão da profundidade e tempo de cultivo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 7, p. 1467-1476, 2002.
- TORRES, R. J. L.; PEREIRA, M. G.; ANDRIOLI, I.; POLIDORO, J. C.; FABIAN, A. J., Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura em um solo de Cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 29, p. 609-618, 2005.
- TURNER, B. L. Inositol phosphates in soil: amounts, forms and significance of the phosphorylated inositol stereoisomers. In: *Inositol Phosphates: Linking Agriculture and the Environment* (eds B.L. Turner, A.E. Richardson & E.J. Mullaney), p. 186–206, 2007.
- TURNER, B.L.; MAHIEU, N.; CONDRON, L. M. The phosphorus composition of temperate pasture soils determined by NaOH-EDTA extraction and solution ³¹P NMR spectroscopy. *Organic Geochemistry*, v. 34, p.1199-1210, 2003.
- TURRION, M. B.; GALLARDO, J. F.; HAUMAIER, L.; GONZÁLES, M. I.; ZECH, W. ³¹P NMR characterization of phosphorus fractions in natural and fertilized forest soils. *Annals of Forest Science*, v. 58, p. 89-98, 2001.
- TURRIÓN, M. B.; GLASER, B.; SOLOMON, D. Effects of deforestation on phosphorus pools in mountain soils of the Alay Range, Khyrgyzia. *Biology and Fertility of Soils*, v. 31, p. 134-142, 2000.
- VERGNOUX, A.; DI ROCCO, R.; DOMEIZEL, M.; GUILIANO, M.; DOUMENQ, P.; THÉRAULAZ, F. Effects of forest fires on water extractable organic matter and humic substances from Mediterranean soils: UV-vis and fluorescence spectroscopy approaches. *Geoderma*, v. 160, p.434-443. 2011.

VILLEGAS, R.; CHANG, R. M.; GONZÁLES, M. Sostenibilidad del agroecosistema y evolución de características biogeoquímicas en estudios de larga duración con caña de azúcar. *Cuba Caña*, v.2, p. 11-17, 1998.

VOLL, C. E. Aplicação de vinhaça e do extrato de palhiço de cana-de-açúcar no controle de plantas daninhas. 2005. 45p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba-SP

WALBRIDGE, M. R. Phosphorus availability in acid organic soils of the lower North Carolina coastal plain. *Ecology*, v.72, p.2083-2100, 1991.

WALKER, T.W.; SYERS, J.K. The fate of phosphorus during pedogenesis. *Geoderma*, Amsterdam, v.15, p.1-19, 1976.

WHITELAW, M. A. Growth promotion of plant inoculated with phosphate solubilizing fungi. *Advances in Agronomy*, v. 69, p.99-151, 2000.

XIAOLI, C., SHIMAOKA, T., XIAOYAN, C., QIANG, G., YOUCAI, Z. Spectroscopic studies of the progress of humification processes in humic substances extracted from refuse in a landfill. *Chemosphere*, v. 69, p.1446-1453, 2007.

YOEMANS, J.C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. *Communication in Soil Science and Plant Analysis*, v.19, p.1467-1476, 1988.

ZAIA, F. C.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; EMANUELA FORESTIERI DA GAMA-RODRIGUES, E. F.; MACHADO, R. C. R. Fósforo orgânico em solos sob agrossistemas de cacau. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, v. 32, p.1987-1995, 2008.

ZAIA, F.C. Frações de fósforo do solo sob diferentes coberturas vegetais no Norte Fluminense e em plantios de cacau no sul da Bahia. dos Goytacazes, Universidade Estadual do Norte Fluminense, 89p. 2005. Dissertação (Mestrado).

ZECH, W.; ALT, H. G.; ZUCKER, A.; KÖGEL, I. ³¹P NMR-spectroscopic investigations of NaOH-extracts from soils with different land use in Yucatan (Mexico). *Zeitschrift Pflanzenernähr Bodenk*, v. 148, p. 626-632, 1985.