



**DIFERENTES NÍVEIS DE PALHADA DE CANA-DE-AÇÚCAR PODEM INFLUENCIAR OS ESTOQUES DE CARBONO NO SOLO?**

Kelvin Lucas **Toledo**<sup>1</sup>; Ademir Rodrigo F. V. B. de **Lima Amaro**<sup>2</sup>; Iracema A. M. **Degaspari**<sup>3</sup>; Nilza P. **Ramos**<sup>4</sup>; Ana Paula **Packer**<sup>5</sup>

**Nº 15419**

**RESUMO** – *A produção de energia proveniente da cana-de-açúcar requer racionalização do uso de insumos e a reciclagem de nutrientes no sistema de produção, visando à redução e mitigação dos impactos ambientais. O objetivo deste trabalho foi quantificar os teores totais e os estoques de carbono (C) e de nitrogênio (N) de solo cultivado com cana-de-açúcar, em função de 4 níveis de palha (aproximadamente, 3, 6, 9, 12 t ha<sup>-1</sup>) e o tratamento controle, sem a presença de palha sobre o solo. As amostras foram coletadas após dois anos consecutivos de disposição da palha sobre o solo, referente as safras de 2012/2013 e 2013/2014, em 7 profundidades 0-5, 5-10, 10-20, 20-40, 40-60, 60-80, 80-100 cm, e três posições de coleta Linha de plantio (L), Entrelinha (EL) e Intermediária (I), localizada entre a linha e a entrelinha. Após o período analisado, não foram observadas diferenças significativas nos teores e nos estoques de C e de N em função da quantidade de palha, no entanto houve diferença estatística entre a variável densidade e posição de coleta.*

**Palavras-chaves:** concentração de C e N, estoque de C e N, densidade do solo, manejo da palha.

1 Autor, Bolsista Embrapa: Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária, PUCC, Campinas-SP; kelvinlucas\_toledo@hotmail.com

2 Colaborador: Engenheiro Ambiental, Faculdade de Jaguariúna-FAJ, Jaguariúna-SP.

3 Colaborador, Bolsista Capes-Embrapa: doutoranda Instituto Agrônomo de Campinas/IAC, Campinas-SP.

4 Colaborador Pesquisador da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna-SP.

5 Orientador: Pesquisador da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna-SP; paula.packer@embrapa.br



**ABSTRACT-** *Production of energy from sugarcane requires rational use of agricultural inputs and nutrient cycling in the production system, aiming at the reduction and mitigation of environmental impacts. The objective of this study was to quantify the total levels and the stock of carbon (C) and nitrogen (N) and the stocks in soil cultivated with sugarcane, with four straw levels left on the soil surface (approximately, 3, 6, 9, 12 t ha<sup>-1</sup>) and the control treatment, without straw. Samples were collected at after two consecutive years of disposal of straw on the ground regarding the harvests of 2012/2013 and 2013/2014, at seven depths 0-5, 5-10, 10-20, 20-40, 40-60, 60-80, 80-100 cm, at three sampling positions, planting Line (L), Line Spacing (EL) and Intermediate (I), located between the line and de line spacing. After two years no significant differences were observed in the levels and stocks of C and N related to the quantity of straw proposed in this study, however significant differences were observed between density and collection position.*

**Key-words:** concentration of C and N, C and N stock, bulk density, soil and straw management.

## 1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de alternativas aos combustíveis convencionais de hoje, uma transição para recursos e sistemas sustentáveis de energia cria a oportunidade de abordar múltiplas necessidades ambientais, econômicas e de desenvolvimento. Neste contexto, a biomassa é um recurso renovável que pode atingir emissões de carbono baixas ou quase nulas, desde que tecnologias apropriadas de conversão sejam usadas e que as matérias-primas utilizadas sejam geridas de forma sustentável (FAPESP, 2010).

De todas as opções disponíveis, o etanol de cana-de-açúcar é o combustível de biomassa de maior êxito comercial sendo produzido atualmente. O setor produtivo da cana-de-açúcar estimulado principalmente pelo incentivo ao consumo de combustíveis menos poluentes tem se expandido nos últimos anos. O Brasil é atualmente o maior produtor de cana, sendo responsável por um terço da colheita no mundo (CONAB, 2015).

A produção de energia renovável por meio da biomassa de cana-de-açúcar e a sustentabilidade do setor sucroenergético requerem racionalização do uso de insumos e a reciclagem de nutrientes no sistema de produção, visando à redução e mitigação dos impactos ambientais (GOLDEMBERG, 2007; LISBOA, et al., 2011).



## 9º Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica – CIIC 2015 10 a 12 de agosto de 2015 – Campinas, São Paulo

Sob o ponto de vista da ciclagem de nutrientes, a palhada atualmente é classificada como fonte potencial de energia tanto para geração de eletricidade, matéria prima para geração de etanol de segunda geração e elemento importante no manejo do solo (FORTES, 2010), deixando de ser tratada como um resíduo e passando ao patamar de co-produto. Os primeiros atos para redução e mitigação dos impactos ambientais do setor foram implementados no estado de São Paulo, com a Lei Estadual no 11.241/2002 que dispõe sobre a eliminação gradativa da queima da palha da cana-de-açúcar (SÃO PAULO, 2002; CERRI et al., 2007; SIGNOR et al., 2014). A colheita da cana-de-açúcar sem queima pode aumentar o teor de C no solo. Dentre os potenciais benefícios da palha no campo pode-se destacar o efeito da matéria orgânica do solo, melhora os atributos físico-hídricos e fertilidade do solo (CANELLAS et al., 2007 e LUCA et al., 2008). Atualmente, a quantidade de palhada a ser deixada no campo pode variar de 5 a 15 Mg ha<sup>-1</sup> dependendo, dentre outros fatores, da demanda industrial, especialmente com o incentivo para a cogeração de energia elétrica.

Sabe-se que a quantidade total de carbono orgânico armazenado no solo é resultante do balanço do fluxo de carbono, estocado e emitido pelo solo (KUTSCH et al., 2009; CERRI et al., 2011; CERRI et al., 2007). O C armazenado no solo, que em termos globais representa mais de três vezes a quantidade de C presente na atmosfera (LAL, 2008, JANZEN, 2004), encontra-se principalmente na forma de compostos orgânicos, englobando os restos de plantas e de animais em diferentes estágios de decomposição e das substâncias derivadas da atividade biológica da população viva do solo (KUTSCH et al., 2009).

O objetivo deste trabalho foi quantificar os teores e estoque de carbono e de nitrogênio, bem como a densidade do solo cultivado com cana-de-açúcar em função da presença de cinco níveis de palha sobre o solo (0, 25, 50, 75 e 100%). As amostras foram coletadas em três posições, correspondendo a linha (L), entrelinha (EL) e intermediária (I), localizada entre a linha e a entrelinha, até 1 m de profundidade.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado em área de cultivo comercial de cana-de-açúcar na cidade de Iracemápolis-SP, em dezembro de 2012, situada à 608 metros de altitude (Latitude: 22° 34' 53" Sul Longitude: 47° 31' 11" Oeste), com a variedade de cana CTC-14 que apresenta baixa exigência em fertilidade e é considerada de ciclo médio de maturação, em Latossolo Vermelho Amarelo, textura argilosa, segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2007) e com declividade inferior a 4%. Em Iracemápolis, a temperatura média foi de 20,4 °C e pluviosidade



**9º Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica – CIIC 2015**  
**10 a 12 de agosto de 2015 – Campinas, São Paulo**

média anual de 1294 mm. A adubação, nas duas safras analisadas, seguiu as quantidades utilizadas comercialmente, na qual foram aplicadas 120 kg ha<sup>-1</sup> de N e 130 kg ha<sup>-1</sup> K, na forma de nitrato de amônio e cloreto de potássio, respectivamente.

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com quatro repetições, cinco tratamentos, num total de 20 parcelas contendo dez linhas de 20 m de comprimento cada, com espaçamento de 1,5 m entre as linhas, totalizando 300 m<sup>2</sup>.

Os tratamentos foram constituídos por cinco níveis (05, 50, 75 e 100%) de palha deixados sobre a superfície do solo, correspondendo a aproximadamente 0, 3, 6, 9, 12 t ha<sup>-1</sup>, sendo o tratamento controle representado pela ausência de palha sobre o solo. Estes níveis foram determinados em função dos resíduos da colheita deixados sobre o solo por dois anos consecutivos.

Para a determinação da densidade aparente, foram abertos perfis de solo após dois anos de disposição da palha, nas parcelas de cada bloco foram retiradas amostras indeformadas das paredes dos perfis das trincheiras, em sete profundidades, 0-5, 5-10, 10-20, 20-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm e em três posições (linha de plantio, entrelinha e intermediária entre a linha e a entrelinha) (BODDEY et al., 2010). A densidade foi determinada após secagem do solo contido no interior do anel a 110°C por 48 horas, utilizando o método descrito pela Embrapa (1997).

Para a determinação de carbono e nitrogênio total, em cada parcela foram amostrados 15 pontos com auxílio de trado, nas mesmas profundidades descritas anteriormente para as amostras indeformadas, porém homogeneizadas, para obter melhor representatividade da área e profundidade. As amostras de solo foram secas a 40°C, moídas e peneiradas em malha de 100 mesh. Os teores de C e N foram determinados pelo método de combustão (via seca) em equipamento analisador Elementar CN da Leco.

Os estoques de C e N foram calculados a partir dos resultados dos teores de C e N e dos valores de densidade. O carbono acumulado em cada camada de solo estudada (estoque de carbono orgânico) foi calculado utilizando-se a expressão descrita por Freixo et al. (2002), equação 1:

$$EstC = CO_{total} * Ds * \frac{e}{10} \quad (1)$$

*EstC* = estoque de carbono orgânico na camada estudada (Mg ha<sup>-1</sup>);  
*CO<sub>total</sub>* = carbono orgânico total (g kg<sup>-1</sup>);  
*Ds* = densidade do solo da camada estudada (Mg m<sup>-3</sup>);  
*e* = espessura da camada estudada (m).



**9º Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica – CIIC 2015**  
**10 a 12 de agosto de 2015 – Campinas, São Paulo**

Os resultados foram analisados para os fatores de quantidade de palha e profundidade, considerando a montagem do experimento em blocos ao acaso, utilizando análise de variância (ANOVA), seguido do teste de Tukey, quando necessário, para comparação de médias entre os resultados obtidos, com nível de significância ( $P < 0,05$ ). Para a densidade do solo, os resultados foram analisados utilizando fatorial duplo, considerando os níveis de palha e a posição de amostragem (linha, entrelinha e intermediária).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados de densidade do solo variaram em relação à posição na linha, intermediária e entrelinha (Tabela 1). Os resultados apresentados mostram que ocorreu um efeito significativo entre densidade e posição de amostragem, mas sem efeito significativo para a quantidade de palha. Na Tabela 1, para a profundidade de 0-5, 5-10 e 10-20 cm a densidade na linha (L) de plantio, foi menor do que na entrelinha (EL) e intermediária (I, entre a linha e a entrelinha). Tanto a posição intermediária como a entrelinha apresentaram maior densidade, devido a compactação do solo proveniente do elevado nível de mecanização dessa cultura (QUEIROZ-VOLTAN et al., 1998). Os resultados apresentados na Tabela 1, indicam que a partir da camada 40-60 cm ocorre uma diminuição da densidade do solo, para as três posições de coleta (L, EL e I) devido maior volume e exploração de raízes em função da necessidade de sustentação da planta e exploração de água, ocasionando redução da densidade do solo em camadas mais profundas (PAULINO et al., 2011, FREIXO et al., 2002).

**Tabela 1.** Valores médios de densidade do solo ( $\text{g cm}^{-3}$ ) dos tratamentos, em função da profundidade e da posição de amostragem a partir da linha.

Profundidade	Posição			Média
	Linha	Intermediária	Entrelinha	
cm		$\text{g/cm}^3$		
0 - 5	1,15 a	1,23 b	1,23 b	1,21
5 - 10	1,21 a	1,30 b	1,33 b	1,30
10 - 20	1,28 a	1,30 b	1,32 b	1,28
20 - 40	1,23 a	1,24 a	1,28 a	1,25
40 - 60	1,13 a	1,15 a	1,16 a	1,14
60 - 80	1,03 a	1,04 a	1,04 a	1,04
80 - 100	1,01 a	1,02 a	1,03 a	1,02

\* Letras minúsculas nas colunas, os resultados diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.



**9º Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica – CIIC 2015**  
**10 a 12 de agosto de 2015 – Campinas, São Paulo**

Os tratamentos, - 25, 50, 75 e 100% de palha, após dois anos consecutivos de disposição da palha sob o solo não apresentaram diferenças significativas com o controle (0% palha), para as variáveis analisadas, densidade, concentração de C e de N, estoque de C e N, e a relação C/N. Como não houve efeito significativo, optou-se em calcular a média dos cinco tratamentos para todas as variáveis analisadas com o intuito de verificar as tendências em relação à profundidade. Para a comparação dos estoques de C e N ao longo do perfil do solo, das camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm seus valores foram somados. Para as profundidades até 40 cm, os resultados foram significativamente maiores para todos os parâmetros analisados. O acúmulo de matéria orgânica nas camadas superiores do solo resultou em maiores estoques de C, e o maior estoque de N, é explicado como resultado da mineralização da palha pela aplicação de fertilizante, quando comparado as demais profundidades do perfil (LAL, 2011). Quanto a relação C/N maior na superfície, indica uma menor decomposição da palhada, onde se concentra a deposição da palha fresca com alta relação C/N (LUCA et al., 2008).

**Tabela 2.** Média e desvio dos resultados de densidade, teor de C e N, estoque de C e N e a relação C/N para as profundidades descritas. Para a comparação estatística dos estoques de C e N, as camadas 0-5, 5-10 e 10-20 cm foram somadas para definição da camada de 0-20 cm.

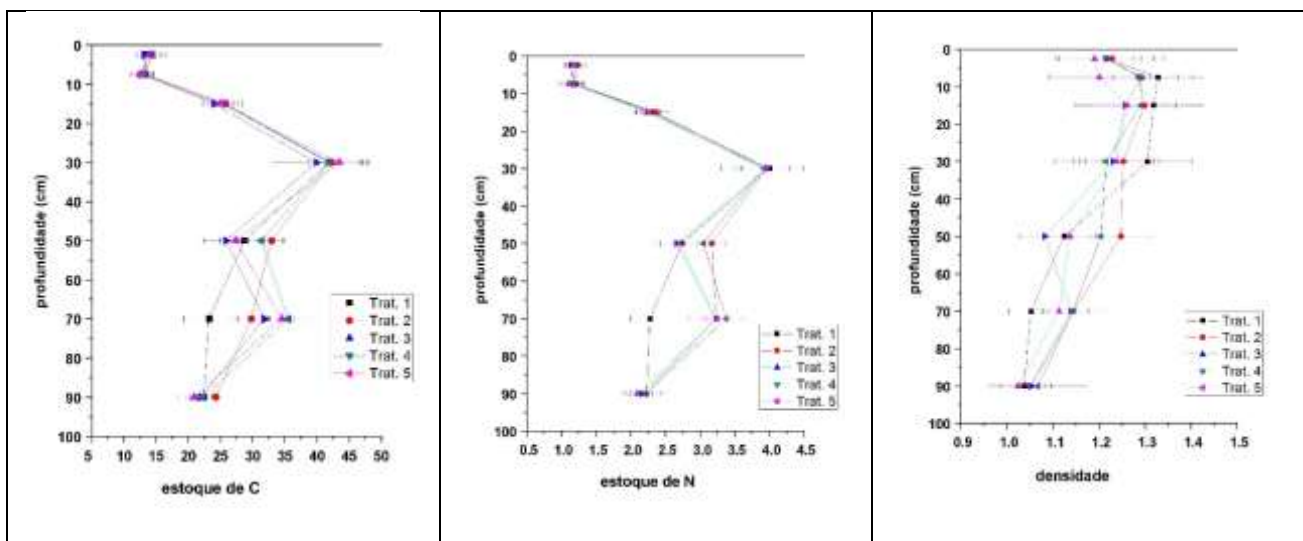
<b>Profundidade</b>	<b>Densidade</b>	<b>Teor de C</b>	<b>Teor de N</b>	<b>Estoque de C</b>	<b>Estoque de N</b>	<b>C/N</b>
<b>cm</b>	<b>g/cm<sup>3</sup></b>	<b>%</b>	<b>%</b>			
0-5	1.21 ± 0.06 <b>a</b>	2.28 ± 0.20 <b>a</b>	0.194 ± 0.012 <b>a</b>	13.8 ± 1.4	1.75 ± 0.69	11.7 ± 0.7 <b>a</b>
5-10	1.28 ± 0.07 <b>b</b>	2.03 ± 0.11 <b>b</b>	0.183 ± 0.012 <b>b</b>	13.0 ± 1.0	1.17 ± 0.10	11.1 ± 0.6 <b>ab</b>
10-20	1.28 ± 0.06 <b>b</b>	1.96 ± 0.10 <b>b</b>	0.179 ± 0.010 <b>b</b>	25.2 ± 1.7	2.29 ± 0.14	11.0 ± 0.5 <b>b</b>
0-20				52,0 ± 3.7 <b>a</b>	5,22 ± 0,86 <b>a</b>	
20-40	1.25 ± 0.06 <b>ab</b>	1.67 ± 0.17 <b>c</b>	0.158 ± 0.014 <b>c</b>	41.8 ± 5.1 <b>b</b>	3.96 ± 0.41 <b>b</b>	10.6 ± 0.7 <b>bc</b>
40-60	1.15 ± 0.06 <b>c</b>	1.34 ± 0.17 <b>d</b>	0.132 ± 0.014 <b>d</b>	30.6 ± 4.0 <b>c</b>	3.01 ± 0.33 <b>c</b>	10.2 ± 0.7 <b>c</b>
60-80	1.04 ± 0.06 <b>d</b>	1.15 ± 0.14 <b>e</b>	0.115 ± 0.017 <b>e</b>	23.8 ± 3.1 <b>d</b>	2.38 ± 0.41 <b>d</b>	10.1 ± 0.9 <b>c</b>
80-100	1.02 ± 0.07 <b>d</b>	1.08 ± 0.11 <b>e</b>	0.109 ± 0.015 <b>e</b>	22.2 ± 3.0 <b>d</b>	2.24 ± 0.39 <b>d</b>	10.0 ± 0.9 <b>c</b>

\* Letras minúsculas nas colunas, os resultados diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A Figura 1 e a Tabela 2, apresentam os resultados para estoque de C e N, e densidade ao longo do perfil do solo. O estoque de C acumulado na camada de 0-20 cm foi em média de 51,97 Mg ha<sup>-1</sup> e se aproximou aos 57,9 ± 8,3 Mgha<sup>-1</sup> apresentado por outros trabalhos (LUCA et al. 2008; SIGNOR et al. 2014), mas não diferiu entre o tratamento controle e com níveis de palha estudados. A somatória média total de estoque de C (até 1 m de profundidade) foi de 170Mgha<sup>-1</sup>. Se



considerarmos os primeiros 0-40 cm de profundidade do solo, cerca de 55% de C foi acumulado nesta camada, e se considerarmos a camada 0-60 cm, refere-se à 73% do total. Apesar dos diferentes níveis de palha estudados neste trabalho não apresentarem diferenças significativas, sabe-se que o solo é um compartimento com elevado potencial para estocar CO<sub>2</sub> atmosférico. Quando se mantêm os resíduos vegetais de colheita, permitindo acelerar os estoques proveniente da matéria orgânica vegetal (LAL, 2011, CERRI et al. 2007, CERRI et al., 2011, de LUCA et al., 2008).



**Figura 1.** Estoques de C e N ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) e densidade ( $\text{g cm}^3$ ) ao longo do perfil do solo, para os tratamentos de 1 a 5, equivalentes respectivamente a 0, 25, 50, 75 e 100 % de palha.

#### 4 CONCLUSÃO

Dois anos de disposição de palha sobre o solo não propiciou significativos aumentos de estoque de carbono nas profundidades avaliadas, mas mostrou a importância em se distinguir a posição de amostragem (linha, entrelinha e intermediária entre a linha e a entrelinha). A diferença entre a densidade na posição de amostragem, mostram uma maior compactação do solo na entrelinha devido ao tráfego de máquinas pesadas no canavial.

#### 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BODDEY, R. M.; JANTALIA, C. P.; CONCEIÇÃO, P. C.; ZANATTA, J. A.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; DIECKOW, J.; SANTOS, H. P.; DENARDIN, J. E.; AITA, C.; GIACOMINI, S. J.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S. **Carbon accumulation at depth in Ferrasols under zero-till subtropical agriculture.** Global Change Biology, v. 16, p. 784-795, 2010.



**9º Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica – CIIC 2015**  
**10 a 12 de agosto de 2015 – Campinas, São Paulo**

- 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. & MARTIN-NETO, L. **Estoque e qualidade da matéria orgânica de um solo cultivado com cana-de-açúcar por longo tempo.** R. Bras. Ci. Solo, 3, 331-340, 2007
- CERRI, C. E.P., SPAROVEK, G., BERNOUX, M., EASTERLING, W. E., MELILLO, J. M., CERRI, C. C. **Tropical Agriculture and Global Warming: Impacts and Mitigation Options.** Scientia Agricola, 64, 83-99, 2007.
- CERRI, C.C.; GALDOS, M.; MAIA, S.; BERNOUX, M.; FEIGL, B.; 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, 62, 23–28, 2011.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento, Acompanhamento de safra brasileira: cana-de-açúcar, primeiro levantamento, abril/2015. Brasília, 2015.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo.** 2.ed. Brasília, 212p., 1997.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** Brasília: Embrapa-SPI; Rio de Janeiro: Embrapa-Solos: EMBRAPA, 2006.
- FAPESP (2010). **Um futuro com energia sustentável: iluminando o caminho.** (M. C. Borba, & N. F. Gaspar, Trans.) São Paulo: Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo.
- FORTES, C. **Produtividade de cana-de-açúcar em função da adubação nitrogenada e da decomposição da palhada em ciclos consecutivos.** 2010, 147 p. Tese (Doutorado em Ciências) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Piracicaba.
- FREIXO, A.A.; MACHADO, P.L.O.A.; GUIMARÃES, C.M.; SILVA, C.A. & FADIGAS, F.S. **Estoques de carbono e nitrogênio e distribuição das frações orgânicas de um Latossolo do cerrado sob diferentes sistemas de cultivo.** R. Bras. Ci. Solo, v.26, p. 425-434, 2002.
- GOLDEMBERG, J. (2007). **Ethanol for a Sustainable Energy Future.** Science, 315, 808-810.
- JANZEN, H. H. **Carbon cycling in earth systems - a soil science perspective.** Agriculture, Ecosystems & Environment, v.104, p.399-417, 2004.
- KUTSCH, W. L.; BAHN, M.; HEINEMEYER, A. **Soil Carbon Dynamics: An Integrated Methodology.** Cambridge University Press, 2009.
- LAL, R. **Sequestering carbon in soils of agro-ecosystems.** Food Policy, 36, 533-539, 2011.
- LISBOA, C. C.; BUTTERBACH-BAHL, K.; MAUDER, M.; KIESE, R. **Bioethanol production from sugarcane and emissions of greenhouse gases – known and unknowns.** GCB Bioenergy, v. 3, p. 277–292, 2011.
- LUCA, E.F.; FELLER, C.; CERRI, C.C.; BARTHES, 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.** R. Bras. Ci. Solo, 32:789-800, 2008.
- 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, n.3, p.244–249, 2011.
- QUEIROZ-VOLTAN, R.B.; do PRADO, H.; MORETTI, F.C. **Aspectos estruturais de raízes de cana-de-açúcar sob o efeito da compactação do solo.** Bragantia, v. 57, n.1, 1998.





**9º Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica – CIIC 2015**  
**10 a 12 de agosto de 2015 – Campinas, São Paulo**

SÃO PAULO. (20 de setembro de 2002). **Lei n. 11.241, de 19 de setembro de 2002.** Dispões sobre a eliminação gradativa da queima da palha da cana-de-açúcar e dá providências correlatas. Diário Oficial do Estado de São Paulo(n. 180) . São Paulo.

SIGNOR, D., ZANI, C. F., PALADINI, A. A., DEON. M. D., CERRI, C. E. P. **Estoques de carbono e qualidade da matéria orgânica do solo em áreas cultivadas com cana-de-açúcar.** R. Bras. Ci. Solo, 38:1402-1410, 2014.