



## Sistemas de colheita da cana-de-açúcar: Conhecimento atual sobre modificações em atributos de solos de tabuleiro

Ana P. P. de Oliveira<sup>1</sup>, Eduardo Lima<sup>2</sup>, Lúcia H. C. dos Anjos<sup>3</sup>, Everaldo Zonta<sup>4</sup> & Marcos G. Pereira<sup>5</sup>

<sup>1</sup> CPGA-CS/UFRRJ, Seropédica, RJ. E-mail: ppressim@yahoo.com.br (Autor correspondente)

<sup>2</sup> IA/Depto. Solo/UFRRJ, Seropédica, RJ. E-mail: edulima@ufrj.br

<sup>3</sup> IA/Depto. Solo/UFRRJ, Seropédica, RJ. E-mail: lanjorural@ufrj.br

<sup>4</sup> IA/Depto. Solo/UFRRJ, Seropédica, RJ. E-mail: ezonta@ufrj.br

<sup>5</sup> IA/Depto. Solo/UFRRJ, Seropédica, RJ. E-mail: mgervasiopereira01@gmail.com

### Palavras-chave:

cana crua e queimada  
atributos edáficos  
colheita mecanizada

### RESUMO

A queima da palhada nos canaviais deverá ser suprimida no Brasil e, por conseguinte, aumentar a colheita mecanizada devido às mudanças nos sistemas de produção e exigências ambientais. Neste trabalho são sintetizados estudos sobre o manejo da colheita da cana-de-açúcar (crua e queimada) e modificações em atributos de solos de tabuleiro apontando demandas de pesquisa. Em geral, os estudos investigaram atributos na camada arável do solo, ou seja, pouco se avaliou sobre os efeitos da queima nas camadas mais profundas mesmo diante da ocorrência do caráter coeso em solos de tabuleiro, que impõe diferenças no manejo desses solos. Quanto ao tempo de experimentação os trabalhos, em geral de curta duração, não indicaram diferenças nos atributos do solo com a mudança de sistema de colheita, embora indiquem que esses efeitos podem surgir a médio ou a longo prazo. Os atributos químicos foram os mais estudados, seguidos dos biológicos e físicos cujos dados indicam que a colheita sem queima altera positivamente os atributos edáficos e a qualidade do solo porém predominam estudos com colheita manual e, portanto, insuficientes para suprir informações sobre a colheita mecanizada e sem queima da palhada, nos solos de tabuleiro.

### Key words:

green and burnt cane  
edaphic attributes  
mechanized harvesting

## Sugarcane harvesting systems: Current knowledge about modifications of attributes in Tableland soils

### ABSTRACT

The practice of burning the sugarcane straw in Brazilian plantations has to be eliminated, which will increase the usage of mechanical harvesting, owing to changes in the production systems and the environmental demands. In this paper studies about the influence of cane harvesting management (green and burnt cane) in the attributes of Tableland soils are resumed, also pointing to research demands. In general, the studies investigated the attributes of the arable layer, i.e., little has been studied about effects of the burning practice in the deeper soil layers, even though Tableland soils show a cohesive character that lead to differences in the soil management. About the experiments duration, the usually short term studies did not show differences in the soil attributes due to changes of the sugarcane harvesting system; though they indicated that these effects could happen in medium or long terms. Chemical soil attributes were the most studied followed by biological and physical. The data acquired indicate that harvesting sugarcane without burning alters positively the soil attributes and the soil quality. However, the studies are generally with manual harvesting and, thus, not sufficient to inform about the effect of mechanized harvesting without burning of sugarcane straw in the Tableland soils.

## INTRODUÇÃO

A degradação das terras agrícolas pela intensificação dos cultivos, sem práticas conservacionistas em sistemas que utilizam monoculturas, desperta a preocupação com a qualidade do solo e a sustentabilidade dos sistemas de produção. Dentre os vários conceitos, Vezzani & Mielniczuc (2009) definem a qualidade do solo com base na integração das propriedades biológicas, físicas e químicas do solo que permitem, ao solo, exercer suas funções no sistema solo-planta-atmosfera. O monitoramento da qualidade do solo em função de práticas de

manejo da palhada da cana-de-açúcar na colheita é fundamental para o desenvolvimento sustentável do sistema de produção desta lavoura.

As pesquisas sobre o efeito da queima da palha da cana-de-açúcar na qualidade do ambiente, na degradação dos solos, na produtividade da lavoura e os benefícios do cultivo sem a queima para o sistema solo-planta-atmosfera, se intensificaram nas últimas décadas mesmo que o debate sobre a queima da palhada da cana-de-açúcar, antes ou após a colheita e as consequências sobre a qualidade do solo e a matéria-prima

não sejam novos (Dominguez, 1923). No Brasil, pesquisas pioneiras foram relatadas por Melo (1940) e prosseguiram da década de 50 (Valsechi, 1951) aos dias atuais. Essas pesquisas são, hoje, fortalecidas pelas exigências dos sistemas de produção e ambientais de mudança no manejo de colheita com o uso da despalha a fogo (cana queimada), para a colheita da cana crua e mecanizada (cana crua). Na agroindústria se encontram, entre os benefícios da mudança, a redução de custos e a maior produtividade do trabalho mecanizado. Segundo Shikida et al. (2007), o custo na colheita mecanizada chega a ser de 30 a 40% inferior ao da manual. Do ponto de vista da sociedade, em especial os fatores ligados à saúde humana e ao ambiente, têm acelerado o processo de colheita da cana sem queima e mecanizada.

A mudança no sistema de colheita impulsionou pesquisas regionais sobre o impacto da queima quanto ao ambiente e à lavoura de cana-de-açúcar, com reflexo nos atributos edáficos e no rendimento industrial da cana-de-açúcar. Visto que são muitos os trabalhos em solos de tabuleiros, ambiente no qual esta lavoura tem importante papel socioeconômico ao longo de toda a história do Brasil. Os temas principais são a qualidade do solo e a produtividade da cultura, quando se elimina a queima e se mantém a palhada sobre o solo e em geral com colheita manual porém há carência de informações quanto ao impacto do sistema de colheita mecanizado em solos de tabuleiro, ao contrário de outras regiões produtoras do Brasil.

Diante da importância desta cultura nos tabuleiros costeiros é feita, neste trabalho, uma síntese de estudos sobre o efeito do manejo da colheita da cana-de-açúcar (crua e queimada) em atributos biológicos, químicos e físicos de solos de tabuleiro, para apontar demandas de pesquisa frente ao novo cenário de produção desta lavoura; são comparados, também, resultados de outras regiões de produção da cana-de-açúcar.

## ATRIBUTOS BIOLÓGICOS DO SOLO

A componente biológica do solo refere-se aos animais e vegetais no solo e seus resíduos, frescos ou em variados estados de decomposição dentre os quais a matéria orgânica (MO) não viva corresponde a 98% do total de C orgânico (Corg) do solo e a parte viva raramente ultrapassa 4% (Larson & Pierce, 1994). As propriedades microbiológicas mais usadas para caracterizar o solo são: a biomassa microbiana do solo (BMS) e a respiração basal do solo (RBS); a primeira é um indicador da atividade da parte viva da matéria orgânica do solo (MOS) e a segunda, denominada C prontamente mineralizável, é usada para avaliar a atividade metabólica da população microbiana, com base na liberação de CO<sub>2</sub> (Doran & Parkin, 1994). A combinação de medidas de BMS e RBS fornece a quantidade de CO<sub>2</sub> evoluída por unidade de biomassa, quociente metabólico ou respiratório (qMCO<sub>2</sub>) que avalia o potencial de mineralização do solo (Anderson & Domsch, 1993) e, segundo Odum (1983) ao avaliar a sucessão de ecossistemas o qMCO<sub>2</sub> se altera com distúrbios e se recupera em condições de equilíbrio. As propriedades biológicas refletem mudanças no solo, permitindo acompanhar, de forma rápida, alterações devidas a práticas agrícolas.

Estudos relativos ao efeito da colheita da cana nas propriedades microbiológicas do solo estão reunidos na Tabela 1.

Em Argissolo Amarelo de tabuleiro no município de Linhares, ES, Mendoza et al. (2000) avaliaram a dinâmica do C da biomassa microbiana (C<sub>BM</sub>) em três épocas do ano (maio, agosto e novembro de 1994). Após cinco ciclos de produção de cana os autores informaram maiores teores de C<sub>BM</sub> no sistema sem queima e no mês de novembro (303 a 224 mg C kg<sup>-1</sup> solo) comparado ao sistema com queima (194 a 190 mg C kg<sup>-1</sup> solo) na camada de 0 a 20 cm. Em parte, este aumento ocorreu pelas condições climáticas favoráveis ao desenvolvimento da população microbiana, pela elevação da temperatura do ar e a

**Tabela 1.** Estudos sobre o efeito do manejo da colheita da cana-de-açúcar quanto aos atributos microbiológicos do solo (PBS): biomassa microbiana do solo (BMS); respiração basal do solo (RBS) e quociente metabólico (QMCO<sub>2</sub>)

Localização	Classe de solo ou textura <sup>1</sup>	Propriedade biológica	Cultivo <sup>2</sup> (anos)	Prof. amostragem (cm)	Referência
Paraguaçu Paulista-SP	Latossolo Vermelho	BMS	CQ - 16 CC - 6	0-20	Souza et al. (2012)
Pradópolis-SP	Latossolo Vermelho	BMS	6 e 12	0-10; 10-20	Czyzka (2009)
Pradópolis-SP	Latossolo Vermelho	BMS	2; 6 e 8	0-10; 10-20	Galdos et al. (2009)
Linhares-ES	Argissolo Amarelo	BMS, RBS, qMCO <sub>2</sub>	5	0-10; 10-20; 20-30	Mendoza et al. (2000)
Boca da Mata-AL	Argissolo Amarelo	BMS	CQ - 20 CC - 3	0-10	Sant'Anna et al. (2009)
Dourados-MS	Latossolo Vermelho	BMS, RBS, qMCO <sub>2</sub>	Não informado	0-5; 5-10; 10-20	Paredes Júnior, 2012
KwaZulu-Natal - África do Sul	Humic Ferralsols	BMS	15	0-30	Dlamini & Haynes (2004)
Durban África do Sul	Chromic Vertisol	BMS, RBSqMCO <sub>2</sub>	61	0-2,5; 2,5-5; 5-10, 10-20; 20-30	Graham et al. (2001)
Harwood/Mackay/Tully - Austrália	Clay loam, sandy loam, clay	BMS, RBS	1 a 6	0-2; 2-5; 5-10; 10-25	Robertson & Thorburn (2007)
Harwood/Mackay/Tully - Austrália	Clay loam, sandy loam, clay	BMS, RBS	1; 3 e 6	0-2; 2-56; 5-10; 10-20	Robertson & Thorburn (2001)
Austrália	Alluvial silty loam	BMS	10	0-2,5; 2,5-5; 5-10, 10-20; 20-30	Sutton et al. (1996)

<sup>1</sup>Classificação dos solos no SiBCS (EMBRAPA, 2006) ou FAO (1998) ou atributos de solo; <sup>2</sup>Duração do ciclo de cultivo da cana crua (CC) e queimada (CQ) no estudo

precipitação e devido à palha remanescente do cultivo anterior. Em virtude da constituição lignocelulósica, parte da palhada acumulada de um ciclo para o outro no solo serve de substrato para os organismos do solo (Abramo Filho et al., 1993). Tal fator pode desfavorecer a mineralização da MO nas épocas mais secas e frias do ano (maio e agosto). Nos sistemas de manejo da colheita com e sem queima estudados, as variações seguiram padrão sazonal, com maiores valores na estação chuvosa e menores na seca. No sistema de colheita sem a queima o padrão sazonal levou a diferença significativa nos resultados, na profundidade de 5-20 cm, maior no mês de maio em relação a agosto; já em estudo sobre a dinâmica do  $C_{BM}$  em áreas de seis e doze anos de cultivo de cana, em solo argiloso em São Paulo, Czyzka (2009) não encontrou diferença entre as áreas com e sem queima da palhada na estação seca (agosto) porém os resultados do autor sinalizam variação do conteúdo de  $C_{BM}$  de 542 a 432 mg C kg<sup>-1</sup> e 717 a 542 mg C kg<sup>-1</sup> com e sem queima, respectivamente, em ambas as épocas, nos 20 primeiros cm. Este padrão foi observado por Mendoza et al. (2000) com valores de 215 a 152 mg C kg<sup>-1</sup> e 303 a 195 mg C kg<sup>-1</sup> em três épocas. Os resultados corroboram com Galdos et al. (2009) e Paredes Júnior (2012) que encontraram os maiores teores de  $C_{BM}$  (412 vs. 166 mg C kg<sup>-1</sup>) e (433 vs. 362 mg C kg<sup>-1</sup>) respectivamente, para a área sem queima da palhada e na superfície do solo.

Em solos de outras regiões são observados aumentos no teor de  $C_{BM}$  na camada superficial, com cultivo de cana sem a queima e com deposição da palhada (Sutton et al., 1996; Graham et al., 2001; Robertson & Thorburn, 2001; 2007; Dlamini & Haynes, 2004) comprovando que o  $C_{BM}$  é um indicador relevante da qualidade do solo. O incremento no teor de  $C_{BM}$  depende do tempo de adoção do sistema sem queima e, segundo Robertson & Thorburn (2007) mostra diferenças significativas em áreas com pelo menos 6 anos de cultivo; corroborando esta afirmação, Sant'Anna et al. (2009) não observaram, em solo de tabuleiro na região Nordeste, aumento de  $C_{BM}$  nos sistemas com tempo de cultivo sem queima de apenas 3 anos. Os resultados se referem à estação seca na região (março) enquanto a deficiência de água pode ter limitado o crescimento e a atividade microbiana semelhante ao relatado por Mendoza et al. (2000) e Czyzka (2009).

A respiração acumulada (evolução de CO<sub>2</sub> no período de cinco dias) e o qMCO<sub>2</sub> foram avaliados por Mendoza et al. (2000) em solos de tabuleiros em que a primeira medida, tal como o  $C_{BM}$ , apresentou maiores valores (75 a 32 mg C kg<sup>-1</sup> solo) em superfície e na cana sem queima, sendo os valores de 43 a 23 mg C kg<sup>-1</sup> solo no cultivo com queima. Já o qMCO<sub>2</sub> não apresentou diferença entre as formas de colheita indicando que a matéria orgânica do solo se encontrava em níveis estabilizados. Paredes Júnior (2012) também relatou aumento na respiração basal (22 a 19 vs. 15 a 9 mg C kg<sup>-1</sup>) para a área sem queima da palhada em todas as camadas avaliadas mas divergiu de Mendoza et al. (2000) ao relatar índices de qMCO<sub>2</sub>. Os valores em superfície do qMCO<sub>2</sub>. No sistema com queima foram significativamente superiores àqueles verificados na cana sem queima (0,031 a 0,022 vs. 0,021 a 0,015 mg C-CO<sub>2</sub> mg<sup>-1</sup> C<sub>BM</sub> h<sup>-1</sup>) indicando maior perturbação do ambiente onde a queima foi realizada.

O aumento na respiração microbiana foi observado por Graham et al. (2001) na África do Sul e por Robertson & Thorburn (2007) no Norte da Austrália. Na África do Sul o valor de qMCO<sub>2</sub> foi maior (0,0055 a 0,0056 mg C-CO<sub>2</sub> mg<sup>-1</sup> C<sub>BM</sub> dia) na cana queimada comparada à cana crua (0,0036 a 0,0032 mg C-CO<sub>2</sub> mg<sup>-1</sup> C<sub>BM</sub> dia) nos primeiros 20 cm. Segundo os autores, a queima diminuiu o uso do substrato orgânico (baixo teor de Corg) pela comunidade microbiana do solo; ainda quanto às comunidades de fungos, estimuladas com a deposição da palha em superfície, são mais eficientes na conversão de C do substrato em C celular que as bacterianas fator passível de ter conduzido ao menor valor de qMCO<sub>2</sub> no tratamento sem queima da palha.

## ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO

Os atributos químicos do solo dizem respeito à atividade dos elementos químicos e às reações que se processam em cada fase (sólida, líquida e gasosa) do solo, com interações entre eles e deles com o ambiente influenciando a quantidade e a disponibilidade de nutrientes. Em ecossistemas naturais em equilíbrio as entradas de nutrientes originados do intemperismo e da decomposição de resíduos orgânicos se aproximam das perdas por lixiviação, assimilação pelas plantas e mineralização da matéria orgânica, Brady & Weil (2008). A remoção de resíduos orgânicos pela sua queima, como na colheita da cana-de-açúcar, altera a dinâmica dos nutrientes do solo e reduz o teor de MO (Graham et al., 2002b; Resende et al., 2006; Pinheiro et al., 2010). O manejo da colheita da cana com a deposição de palhada influencia os atributos químicos, a mineralização e a humificação da MO, a fixação de P e favorece maior disponibilidade de nutrientes como o P e K. O material vegetal depositado é ainda apontado como condicionador do solo e fonte de nutrientes aumentando, então, a capacidade produtiva do solo (Robertson & Thorburn, 2001; Graham et al., 2002a; Canellas et al., 2003; Noble et al., 2003).

Dentre os doze estudos sobre o impacto do manejo da colheita da cana nos atributos químicos do solo apresentados (Tabela 2) a maioria aponta mudanças no solo de acordo com o manejo de colheita da cana. Em áreas de tabuleiro, Mendoza et al. (2000) encontraram os maiores valores para Mg e CTC no cultivo sem a queima em três profundidades e após cinco ciclos, já os teores de P e K foram maiores na cana queimada. Os valores de pH, Al, H + Al, V, S; os teores de N e Na e a relação C/N não diferiram. Conforme os autores e embora os níveis de P e K estivessem mais elevados quando a palhada foi queimada, é possível, em longo prazo, a redução desses níveis uma vez que, nas cinzas, os nutrientes são mais susceptíveis de serem lixiviados, principalmente em solos com baixos níveis de MO. No mesmo estudo o retorno da palhada ao solo aumentou o teor de MO influenciando outras propriedades químicas relacionadas ao fracionamento da MO. O teor de C na fração humina e nas frações de ácidos fúlvicos e ácidos fúlvicos livres foi maior (2,5; 0,5 e 0,03 g kg<sup>-1</sup> C no solo, respectivamente) nos primeiros 5 cm de solo sob cana crua vs. cana queimada (1,7, 0,12 e 0,06 g kg<sup>-1</sup> C no solo, respectivamente) tal como o teor de C dos ácidos fúlvicos de 5 a 20 cm (0,72 contra 0,50 g kg<sup>-1</sup> C no solo).

**Tabela 2.** Estudos relativos ao efeito do manejo da colheita da cana-de-açúcar sobre os atributos químicos do solo

Localização	Classe de solo <sup>1</sup>	Propriedade química	Cultivo <sup>2</sup> (anos)	Prof. amostragem (cm)	Referência
Linhares-ES	Argissolo Amarelo	Frac. químico da MO; pH; C <sub>org</sub> ; Al <sup>3+</sup> ; Ca <sup>2+</sup> ; Mg <sup>2+</sup> ; K; P; N;	14	0-5; 5-10; 10-20; 20-30; 30-40; 40-60; 60-80; 80-100	Pinheiro et al. (2010)
Conceição da Barra-ES	Argissolo Amarelo	pH; C; Al <sup>3+</sup> ; P; K; Ca <sup>2+</sup> ; Na; Mg <sup>2+</sup> ; V%; T; S	4	0-5; 5-10; 10-20; 20-30; 30-40	Guedes (2002)
Linhares-ES	Argissolo Amarelo	Frac. MO; pH; C <sub>org</sub> ; P; Al; K; Ca <sup>2+</sup> ; Na; Mg <sup>2+</sup> ; S; T; V%; N; C:N	5	0-10; 10-20; 20-30	Mendoza et al. (2000)
Campos dos Goytacazes-RJ	Cambissolo Háptico	Frac. MO; pH; H+Al; P; K; Ca <sup>2+</sup> ; Mg <sup>2+</sup> ; Na; Fe; Cu; Zn; Mn; T; V%	55	0-20; 20-40	Canellas et al. (2003)
Timbaúba-PE	Luvissolo	pH; C; Al <sup>3+</sup> ; Ca <sup>2+</sup> ; Mg <sup>2+</sup> ; K; P; N;	16	0-10; 10-20; 20-40; 40-60	Resende et al. (2006)
Paraguaçu Paulista-SP	Latossolo Vermelho	pH; P; K; Ca <sup>2+</sup> ; Mg <sup>2+</sup> ; Al <sup>3+</sup> ; H+Al; S; T; V%; C:N; m%	CQ - 16 CC - 6	0-20	Souza et al. (2012)
Texas, USA	Typic Calciustolls	pH; NO <sub>3</sub> -N; P; K; Ca <sup>2+</sup> ; Mg <sup>2+</sup> ; S; Na	5	0-15	Windenfield (2009)
Harwood/Mackay Tully-Austrália	Clay loam, Clay Sandy loam	C <sub>org</sub> ; N <sub>T</sub>	1 a 6	0-2; 2-5; 5-10; 10-25	Robertson & Thorburn (2007)
Tully-Austrália	Yellow Dermossol	pH; C <sub>org</sub> ; T		0-2; 2-5; 5-10	Noble & Moddy (2003)
Durban-África do Sul	Chromic Vertisol	C <sub>org</sub> ; C-miner.; N <sub>T</sub> ; pH; P; K; Ca; Mg; Na; H+Al; Al; T	61	0-2,5; 2,5-5; 5-10 10-20; 20-30	Graham et al. (2002a)
Durban-África Sul	Chromic Vertisol	pH; N; P; P <sub>org</sub> ; K; Ca <sup>2+</sup> ; Mg <sup>2+</sup> ; S	61	0-2,5; 2,5-5; 5-10; 10-20; 20-30	Graham et al. (2000)
Ho Chi Minh, Vietnam	Argissolo Vermelho-Amarelo	pH; C <sub>org</sub> ; P; K; N	3	0-20	Mui et al. (1996)

<sup>1</sup>Classificação dos solos no SiBCS (EMBRAPA 2006) ou FAO (1998) ou atributos de solo

<sup>2</sup>Duração do ciclo de cultivo da cana crua (CC) e queimada (CQ) no estudo

Em solo de tabuleiro, Guedes (2002) encontrou, investigando sistemas de colheita com e sem queima da cana e o efeito da adição de vinhaça complementada com N, maior saturação por bases (V%) e menor acidez potencial (H + Al) nos primeiros 30 cm do solo com o sistema cana crua. Por outro lado, Resende et al. (2006) não observaram, em Luvissolo em Timbaúba-PE, aumento no teor de nutrientes nas áreas com colheita da cana sem queima; conforme esses autores, o maior rendimento de colmos na cana crua levou à maior quantidade de nutrientes exportados; sugere-se, então, cautela na comparação de dados de redução de nutrientes no solo. Ambos os autores encontraram aumento de Mg e K na camada de 0-10 cm comparando o tratamento com vinhaça.

Mudanças mais expressivas que as relatadas em solo de tabuleiro foram obtidas por Souza et al. (2012) em Latossolo Vermelho do estado de São Paulo com maiores valores para pH, P, K, Ca, Mg, soma de bases (S) e V% e menores valores de acidez potencial (H + Al), Al<sup>3+</sup> e saturação por alumínio (m%) em áreas sob cultivo sem queima da cana em comparação com a cana queimada. Referidos pesquisadores atribuem os maiores níveis de P, K, Ca e Mg em cana sem queima ao maior aporte de nutrientes da palhada deixada sobre o solo. A melhoria da fertilidade do solo depende também do tempo de adoção do sistema com deposição da palhada. Canellas et al. (2003) encontraram, em área com 55 anos de cultivo de cana, aumento nos valores de pH, C<sub>org</sub>, P, Ca, Mg, K, Na, N, T e V%, e nos teores de Fe, Cu, Zn e Mn no solo com cana sem queima da palhada, até os 40 cm do solo. Estudos na Austrália já sugerem, por exemplo, que a palhada de cana deixada sobre a superfície do solo durante períodos de 15 a 20 anos, pode resultar em lenta

e gradual redução da exigência de adubação em até 15 a 40 kg<sup>-1</sup> de N (Robertson & Thorburn, 2007).

Em estudo de longo prazo Canellas et al. (2003) mostraram, também, efeito positivo da palhada sobre a matéria orgânica humificada com resultados superiores aos de Mendoza et al. (2000) os quais encontraram, após cinco anos de cultivo, pequeno aumento na fração ácido fúlvico enquanto Canelas et al. (2003) registraram, para a área de 55 anos, acréscimo de 116% na fração ácido fúlvico, em superfície e de 486% em subsuperfície. Para Canellas et al. (2003) os dados nas áreas com maior tempo de preservação da palhada indicam que, com o tempo devem ocorrer condensação da fração alcalino-solúvel e acúmulo de ácidos húmicos influenciando na qualidade da MO do solo.

Nos trabalhos seguintes, com solos de tabuleiro os níveis de C orgânico (C<sub>org</sub>) são superiores no cultivo sem queima em relação à cana queimada na camada superficial (Tabela 3): Mendoza et al. (2000) - 9,9 vs. 7,2 g C kg<sup>-1</sup>, Pinheiro et al. (2010) - 14,4 vs. 9,2 g kg<sup>-1</sup> e Guedes (2002) - 8,3 vs. 6,7 g kg<sup>-1</sup>. O aumento nos níveis de C<sub>org</sub> se justifica pelo maior aporte de MO no momento da colheita sem a queima (10 a 20 Mg ha<sup>-1</sup>); todavia, em tabuleiro costeiro no Município Boca da Mata, AL, Sant'Anna et al. (2009) não encontraram alterações no teor de C<sub>org</sub> para as duas formas de colheita (8 e 10 g C kg<sup>-1</sup>, cana sem e com queima respectivamente) na camada de 0 a 10 cm e com três anos de cultivo. Os autores atribuem o fato à maior atividade microbiana diante de condições de elevadas temperaturas e umidade, resultando em maiores taxas de decomposição de resíduos e dificuldade em aumentar os teores de COT em curto prazo.

**Tabela 3.** Valores de atributos químicos de solos de tabuleiro costeiro sob sistema de cana-crua e cana queimada

Tipo da cana	Prof. (cm)	pH (H <sub>2</sub> O)	C <sub>org</sub> (g kg <sup>-1</sup> )	Al		Ca		Mg	K	P (mg kg <sup>-1</sup> )	Ds (Mg m <sup>-3</sup> )	EA (mm)	Poros (%)	CH (m <sup>3</sup> m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> x 10 <sup>-3</sup> )
				AI	Ca	(cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )								
Linhares, ES														
Cana-crua	0-10	5,6-5,4	14,4-9,7	0-02	3,56-1,32a		0,34-0,14	0,14	6,8-2,8b	1,36-1,59	4,5-4,1	42-39	1,07-1,01	
		6,4	9,9	0,03	1,4	1,1	0,14	4,4	1,50-1,59	-	-	-		
	10-20	5,3	7,8	0,3	0,96a		0,07	2,0b	1,63	4,1	38	1,09		
		6,5	7,8	0,10	0,9	0,8	0,12	2,8	1,56	-	-	-		
		5,5-5,6	10,2-7,2	0,2-0,3	1,18-1,24a		0,05	2,4-3,2b	1,62-1,56	3,8	41-40	1,33-0,97		
20-40	6,1	5,7-6,5	0,05-0,1	0,8-0,9	0,4-0,5	0,06-0,05	0,9-1,1	1,55-1,50	-	-	-			
Cana queimada	0-10	5,7-5,1	9,2-8,8	0,1-0,3	2,1-0,9a		0,31-0,18	0,18	9,6-3,4b	1,43-1,59	3,5-3,6	38	1,23-1,24	
		6,4	7,2	0,05	1,2	0,7	0,17	11,0	1,60	-	-	-		
	10-20	5,0	7,6	0,4	0,8a		0,14	3,0b	1,61	4,0	38	1,01		
		6,5	7,9	0,10	0,8	0,6	0,16	3,7	1,57	-	-	-		
		5,0	7,7-9,1	0,4-0,3	0,8-1,0a		0,14-0,09	3,3-2,8b	1,57-1,59	4,1-4,2	41,5	1,06-0,96		
20-40	6,0-6,1	6,4-8,0	0,06-0,12	0,7	0,4	0,10-0,06	1,7-1,4	1,52-1,46	-	-	-			
Timbaúba, PE														
Cana Crua	0-10	4,6	13,3	0,7	2,8	1,5	0,49	16,9	1,31	-	-	-		
	10-20	4,4	12,8	0,8	2,5	1,1	0,30	11	1,42	-	-	-		
	20-40	4,3	10,6	0,8	3,1	1,0	0,17	9	-	-	-	-		
Cana queimada	0-10	4,7	11,6	0,6	2,7	1,3	0,56	12,3	1,36	-	-	-		
	10-20	4,4	11,0	0,9	2,4	1,0	0,31	7,0	1,41	-	-	-		
	20-40	4,2	10,39	0,7	3,1	1,1	0,17	13	-	-	-	-		
Conceição da Barra, ES														
Cana crua	0-10	6,0-5,9	8,3-8,2	0,0	1,3-1,5	0,7-0,5	0,2-0,1	6,0-4,0	-	-	-	-		
	10-20	6,0	8,1	0,0	1,5	0,7	0,1	4,0	-	-	-	-		
	20-40	5,0-6,2	7,3-4,6	0,0	1,6-1,5	0,7-0,5	0,09-0,08	3,0-4,0	-	-	-	-		
Cana queimada	0-10	5,8-5,7	6,7-6,6	0,2	1,2	0,6-0,7	0,3-0,1	6-5,	-	-	-	-		
	10-20	5,7	5,7	0,3	1,2	0,6	0,1	4	-	-	-	-		
	20-40	5,9-5,8	5,8-4,1	0,3-0,4	1,2-1,1	0,6	0,1	5-3	-	-	-	-		

Comparando outras áreas no Brasil, em área de Latossolo Vermelho no estado de São Paulo, Souza et al. (2012) observaram aumento no teor de C<sub>org</sub> de 8,1 g kg<sup>-1</sup> nos tratamentos com queima para 12,5 g kg<sup>-1</sup> na cana sem queima, na camada de 0 a 20 cm. Em estudo de longo prazo em Cambissolo Háplico, Canelas et al. (2003) também verificaram aumento no teor de C<sub>org</sub> até os 40 cm do solo (22,3 a 21,0 vs. 13,1 a 11,8 g kg<sup>-1</sup>). No estado de Pernambuco, em experimento de 16 anos em Luvisolo, Resende et al. (2006) relataram acúmulo de matéria orgânica no solo com cultivo sem queima da cana até 20 cm de profundidade (23 vs. 19 g kg<sup>-1</sup>).

Em outras regiões do mundo, tais como África do Sul, Austrália, Ásia e América do Norte, melhores propriedades químicas na camada superficial do solo também foram observadas sob cultivo da cana sem queima e com deposição da palhada (Mui et al., 1996; Graham et al., 2000; 2002a; Noble et al., 2003; Robertson & Thorburn, 2007; Wiedenfeld, 2009).

A partir da análise dos trabalhos citados (Tabela 2) considera-se que, principalmente em solos tropicais onde a mineralogia de argila e o elevado grau de intemperismo resultam em baixa reserva de nutrientes, a preservação da palhada na colheita sem a queima contribui para a manutenção da fertilidade do solo podendo aumentá-la.

## ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO

Os atributos físicos do solo podem ser mais estáticos como a granulometria ou mais dinâmicos, como o armazenamento e o fluxo de água, ar e calor no interior do solo. Entre os mais estudados se destacam a textura e a agregação do solo, que definem a configuração dos poros.

O manejo da colheita da cana-de-açúcar com a deposição de MO sobre o solo beneficia as propriedades físicas pelo aumento da estabilidade de agregados e a melhoria da estrutura do solo favorecendo a infiltração e diminuindo o escoamento superficial de água (Cedia et al., 1999; Oliveira et al., 2010; Vasconcelos et al., 2014). As propriedades: estabilidade de agregados, densidade do solo, porosidade, infiltração e retenção de água, estão relacionadas à organização estrutural do solo e permitem avaliar sua variação diante de pressões de sistemas de manejo. Avaliando sistemas de corte da cana, com e sem queima da palha antes da colheita em solo de tabuleiro e após seis anos de cultivo, Ceddia et al. (1999) observaram que as propriedades: estabilidade de agregados, densidade do solo, porosidade total e distribuição de poros, pouco modificaram (de 0 a 5 cm) nas áreas de cana crua (Tabela 4); já no sistema de cana com queima houve desagregação e individualização das partículas, aumento da densidade e diminuição da microporosidade e da porosidade total afetando a velocidade de infiltração de água no solo.

**Tabela 4.** Estudos sobre o efeito do manejo da colheita da cana-de-açúcar e mudanças nos atributos físicos do solo

Localização	Classe de solo <sup>1</sup>	Propriedade física <sup>2</sup>	Cultivo <sup>3</sup> (anos)	Prof. de amostragem (cm)	Referência
Piracicaba-SP	Latossolo Vermelho	TS; DS; US; A; AAS	1	0-20; 20-40; 40-60; 60-80	Leme Filho (2009)
Pradópolis-SP	Latossolo Vermelho, Neossolo				
Matão-SP	Quartzarênico, Argissolo	EA; DS	CQ-50; CC-3	0-5; 5-10; 10-20; 20-40	Luca et al. (2008)
Serrana-SP	Vermelho – Amarelo				
Goianésia-DF	Latossolo Vermelho		CQ-6; 3; 4	0-5; 5-10; 10-20; 20-30;	
Pradópolis-SP	Latossolo Roxo	EA; DS	CC-33	30-40; 40-50; 50-60; 60-70;	Szackács (2007)
Ourinhos-SP	Latossolo Roxo		E > 15	70-80; 80-90; 90-100	
Pradópolis-SP	Latossolo Vermelho	EA; DS; P; RSP; US	CQ-28; CC-10	0-10; 10-20; 20-30; 30-40	Souza et al. (2006)
Jaboticabal-SP	Latossolo Vermelho-Amarelo	EA; DS; P; RSP; US	CQ-30; CC-3	0-10; 10-20; 20-30; 30-40	Souza et al. (2005)
Linhares-ES	Argissolo Amarelo	Frac. Físico MO; DS	14	0-5; 5-10; 10-20; 20-30; 30-40; 40-60; 60-80; 80-100	Pinheiro et al. (2010)
Linhares-ES	Argissolo Amarelo	EA; DP; DS; P; I; CH	6	0-5; 5-10; 10-20; 20-30; 30-40	Ceddía et al. (1999)
Boca da Mata-AL	Argissolo Amarelo	AEA	CQ-20; CC-3	0-10	Sant'Ana et al. (2009)
Timbaúba-PE	Luvissolo	DS	16	0-10; 10-20; 20-40; 40-60	Resende et al. (2006)
Navirai-MS	Latossolo Vermelho	EA; DS; P; ES	CQ; CC; CQM Não informado	0-5; 5-10; 10-20	Garbiate et al. (2011)
Lambari D'Oeste-MT	Latossolo Vermelho	RSP	CQ-7; 9 CC-4	0-10; 10-20; 20-30; 30-40; 40-50	Silva et al. (2012)
Durban- África do Sul	Chromic Vertisol	EA	61	0-2,5; 2,5-5; 5-10; 10-20; 20-30	Graham et al. (2002a)
Durban-África do Sul	Chromic Vertisol	Frac. Físico MO	59	0-2,5; 2,5-5; 5-10; 10-20; 20-30	Graham et al. (2002b)
Glenro e Hutton África do Sul	Ochric Cambisol, Rhodic Ferrasol	EA	CQ-30 CC-50	0-10	Dominy & Haynes (2002)
Mackay-Austrália	Chromic Luvisol	EA	5	0-10	Blair (2000)

<sup>1</sup> Classificação dos solos no SIBCS (EMBRAPA, 2006) ou FAO (1998). <sup>2</sup> Estabilidade de agregados (EA) e agregados estáveis em água (AEA); densidade das partículas (DP); densidade do solo (DS); porosidade (P); infiltração (I); condutividade hidráulica (CH); temperatura do solo (TS); umidade do solo (US); aeração (A); resistência do solo a penetração (RSP); escoamento superficial (ES); fluxo de água no solo (FAS); armazenamento de água no solo (AAS) e fracionamento físico da MO (Frac. Físico MO). <sup>3</sup> Duração do ciclo de cultivo da cana crua (CC), queimada (CQ) e cana queimada mecanizada (CQM) no estudo

O efeito negativo da colheita da cana com queima sobre os atributos físicos é relacionado à menor quantidade de material vegetal adicionada ao solo. A manutenção da palhada promove maior interação entre as frações orgânicas e minerais, tal como a proteção da superfície do solo contra a erosão hídrica. Por outro lado, alguns trabalhos mostraram que o intenso tráfego de colheitadora e do veículo de transbordo usados na colheita da cana sem a queima e mecanizada pode compactar e desorganizar a estrutura do solo, comprometendo as propriedades físicas e afetando a infiltração e retenção de água no solo (Souza et al., 2005; Leme Filho, 2009; Oliveira et al., 2010; Silva et al., 2012). Porém, a cobertura do solo com os resíduos vegetais da colheita pode contrapor-se ao efeito da compactação pelo maquinário e favorecer a estabilidade estrutural (Lado et al., 2004; Braidá et al., 2006; Garbiate et al., 2011). Braidá et al. (2006) também afirmam que pela baixa densidade associada à susceptibilidade à deformação e elasticidade a palhada da cana depositada sobre o solo atenua as cargas aplicadas e dissipa em até 30% a energia de compactação.

A maioria dos estudos conclui que a eliminação da queima da palhada aumenta a quantidade de MO no solo favorecendo os atributos físicos, como relatado por Blair (2000); Dominy et al. (2002); Graham et al. (2002a); Graham et al. (2002b); Souza et al. (2005; 2006); Szackács (2007); Luca et al. (2008); Leme Filho (2009); Sant'Anna et al. (2009); Garbiate et al. (2011). Esses autores ressaltam a importância de preservar

a palhada em lavouras de cana para manutenção e melhoria das propriedades físicas, sobretudo em solos de tabuleiros em que a compactação associada ao caráter coeso (adensamento natural) pode comprometer suas características físico-hídricas e reduzir a eficiência dos sistemas de produção agrícola da cana-de-açúcar.

Vários estudos foram feitos em solos com horizontes coesos, para conhecer e elucidar este caráter diagnóstico, comum nos tabuleiros costeiros (Resende, 2000; Lima et al., 2004; Fonseca et al., 2007; Oliveira et al., 2010). O uso e o manejo intensivo e contínuo dos solos com a lavoura da cana-de-açúcar podem alterar a estrutura e outros atributos físicos (Silva & Cabeda, 2006; Vasconcelos et al., 2010; 2014) acelerando a degradação desses solos. Assim, estratégias de manejo com a deposição de MO pela preservação da palhada na colheita, são essenciais para reduzir a degradação dos solos e garantir a sustentabilidade de sistemas de produção agrícola da cana-de-açúcar nos tabuleiros costeiros.

#### ANÁLISE GERAL DE ATRIBUTOS EDÁFICOS EM ÁREA DE CANA-DE-AÇÚCAR COM E SEM QUEIMA DA PALHADA

É frequente, nos estudos citados, a interpretação de que a adição de matéria orgânica na lavoura de cana de açúcar, pela preservação da palhada na colheita, afeta positivamente

os atributos biológicos, químicos e físicos, melhorando a qualidade do solo porém alguns estudos não indicaram diferença entre os sistemas e apontam para o curto tempo de mudança entre as formas de colheita, sugerindo que os efeitos nas propriedades edáficas se dão a médio ou a longo prazo. As alterações positivas relatadas nos atributos microbiológicos se concentraram na camada superficial nos primeiros 10 cm, o que está relacionado à maior atividade biológica e ao menor revolvimento do solo (Tabela 1). Já para os atributos químicos e físicos foram observadas respostas positivas nos primeiros 20 cm, para a fertilidade e a qualidade da MO do solo (Tabelas 2 e 4). Entretanto, os estudos se concentram na camada arável e apenas três, um deles em tabuleiro, investigam os atributos físicos e químicos em camadas além de 60 cm.

Além do efeito direto da deposição de resíduos vegetais com aumento no teor de  $C_{org}$  nas áreas de cana crua, em longo prazo aumentaram os teores de P, K, Ca e Mg nos primeiros 20 cm. Reduziram os teores de Al e foram observados níveis de pH mais adequados para a cultura, com destaque para o cultivo com e sem queima em tabuleiros (Tabela 3). Portanto, além do benefício ambiental, a análise dos trabalhos citados indica que o sistema de colheita da cana crua pode reduzir, em longo prazo, a necessidade de corretivos e fertilizantes na renovação do canavial.

A estabilidade de agregados e a densidade do solo foram os atributos físicos mais estudados (Tabela 4). De forma geral, a estabilidade de agregados aumentou na camada superficial pelo acúmulo de MO da palhada depositada podendo-se observar o aumento da densidade do solo nos estudos com colheita mecanizada verificando-se o mesmo comportamento para a estabilidade de agregados nos solos de tabuleiro embora sem efeito sobre a densidade do solo nas áreas sem queima (Tabela 3). Todavia, verificou-se compactação em solos mais argilosos embora os solos de tabuleiro tenham, em geral, textura média a arenosa em superfície. Por outro lado, predomina nos estudos em tabuleiro a colheita manual, apenas em um experimento (Sant'Ana et al., 2009) a colheita foi mecanizada.

Analisando as pesquisas em solos de tabuleiro os atributos químicos foram os mais estudados, seguidos dos físicos e microbiológicos. Os atributos físicos (Tabela 4) avaliados não suprem a carência de informações sobre a colheita mecanizada e sem queima da cana nesse ambiente. São necessárias mais pesquisas sobre o efeito da mecanização na compactação do solo e na qualidade física de solos de tabuleiros cultivados com cana.

Exceto pelos atributos biológicos, mais relevantes nos primeiros centímetros do solo, em especial quando o revolvimento é menor, as informações sobre efeitos do manejo da colheita em atributos químicos e físicos abaixo da camada arável do solo são insuficientes. Apesar de resultados que mostram menor influência dos sistemas de colheita da cana e da cobertura da palhada após os 30 cm de profundidade, quando ocorre o horizonte coeso, em geral logo abaixo da camada arável, este fator pode ser determinante na produção da cana-de-açúcar. Assim, estudos sobre os efeitos do sistema mecanizado e sem queima na colheita da cana nas camadas mais profundas do solo são relevantes nos solos em ambiente de tabuleiro. Os estudos com maior tempo de adoção do sistema

sem queima resultaram em respostas positivas e significativas mas ainda são necessários experimentos onde ciclos sucessivos da cana crua e mecanizada possam ser investigados, em longo prazo e nas áreas de tabuleiro.

A mudança do sistema de produção da cana com colheita sem queima deverá se dar completamente e em curto prazo. Cabe avaliar as possíveis alterações deste sistema e desenvolver tecnologias para o manejo de fertilizantes minerais e redução da compactação do solo. A presença da palhada na superfície do terreno dificulta a adubação nitrogenada com potencial de maiores perdas de amônia por volatilização. Estudos sobre fontes, doses e formas de aplicação de fertilizantes devem ser intensificados, em especial nos solos de tabuleiros, com maior carência de dados. Também são poucas as informações sobre o aproveitamento do N mineral aplicado sobre resíduos da cana na colheita mecanizada, a dinâmica de decomposição da palha e a relação com a nutrição da cana em longo prazo (Fortes et al., 2011; Franco et al., 2011; Costa et al., 2014). A ciclagem de nutrientes no sistema de produção é fundamental para a sustentabilidade do setor sucroenergético e para a redução dos impactos ambientais.

Um desafio para a lavoura de cana-de-açúcar no Brasil tem sido a adaptação às mudanças no sistema de produção sem diminuir sua produtividade. No ambiente de tabuleiros, como nos demais, conhecer o efeito de práticas agrícolas sobre os atributos edáficos é relevante para a conservação do solo e desenvolvimento de tecnologias, econômica e ambientalmente sustentáveis.

## CONCLUSÕES

1. O conjunto de informações examinado indica que, sem queima e com deposição da palhada sobre o solo, o cultivo da cana-de-açúcar afeta positivamente os atributos microbiológicos, químicos e físicos dos solos melhorando a qualidade do solo, reduzindo sua degradação.
2. Os estudos se concentram na camada arável do solo e com colheita manual e pouco se avaliou sobre os efeitos do cultivo da cana sem queima e mecanizado nas camadas mais profundas o que poderá impor diferenças no manejo sobretudo de solos com ocorrência do caráter coeso, comum na região de tabuleiros.
3. Os trabalhos, em geral de curta duração, não indicaram diferenças nos atributos do solo com a mudança de sistema de colheita. É provável que o acúmulo de palhada em longo prazo resulte em alterações no sistema de manejo da cultura, com lenta e gradual redução da exigência de adubação com a manutenção e aumento da fertilidade do solo.

## AGRADECIMENTOS

Aos autores das teses e dissertações realizadas nos experimentos de longa duração em Linhares e Conceição da Barra (ES) e Timbaúba (PE) que nos cederam as informações; às equipes do Laboratório de Fertilidade de Solo e de Campos dos Goytacazes (UFRRJ) pelo suporte contínuo ao projeto, aos autores e às agências financiadoras das pesquisas citadas.

## LITERATURA CITADA

- Abramo Filho, J.; Matsuoka, S.; Sperandio, M. L. Resíduo da colheita mecanizada de cana crua. *Álcool e Açúcar*, v.67, p.23-25, 1993.
- Anderson, T. H.; Domsch K. H. The metabolic quotient for CO<sub>2</sub> (qCO<sub>2</sub>) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions such as pH, on the microbial biomass of the soil. *Soil Biol Biochem*, v.25, p.393-395, 1993.
- 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.
- Brady, N.C.; Weil, R.R. The nature and properties of soils. 14.ed., Upper Saddle River: Printice Hall, 2008. 965p.
- Braida, J. A.; Reichert, J. M.; Veiga, M.; Reinert, D. J. Resíduos vegetais na superfície e carbono orgânico do solo e suas relações com a densidade máxima obtida no ensaio Proctor. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.30, p.605-614, 2006.
- Canellas, L. P.; Velloso A. C. X.; Marciano, C. R.; Ramalho, J. F. G. P.; Runjanek, V. M. Resende, 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.
- Ceddia, M. B.; Anjos, L. H. C.; Lima, E.; Silva, L. A.; Ravelli Neto, A. Sistemas de colheita de cana-de-açúcar e alterações nas propriedades físicas de um solo Podzólico amarelo no Estado do Espírito Santo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.34, p.1467-1473, 1999.
- Costa, L.G.; Marin, F.R.; Nassif, D.S.P.; Pinto, H.M.S.; Lopes-Assad, M.L.R.C. Simulação do efeito do manejo da palha e do nitrogênio na produtividade da cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.18, p.469-474, 2014.
- Czyzca, R. V. Quantidade e qualidade da matéria orgânica do solo em sistemas de colheita com e sem queima da cana de açúcar. Piracicaba: ESALQ/USP, 2009. 92p. Dissertação Mestrado
- Dlamini, T.C.; Haynes, R.J. Influence of agricultural land use on the size and composition of earthworm communities in Northern KwaZulu-Natal, South Africa. *Soil Ecology*. v.27, p.77-88, 2004.
- Dominguez, D. A. L. Depreciation of cane caused burn fire and by delays in shipping. *International Sugar Journal*, v.25, p.539-540, 1923.
- Dominy, C. S.; Haynes, R. J.; Antwerpen, R. van. 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. (ed.). *Defining soil quality for a sustainable environment*. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p.3-21.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa solos, 2006. 306p.
- FAO-Food and Agriculture Organization of the United Nations. World reference base for soil resources. Rome: ISSS-ISRIC-FAO. 1998. 165 p. World Soil Resources Report n. 84.
- Fonsêca, M. H. P.; Guerra, H. O. C.; Lacerda, R. D.; Barreto, A. N. Uso de propriedades físico-hídricas do solo na identificação de camadas adensadas nos Tabuleiros Costeiros, Sergipe. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.11, p.368-373, 2007.
- Fortes, C.; Trivelin, P. C. O.; Ferreira, D. A.; Vitti, A. C.; Franco, H. C. J.; Otto, R. Recovery of Nitrogen (15N) by Sugarcane from Previous Crop Residues and Urea Fertilisation Under a Minimum Tillage System. *Sugar Tech*, v.13, p.42-46, 2011.
- Franco, H. C. J.; Otto R.; Faroni, C. E.; Vitti, A. C.; Oliveira, E. C. A.; Trivelin, P. C. O. Nitrogen in sugarcane derived from fertilizer in Brazilian field conditions. *Field Crops Research*, v.121, p.29-41, 2011.
- 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.
- Garbiate, M.V.; Vitorino, A. C. T.; Tomasini, B. A.; Bergamin, A. C.; Panachuki, E. Erosão entre sulcos em área cultivada com cana crua e queimada sob colheita manual e mecanizada. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.35, p.2145-2155, 2011.
- Graham, M. H.; Haynes, R. J.; Meyer, J. H. Changes in soil fertility induced by trash retention and fertilizer applications on the long-term trash management trial at Mount Edgecombe. *Proceedings of th South African Sugar Technologists' Association*, v.74, p.109-113, 2000.
- 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 Soil Science*, v.53, p.589-598, 2002a.
- Graham, M. H.; Haynes, R. J.; Meyer, J. H. Soil organic matter content and quality: Effects of fertilizer applications, burning and trash retention on a long-term sugarcane experiment in South Africa. *Soil Biology and Biochemistry*, v.34, p.93-102, 2002b.
- Graham, M. H.; Haynes, R. J.; Zelles, L. E.; Meyer, J. H. Long-term effects of green cane harvesting versus burning on the size and diversity of the soil microbial community. *Proceedings of th South African Sugar Technologists' Association*, v.75, p.228-234, 2001.
- Guedes, C. A. B. Volatilização de N e alterações químicas do solo sob cultivo de cana de açúcar com aplicação de vinhaça e diferentes formas de colheita. Seropédica: UFRRJ, 2002. 90p. Dissertação Mestrado
- Lado, M.; Paz, A.; Bem-Hur, M. Organic matter and aggregate size interactions in infiltration, seal formation, and soil loss. *Soil Science Society of America Journal*, v.68, p.935-942, 2004.
- Larson, W. E.; Pierce, F. J. The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management. In: Doran, J. W.; Coleman, D. C.; Bezdcek, D. F.; Stewart, B. A. (ed.) *Defining soil quality for a sustainable environment*. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p. 37-51.

- Leme Filho, J. R. A. Desenvolvimento da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) sob diferentes formas de colheita e de manejo do palhicho. Piracicaba: ESALQ/USP, 2009. 111p. Tese Doutorado
- Lima, H. V.; Silva, A. P.; Jacomine, P. T. K.; Romero, R. E.; Libardi, P. L. Identificação e caracterização de solos coesos no estado do Ceará. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.28, p.467-476, 2004.
- Luca, E. D.; Feller, C.; Cerri, C. C.; Barthès, B.; Chaplot, V.; 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.
- Melo, D. A. A cultura da cana. *Ceres*, v.2, p.176-183, 1940.
- Mendoza, H. N. S.; Lima, E.; Anjos, L. H. C.; Silva, L. A.; Ceddia, M. B.; Antunes, M. V. M. Propriedades químicas e biológicas de solo de tabuleiro cultivado com cana-de-açúcar com e sem queima da palhada. *Revista Brasileira Ciência do Solo*, v.24, p.201-207, 2000.
- Mui, N. T.; Preston, T. R.; Binh, D. V.; LY, L. V.; Ohlsson, I. Effect of management practices on yield and quality of sugar cane and on soil fertility. *Livestock Research for Rural Development*, v.8, p.51-60, 1996.
- 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.133-1144, 2003.
- Odum, H. T. *Systems Ecology: An Introduction*. New York: John Wiley, 1983. 644p.
- Paredes Júnior, F. P. Bioindicadores de qualidade do solo em cultivos de cana-de-açúcar sob diferentes manejos. Aquidauana: UEMS, 2012. 95p. Dissertação Mestrado
- Oliveira, V. S.; Rolim, M. M.; Vasconcelos, R. F. B.; Costa, Y. D. J.; Pedrosa, E. M. R. Compactação de um Argissolo Amarelo distrocoeso submetido a diferentes manejos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.14, p.914-920, 2010.
- 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 Soil*, v.333, p.71-80, 2010.
- Resende, A. S.; Xavier, R. P.; Oliveira, O. C.; Urquiaga, S.; Alves, B. J. R.; Boddey, R. M. Long-term effects of pre-harvest burning and nitrogen and vinasse applications on yield of sugar cane and soil carbon and nitrogen stocks on a plantation in Pernambuco, N. E. Brazil. *Plant Soil*, v.281, p.339-351, 2006.
- Robertson, F. A.; Thorburn, P. J. Crop residue effects on soil C and N cycling under sugarcane. In: Rees, R. M.; Ball, B. C.; Campbell, C. D.; Watson, C. A. (ed.). *Sustainable management of soil organic matter*. Wallingford: CAB International, 2001. p.112-119.
- Robertson, F. A.; Thorburn, P. J. Management of sugarcane harvest residues: consequences for soil carbon and nitrogen. *Australian Journal of Soil Research*, v.45, p.13-23, 2007.
- Sant'Anna, S. A. C.; Fernandes, M. F.; Ivo, W. M. P. M.; Costa, J. L. S. Evaluation of soil quality indicators in sugarcane management in sandy loam soil. *Pedosphere*, v.19, p.312-322, 2009.
- Shikida, P. F. A.; Junqueira, C. P.; Sterchile, S. P. W. Mudanças no padrão tecnológico do corte de cana-de-açúcar: Uma análise preliminar do caso paranaense. *Revista Ciências Empresariais-UNIPAR*, v.8, p.7-32, 2007.
- Silva, A. J. N.; Cabeda, M. S. V. Modificações na matriz de um Argissolo Amarelo Coeso sob diferentes sistemas de manejo com cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.10, p.554-562, 2006.
- Silva, W. R. N.; Nunes, M. C. M.; Caldeira, D. S. A.; Arantes, E. M.; Souza, L. H. C. Resistência à penetração de um latossolo vermelho sob cultivo de cana-de-açúcar em diferentes manejos. *Revista Agrotecnologia*, v.3, p.49-61, 2012.
- Souza, R. A.; Telles, T. S.; Machado, W.; Hungria, M.; Tavares Filho, J.; Guimarães, M. F. Effects of sugarcane harvesting with burning on the chemical and microbiological properties of the soil. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v.155, p.1-6, 2012.
- Souza, Z. M.; Beutler, N. A.; Prado, R. M.; Bento, M. J. C. Efeito de sistemas de colheita de cana-de-açúcar nos atributos físicos de um Latossolo Vermelho. *Científica*, v.34, p.31-38, 2006.
- 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.
- Sutton, M. R.; Wood, A. W.; Saffigna, P. G. Long term effects of green cane trash retention on Herbert River soils. In: Wilson, J. R.; Hogarth, D. M.; Campbell, J. A.; Garside, A. L. (ed.). *Sugarcane: Research towards efficient and sustainable production*. Brisbane: CSIRO Tropical Crops and Pastures, 1996. p.178-180.
- Szakács, G. G. J. Estoques de carbono e agregados do solo cultivado com cana-de-açúcar: efeito da palhada e do clima no centro-sul do Brasil. Piracicaba: CENA-USP, 2007. 115p. Tese Doutorado
- Valsechi, O. A queima da cana-de-açúcar e suas consequências. Piracicaba: ESALQ/USP, 1951. 129p. Tese Livre Docência
- Vasconcelos, R. F. B.; Cantalice, J. R. B.; Oliveira, V. S. O.; Costa, Y. D. J.; Cavalcante, D. M. Estabilidade de agregados de um Latossolo Amarelo distrocoeso de tabuleiro costeiro sob diferentes aportes de resíduos orgânicos da cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.34, p.309-316, 2010.
- Vasconcelos, R. F. B.; Souza, E. R.; Cantalice, J. R. B.; Silva, L. S. Qualidade física de Latossolo Amarelo de tabuleiros costeiros em diferentes sistemas de manejo da cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.18, p.381-386, 2014.
- Vezzani, F. M.; Mielniczuk, J. Uma revisão sobre qualidade do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.33, p.743-755, 2009.
- Wiedenfeld, B. Effects of green harvesting vs burning on soil properties, growth and yield of sugarcane in South Texas. *Journal of the American Society of Sugarcane Technologists*, v.29, p.102-109, 2009.