

**LURDINEIDE DE ARAÚJO BARBOSA BORGES**

**Atributos químicos, acúmulo de carbono e nitrogênio e nutrição da cana-de-açúcar orgânica em Latossolo de Cerrado**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Federal de Goiás, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Agronomia, área de concentração: Solo e Água.

Orientadora:

**Profa. Dra. Beata Emöke Madari**

Co-orientadores:

**Prof. Dr. Bruno José Rodrigues Alves**

**Prof. Dr. Paulo Marçal Fernandes**

Goiânia, GO – Brasil  
2013

**LURDINEIDE DE ARAÚJO BARBOSA BORGES**

**Atributos químicos, acúmulo de carbono e nitrogênio e nutrição da cana-de-açúcar orgânica em Latossolo de Cerrado**

Tese DEFENDIDA e APROVADA em 03 de julho de 2013, pela Banca Examinadora constituída pelos membros:

---

Prof. Dr. Cícero Célio de Figueiredo  
Examinador externo/UnB

---

Profa. PhD. Maria Lucrécia Gerosa Ramos  
Examinadora externa - UnB

---

Dra. Mellissa Ananias Soler da Silva  
Examinadora externa Embrapa/CNPAP

---

Prof. Dr. Wilson Mozena Leandro  
Examinador interno - UFG

---

Profa. PhD. Beata Emöke Madari  
Orientadora – EmbrapaCNPAP/UFG

Goiânia, Goiás  
Brasil

## DEDICATÓRIA

*Dedico esta tese a toda minha família, composta por verdadeiros mestres, modelos reais de perseverança, parceria, dedicação, paciência e ética.*

*Em especial:*

*Aos meus pais Carlito Ferreira Barbosa e Maria de Lourdes de A. Barbosa, que com amor, me ensinaram a ser uma pessoa justa, simples, honesta e dedicada.*

*Ao meu esposo Díbio Leandro Borges, pelo apoio, incentivo, companheirismo, amor e cumplicidade.*

*Aos meus irmãos Carlos Alexandre, Solange e Maria Luciene.*

*E ao meu amado filho Díbio Barbosa de Bessa e Borges.*

*“Bom mesmo é ir à luta com determinação  
Abraçar a vida com paixão, perder  
com classe e vencer com ousadia,  
pois o triunfo pertence a quem se atreve...”*

*Charles Chaplin*

## AGRADECIMENTOS

**Agradeço a todos que...**

**... me orientaram com paciência e sabedoria:**

Meus orientadores: Beata Emöke Madari, Paulo Marçal Fernandes e Bruno J. R. Alves.

**... me ajudou nas análises estatísticas com eficiência e eficácia:**

Professor Alexandre Siqueira Guedes Coelho.

**...tornaram possível a dedicação exclusiva à pesquisa, por meio de bolsa de estudos:**

Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq.

**... financiaram e apoiaram o projeto:**

Usina Jalles Machado e Embrapa Arroz e Feijão – CNPAF.

**... gentilmente me ajudaram nas coletas de campo:**

Ivan Gomes dos Santos, Márcio Ricardo da Silva, Giselli Lacerda Camilo, Oscar Reis, Calinhos, Penha e toda a equipe de campo da Usina Jalles Machado.

**...me ajudaram no trabalho de laboratório com competência e profissionalismo:**

Wesley Gabriel de Oliveira Leal, Adilson Francisco da Costa Vilela, Silvio Domingos de Rezende, Ivã Matsushige, Roberto Carlos Gomes dos Santos, Diego Mendes de Souza, Erick Gomes Marçal.

**...me deram apoio irrestrito na Usina Jalles Machado:**

Rogério Augusto Bremm Soares, Edgar Alves, Patrícia Resende Fontoura, Ivan Gomes dos Santos, Vicente e toda equipe de campo.

**...contribuíram com aulas e sugestões em todas as etapas do trabalho:**

João Batista Duarte, Humberto José Kliemann, Paulo Marçal Fernandes, Wilson Leandro Mozena, Magda Beatriz.

A Universidade Federal de Goiás pela oportunidade de realização do curso de graduação e doutorado.

Ao Secretário da Pós-Graduação da UFG Weliton Mota, pelo profissionalismo e cuidado de sempre.

Ao meu querido esposo Díbio Leandro Borges, pela família linda que juntos estamos constituindo.

**Muito Obrigada a todos!**

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	8
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	9
<b>RESUMO GERAL</b> .....	11
<b>GENERAL ABSTRACT</b> .....	12
<b>1 INTRODUÇÃO GERAL</b> .....	13
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	15
2.1 A CANA-DE-AÇÚCAR .....	15
2.2 AGRICULTURA ORGÂNICA .....	17
2.3 ADUBAÇÃO E NUTRIÇÃO EM SISTEMAS DE CULTIVO ORGÂNICO	20
2.5 ESTOQUE DE CARBONO E NITROGÊNIO NO SOLO .....	24
2.6 REFERÊNCIAS .....	27
<b>3 EFEITO DO CULTIVO ORGÂNICO DA CANA-DE-AÇÚCAR NA FERTILIDADE DE UM LATOSSOLO VERMELHO NO CERRADO</b> .....	32
RESUMO .....	32
ABSTRACT .....	33
3.1 INTRODUÇÃO .....	33
3.2 MATERIAL E MÉTODOS .....	35
3.2.1 Localização das áreas de estudo .....	35
3.2.2 Descrição e histórico das áreas de estudo .....	36
3.2.3 Amostragem .....	37
3.2.4 Análise laboratorial .....	38
3.2.5 Análise estatística .....	39
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	39
3.4 CONCLUSÕES .....	47
3.5 REFERÊNCIAS .....	48
<b>4 NUTRIÇÃO, PRODUTIVIDADE, EXTRAÇÃO E EXPORTAÇÃO DE NUTRIENTES EM CANAVAIS CULTIVADOS EM SISTEMA ORGÂNICO E CONVENIONAL</b> .....	51
RESUMO .....	51
ABSTRACT .....	52
4.1 INTRODUÇÃO .....	53

4.2	MATERIAL E MÉTODOS .....	55
4.2.1	Localização das áreas de estudo .....	55
4.2.2	Descrição e histórico das áreas de estudo .....	56
4.2.3	Amostragem .....	58
4.2.4	Avaliação do estado nutricional da cana-de-açúcar .....	58
4.2.5	Avaliação da produção total de colmos .....	58
4.2.6	Avaliação da produtividade da cana-de-açúcar .....	58
4.2.7	Avaliação da produção de matéria seca e extração de nutrientes pela parte aérea da cana-de-açúcar .....	59
4.2.8	Análise estatística .....	59
4.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	60
4.3.1	Estado nutricional da cana-de-açúcar .....	60
4.3.2	Produção total de colmos .....	73
4.3.3	Produtividade da cana-de-açúcar .....	75
4.3.4	Acúmulo de matéria seca pela parte aérea da cana-de-açúcar .....	78
4.3.5	Extração e exportação de nutrientes pela cana-de-açúcar .....	79
4.4	CONCLUSÕES .....	85
4.5	REFERÊNCIAS .....	86
5	<b>ESTOQUE DE CARBONO E NITROGÊNIO NO SOLO EM ÁREAS DE CERRADO CULTIVADO COM CANA-DE-AÇÚCAR EM SISTEMA ORGÂNICO E CONVENCIONAL .....</b>	<b>91</b>
	RESUMO .....	91
	ABSTRACT .....	92
5.1	INTRODUÇÃO .....	93
5.2	MATERIAL E MÉTODOS .....	94
5.2.1	Localização das áreas de estudo .....	94
5.2.2	Descrição e histórico das áreas de estudo .....	95
5.2.3	Amostragem do solo .....	97
5.2.4	Avaliação dos teores de carbono e nitrogênio .....	97
5.2.5	Cálculo da densidade do solo .....	98
5.2.6	Cálculo dos estoques de carbono e nitrogênio do solo .....	98
5.2.7	Análise estatística .....	99
5.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	99
5.3.1	Densidade do solo .....	99
5.3.2	Teor de carbono no perfil do solo .....	103
5.3.3	Teor de nitrogênio no perfil do solo .....	106

<b>5.3.4</b>	<b>Estoque de carbono no perfil do solo</b> .....	109
<b>5.3.5</b>	<b>Estoque de nitrogênio no perfil do solo</b> .....	112
5.4	CONCLUSÕES .....	114
5.5	REFERÊNCIAS .....	114
6	<b>CONCLUSÕES GERAIS</b> .....	119
	<b>ANEXOS</b> .....	120

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 4.1</b>	Teor de nitrogênio na Folha+1 da cana-de-açúcar em áreas de cultivo orgânico e convencional .....	61
<b>Figura 4.2</b>	Teor de fósforo na Folha+1 da cana-de-açúcar em áreas de cultivo orgânico e convencional .....	64
<b>Figura 4.3</b>	Teor de potássio (K) na Folha+1 da cana-de-açúcar em áreas de cultivo orgânico e convencional .....	66
<b>Figura 4.4</b>	Teor de cálcio (Ca) na Folha+1 da cana-de-açúcar em função do tempo de cultivo orgânico .....	67
<b>Figura 4.5</b>	Teor de magnésio (Mg) na Folha+1 da cana-de-açúcar em função do tempo de cultivo orgânico .....	68
<b>Figura 4.6</b>	Teor de ferro (Fe) na Folha+1 da cana-de-açúcar em áreas de cultivo orgânico e convencional .....	69
<b>Figura 4.7</b>	Teor de manganês (Mn) na Folha+1 da cana-de-açúcar em áreas de cultivo orgânico e convencional .....	70
<b>Figura 4.8</b>	Teor de cobre (Cu) na Folha+1 da cana-de-açúcar em áreas de cultivo orgânico e convencional .....	71
<b>Figura 4.9</b>	Teor zinco (Zn) na Folha+1 da cana-de-açúcar em função do tempo de cultivo orgânico .....	72
<b>Figura 4.10</b>	Número de colmos por hectare de cana-de-açúcar em função do tempo de cultivo orgânico, safra 2010/2011 .....	73
<b>Figura 4.11</b>	Produtividade de colmos ( $Mg\ ha^{-1}$ ) em função do tempo de cultivo orgânico da cana-de-açúcar .....	75
<b>Figura 4.12</b>	Produtividade da cana-de-açúcar ( $Mg\ ha^{-1}$ ) em função do tempo de cultivo orgânico, safra 2011/2012 .....	76
<b>Figura 5.1</b>	Estoque de carbono no solo em função de tempo de cultivo orgânico da cana-de-açúcar nas camadas 0-30 e 0-100 cm de profundidade .....	111

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 3.1</b>	Resumo da análise de variância da matéria orgânica (MO), potássio (K), enxofre (S) e saturação de alumínio (m) de um Latossolo Vermelho cultivado com cana-de-açúcar em sistema convencional e orgânico em Goianésia-GO .....	39
<b>Tabela 3.2</b>	Teor de Matéria orgânica (MO) obtidos em áreas de Latossolo Vermelho cultivado com cana-de-açúcar em sistema orgânico e convencional, na região de Goianésia-GO .....	40
<b>Tabela 3.3</b>	Teores de potássio (K) obtidos em áreas de Latossolo Vermelho cultivado com cana-de-açúcar em sistema orgânico e convencional, em Goianésia-GO .....	42
<b>Tabela 3.4</b>	Teores de enxofre (S) obtidos em áreas de Latossolo Vermelho cultivado com cana-de-açúcar em sistema de cultivo orgânico e convencional, em Goianésia-GO .....	43
<b>Tabela 3.5</b>	Valores de saturação de alumínio (m) em áreas de Latossolo Vermelho cultivado com cana-de-açúcar em sistema de cultivo orgânico e convencional, em Goianésia-GO .....	44
<b>Tabela 3.6</b>	Valores de F calculados pela análise de variância para os resultados de fósforo (P), acidez ativa (pH), cálcio (Ca), magnésio (Mg), alumínio (Al), acidez potencial (H+Al), capacidade de troca catiônica (CTC) e saturação por bases (V%), em função dos sistemas de cultivo da cana e da profundidade de um Latossolo Vermelho, Goianésia-GO .....	45
<b>Tabela 3.7</b>	Valores de atributos químicos do solo em diferentes profundidades, independentemente do sistema de cultivo da cana-de-açúcar, em áreas de Latossolo Vermelho na região de Goianésia estado de Goiás, Brasil .....	45
<b>Tabela 3.8</b>	Valores de atributos químicos em áreas de Latossolo Vermelho cultivado com cana-de-açúcar em sistema orgânico e convencional, independentemente da profundidade, na região de Goianésia estado de Goiás, Brasil .....	46
<b>Tabela 4.1</b>	Resumo da análise de variância para os teores de carbono, nitrogênio e a relação C/N na Folha+1 da cana-de-açúcar em áreas de cultivo orgânico e convencional .....	60
<b>Tabela 4.2</b>	Teor carbono na Folha+1 da cana-de-açúcar em função do tempo de cultivo orgânico .....	61
<b>Tabela 4.3</b>	Relação C/N da Folha+1 da cana-de-açúcar em áreas de cultivo orgânico e convencional .....	62
<b>Tabela 4.4</b>	Resumo da análise de variância para os teores de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) na Folha+1 da cana-de-açúcar, em áreas de cultivo orgânico e convencional .....	63
<b>Tabela 4.5</b>	Resumo da análise de variância para os teores de ferro (Fe), manganês (Mn), cobre (Cu) e zinco (Zn) na Folha+1 da cana-de-açúcar, em áreas de cultivo orgânico e convencional .....	69
<b>Tabela 4.6</b>	Resumo da análise de variância para produção total de colmos (PTC) em áreas de cultivo orgânico e convencional da cana-de-açúcar .....	73

<b>Tabela 4.7</b>	Resumo da análise de variância para produtividade de colmos em áreas cultivadas com cana-de-açúcar em sistema orgânico e convencional .....	75
<b>Tabela 4.8</b>	Produção de Matéria Seca (MS) total (Mg ha <sup>-1</sup> ) nos colmos, nas folhas e total em função do tempo de cultivo orgânico .....	78
<b>Tabela 4.9</b>	Extração de nutrientes (kg ha <sup>-1</sup> ) pela parte aérea total, pelos colmos e palhada da cana-de-açúcar em áreas de cultivo orgânico e convencional .....	79
<b>Tabela 5.1</b>	Resumo da análise de variância para os valores da densidade do solo (Ds), teor de carbono e nitrogênio e estoques de carbono e nitrogênio, em áreas cultivadas com cana-de-açúcar em sistema de cultivo orgânico e convencional, em um Latossolo Vermelho, argiloso, Goianésia, GO .....	100
<b>Tabela 5.2</b>	Densidade do solo (Ds em g cm <sup>-3</sup> ) nas diferentes profundidades em áreas de Latossolo Vermelho argiloso, cultivado com a cana-de-açúcar em sistema orgânico e convencional, em Goianésia, – GO.....	100
<b>Tabela 5.3</b>	Teores de carbono no solo (g kg <sup>-1</sup> ) nas respectivas camadas de solo em áreas cultivadas com cana-de-açúcar em sistema orgânico e convencional, na região de Goianésia – GO .....	103
<b>Tabela 5.4</b>	Teores de nitrogênio no solo (g kg <sup>-1</sup> ) nas respectivas camadas de solo em áreas cultivadas com cana-de-açúcar em sistema orgânico e convencional, na região de Goianésia – GO .....	107
<b>Tabela 5.5</b>	Estoque de carbono total no solo em áreas de Latossolo Vermelho cultivada com cana-de-açúcar em sistema de cultivo orgânico e convencional, na região de Goianésia, GO .....	110
<b>Tabela 5.6</b>	Estoque de nitrogênio total do solo em áreas de Latossolo Vermelho cultivado com cana-de-açúcar em sistema orgânico e convencional, na região de Goianésia, GO .....	113

## RESUMO GERAL

BORGES, L. A. B. **Atributos químicos, acúmulo de carbono e nitrogênio e nutrição da cana-de-açúcar orgânica em Latossolo de Cerrado.** 2013. 129 f. Tese (Doutorado em Agronomia: Solo e Água)-Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2013.<sup>1</sup>

Foram estudados atributos relacionados à produção da cana-de-açúcar no sistema orgânico com o intuito de avaliar a eficiência desse sistema. Avaliou-se a fertilidade do solo, a nutrição e produtividade da cana-de-açúcar e os impactos do sistema de produção sobre os estoques de carbono e nitrogênio no solo. Analisaram-se os seguintes atributos: matéria orgânica (MO), pH do solo (pH), acidez potencial (H+Al), alumínio (Al<sup>3+</sup>), enxofre (S), capacidade de troca catiônica (CTC), saturação de bases (V), saturação de alumínio (m), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg). Para caracterizar o estado nutricional da cultura e a produtividade: número total de colmos, produção total de colmos, carbono (C), nitrogênio (N) e a relação C/N das plantas, produção de palhada, produção de matéria seca e a extração de P, Ca, Mg, K, Fe, Zn, Cu e Mn. O impacto do cultivo da cana-de-açúcar sobre o solo foi avaliado por meio da densidade do solo (Ds) e os estoques de carbono e nitrogênio no solo. Na fertilidade e no estado nutricional da cana estudou-se a seguinte cronosequência de canaviais: Org.0 - área cultivada em sistema convencional, representando o início do sistema de cultivo orgânico; Org.2 - área cultivada há dois anos no sistema orgânico; Org.6 - área cultivada há seis anos no sistema orgânico; Org.10 - área cultivada há dez anos no sistema orgânico. Avaliaram-se também: uma área onde ocorreu uma queima acidental, Org.2Q - área cultivada há dois anos no sistema orgânico com uma queima acidental e outra área onde o canavial foi plantado há doze anos e desde então não foi reformada, sendo cultivada há dez anos no sistema orgânico - Org.10SR. No estudo do impacto do cultivo da cana sobre o solo foi excluída a área Org.6 porque o teor de argila nessa área foi inferior às demais. Uma área de cerrado nativo (CN) foi usada como referência para os cálculos corrigidos dos estoques de carbono e nitrogênio. As amostras de solo (Latossolo Vermelho) e de planta foram coletadas em canaviais pertencentes à Usina Jalles Machado, em Goianésia – GO. O delineamento foi inteiramente casualizado, com cinco repetições. O solo foi coletado nas seguintes profundidades: 0-5, 5-10, 10-20-, 20-30, 30-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm, em dezembro de 2010. O tecido vegetal foi coletado em fevereiro de 2011. O cultivo orgânico da cana-de-açúcar foi melhor do que o cultivo convencional. Houve aumento nos níveis de fertilidade do solo e na produtividade do canavial. A extração de nutrientes do solo foi maior nas áreas orgânicas, as quais requerem manejo especial da adubação para evitar o empobrecimento dos solos. Quanto ao perfilhamento e produtividade do canavial, verificou-se que no início da conversão para o sistema orgânico, após dois anos, houve redução do perfilhamento, mas sem comprometer a produtividade final do canavial. As plantas cultivadas no sistema orgânico absorveram mais nutrientes do que cultivo convencional e a densidade do solo reduziu-se sensivelmente nas camadas superficiais. No sistema de cultivo orgânico os estoques de carbono aumentaram consideravelmente em relação ao cultivo convencional.

*Palavras-chave:* agroecologia, agricultura orgânica, macronutrientes, adubação, micronutrientes.

<sup>1</sup>Orientadora: Profa. Dra. Beáta Emöke Madari. Embrapa – CNPAF/UFG.

## GENERAL ABSTRACT

BORGES, L. A. B. **Chemical attributes, carbon and nitrogen accumulation and organic sugarcane nutrition in Cerrado Oxisol**. 2013. 129 f. Thesis (Doctorate in Agronomy: Soil and Water)–Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2013.<sup>1</sup>

There were studied attributes related to sugarcane production in the organic cultivation system aiming to evaluate the efficiency of this system. There were evaluated the soil fertility, the nutrition and productivity of sugarcane and the impacts of the production system on the stocks of carbon and nitrogen on soil. There were analyzed the following attributes of soil fertility: organic matter (OM), soil chemical reaction (pH), potential acidity (H+Al), aluminum ( $Al^{3+}$ ), sulfur (S), cation exchange capacity (CEC), base saturation (V), aluminum saturation (m), phosphorus (P), potassium (K), calcium (Ca) and magnesium (Mg). In order to establish the crop nutritional status and its productivity: total number and total production of stalks, carbon (C), nitrogen (N) e and C/N ratio of the plants, straw production, production of dry matter and the extraction of P, Ca, Mg, K, Fe, Zn, Cu and Mn. The impact of sugarcane cultivation on the soil was evaluated through the soil density (Sd), content and stocks of carbon and nitrogen on soil. Regarding the fertility and nutritional status of sugarcane it was studied the following chronosequence of cultivated areas in the organic system: Org.0 – area cultivated under conventional system, representing the beginning of the organic system cultivation; Org.2 – area cultivated for 2 years in the organic system; Org.6 – area cultivated for 6 years in the organic system; Org.10 – area cultivated for 10 years in the organic system. There were evaluated also two different situations that may occur in any production system: one area where it occurred an accidental burn, Org.2Q – area cultivated for two years in the organic system with an accidental burn and other area where the sugarcane plantation was grown for twelve years and since then it was not reformed and replanted, being cultivated for ten years in the organic system - Org.10SR. In the study of impact of sugarcane cultivation on soil it was excluded the area Org.6 because the clay content in this area was inferior to the others. One area of native cerrado (CN) was used as reference for the calculated stocks of carbon and nitrogen. The soil (Oxisol), and plant samples, were collected in plantations belonging to Usina Jalles Machado, Goianésia – GO. The design was entirely randomized with five repetitions. The soil was collected in the following depths: 0-5, 5-10, 10-20-, 20-30, 30-40, 40-60, 60-80 and 80-100 cm, December 2010. The vegetal tissue was collected in February 2011. The organic cultivation was found more efficient than the conventional one of sugarcane. There was a rise up on the levels of fertility of the soil and of productivity. The extraction of nutrients of the soil was higher in the organic areas, which require special management of fertilizing to avoid weakening of the soil. Regarding the tillering and productivity, it was verified that in the beginning of the conversion to the organic system, after two years, there was reduction of tillering, however with no compromising of the final productivity of the plantation. The plants cultivated in the organic system absorbed more nutrients than in the conventional system. The soil density reduced highly in the superficial layers. In the organic system the carbon stocks raised considerably in relation to the conventional cultivation.

*Key words:* agroecology, organic agriculture, macronutrients, fertilizing, micronutrients.

---

<sup>1</sup>Adviser: Profa. Dra. Beáta Emöke Madari. Embrapa – CNPAF/UFG.

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar. O cultivo da cana no país continua em expansão, principalmente na região Centro-Oeste, onde predomina o bioma Cerrado. Segundo o levantamento feito pela Companhia Nacional de Abastecimento (Conab, 2013) para a safra 2013/2014 a estimativa de produção foi de 653 milhões de toneladas em uma área 8.893.000 hectares. O levantamento mostra também que a cultura da cana-de-açúcar ainda continua em expansão e o crescimento foi de 4,8% em relação à safra anterior. A expansão da cultura da cana-de-açúcar na região do Cerrado trouxe preocupações com o meio ambiente o que levou a busca por um sistema de produção que seja mais sustentável.

Impulsionado pelo crescimento do mercado de produtos orgânicos o cultivo da cana-de-açúcar nesse sistema de produção também vem crescendo nos últimos anos. Porém, a produção de cana-de-açúcar no sistema de cultivo orgânico necessita de estudos aprofundados para avaliar sua eficácia. As agroindústrias canavieiras, que produzem a cana no sistema orgânico, seguem as normas estabelecidas pelas certificadoras de produção orgânica, estabelecidas para todas as culturas de modo geral.

O manejo adequado do solo, buscando sempre o equilíbrio entre suas propriedades físicas, químicas e biológicas, é um dos pilares da agricultura orgânica. Nesse sistema de cultivo, a base da adubação são os adubos orgânicos produzidos dentro das próprias unidades de produção, tais como torta de filtro, vinhaça e compostos orgânicos. Faz-se uso também da adubação verde, principalmente com leguminosas, que são fixadoras de nitrogênio atmosférico. E, quando for necessária para complementar a adubação usa-se também adubos não sintéticos, que tem baixa solubilidade.

No sistema de cultivo convencional da cana-de-açúcar os adubos orgânicos citados tem seu uso amplamente difundido, porém associados com adubos minerais sintéticos altamente solúveis. Não se conhece o efeito das técnicas de adubação empregadas na agricultura orgânica para a produção da cana-de-açúcar.

Segundo Malavolta et al. (2002), os adubos orgânicos retardam a fixação do fósforo e a solubilização dos nutrientes presentes nas rochas moídas é mais lenta do que

nos fertilizantes químicos solúveis. Os adubos orgânicos são mais vantajosos, pois disponibilizam os nutrientes por um período de tempo mais longo, sendo que os nutrientes são liberados de forma mais lenta (Theodoro et al., 2012).

Vários estudos têm mostrado efeitos consideráveis da adubação orgânica na melhoria da qualidade e fertilidade do solo cultivado com diversas culturas (Poude et al., 2002), na cultura do café (*Coffea arabica* L.) (Ricci et al., 2006), em pomares de macieiras (*Malus* spp.) (Martins et al., 2008), na cultura da cana-de-açúcar (Evangelista et al., 2012; Gonçalves, 2012), na cultura do jambu (*Spilanthes oleracea*) (Borges et al., 2013). Porém, estudos que avaliem o efeito do uso de fertilizantes orgânicos e dos fertilizantes não sintéticos, especialmente na produção orgânica da cana-de-açúcar, ainda são limitados.

O estado nutricional da cana-de-açúcar foi avaliado para verificar se as plantas conseguiram absorver os nutrientes que foram colocados seguindo as normas da produção orgânica. Os insumos usados neste sistema de produção devem ser capazes de fornecer os nutrientes para as plantas de maneira tão eficaz, quanto os usados no cultivo convencional, para que a produtividade da cana-de-açúcar não venha a ser comprometida. Para isso, é necessário acompanhar os efeitos na nutrição da planta, uma vez que os adubos orgânicos podem afetar a fertilidade do solo, a disponibilidade dos elementos e, conseqüentemente a absorção e translocação de nutrientes.

A produtividade do canavial não pode ser afetada pelo sistema de produção, pois a produção total de colmos pela cana-de-açúcar é a matéria-prima básica em uma unidade de produção de açúcar e álcool e, as empresas sucroalcoleiras têm buscado cada vez mais elevar a produtividade do canavial. Porém, essa produtividade deve ser alcançada sem gerar danos ao meio ambiente, o que pode ser obtido usando as técnicas de manejo da agricultura orgânica.

O sistema de cultivo orgânico aparece como uma alternativa com forte potencial para acumular carbono e nitrogênio no solo e, portanto, contribuir para a mitigação da emissão de gases de efeito estufa pelos sistemas agrícolas.

O objetivo geral deste estudo foi verificar a eficácia das técnicas da agricultura orgânica na produção da cana-de-açúcar. O estudo foi dividido em três partes. Na primeira, estudou-se a fertilidade do solo adubado de acordo com as normas da agricultura orgânica. Na segunda parte foi avaliado o estado nutricional da cultura e a produtividade. Na terceira parte, foi avaliado o impacto do cultivo orgânico da cana-de-açúcar sobre o solo.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 A CANA-DE-AÇÚCAR

A cana-de-açúcar pertence à família Poaceae e ao gênero *Saccharum*. É uma planta perene e de climas tropicais e subtropicais. Seu exato centro de origem é incerto e os dados da literatura são divergentes quanto aos países de origem, todavia não há contradições nas citações da Ásia como centro de origem (Figueiredo, 2008). A cana-de-açúcar atualmente cultivada é um híbrido das espécies *S. spontaneum* e *Miscanthus arundinaceus* e *S. robustum*. Até 1925 eram plantados no Brasil os genótipos da espécie *Saccharum officinarum*, com centro de diversidade da Nova Guiné e centro de origem desconhecido. Portanto, a terminologia taxonômica atual dos cultivares de cana é *Saccharum* spp. já que não se cultiva comercialmente cana que não seja resultado de melhoramento (Scarpari & Beauclair, 2008).

Esta cultura tem sido cultivada pela humanidade desde a Pré-história. A hipótese mais aceita sobre sua expansão é que ela tenha sido cultivada inicialmente na região do Golfo de Bengala e, outros povos como os persas, chineses, árabes foram conhecendo e expandindo seu cultivo (Figueiredo, 2008).

A entrada da cana-de-açúcar no continente americano ocorreu em 1493, na segunda viagem de Cristovão Colombo, o qual levou os colmos de cana da Ilha de Madeira para a região onde atualmente é a República Dominicana. As primeiras mudas de cana foram introduzidas no Brasil em 1502. Para evitar novas invasões pelos franceses o governo de Portugal formulou um projeto de povoação da costa brasileira, as capitânicas hereditárias, que consistia da doação de grandes extensões de terra, com direito ao uso extensivo dos recursos naturais existentes. Os arrendatários que aqui se instalaram trouxeram sementes de produtos agrícolas e mudas de cana-de-açúcar originárias da Ilha de Madeira. As características climáticas do Brasil favoreceram o desenvolvimento da cultura, a qual se expandiu rapidamente e, em 1580 o Brasil já havia conquistado o monopólio mundial de produção de açúcar (Figueiredo, 2008).

No Brasil, o primeiro engenho foi construído em 1532 na capitania de São

Vicente. Mas foi no Nordeste, especialmente nas capitanias de Pernambuco e da Bahia, que os engenhos de açúcar se multiplicaram. No século seguinte, o Brasil já era o maior produtor e fornecedor mundial de açúcar e se manteve nessa posição até o fim do século XVII (Villari, 2009). Os antigos engenhos foram substituídos por modernas usinas de modo que, no ano de 2010 havia 596 usinas em operação no Brasil (Marin & Nassif, 2013).

A cana-de-açúcar, desde o início contribuiu com o desenvolvimento do país. Foi a primeira atividade produtiva a ser instalada no Brasil. A sua importância econômica data desde o período dos engenhos colônias, onde grandes extensões de terra eram cultivada. A cana-de-açúcar ainda é uma cultura que ocupa posição de destaque entre as culturas de importância econômica nos cenários nacional e internacional e as áreas cultivadas continuam em expansão. Entre 2006 e 2009, a área cultivada com a cana-de-açúcar cresceu 19% em Goiás, 32% em Mato Grosso, 42% no Tocantins e 26% no Paraná. No levantamento feito pela Companhia Nacional de Abastecimento (Conab, 2013) para a safra 2013/2014, a estimativa de produção foi de 653 milhões de toneladas em uma área 8.893.000 hectares, permanecendo o Brasil como o maior produtor mundial da cultura. O levantamento mostra também que a cultura da cana-de-açúcar ainda continua em expansão e o crescimento foi de 4,8% em relação à safra anterior.

A dimensão territorial e os impactos ambientais, sociais e econômicos decorrentes da atividade foram crescendo junto com a expansão do setor. Os primeiros estudos sobre cana-de-açúcar foram realizados em Campinas – São Paulo, ainda no século XIX, onde um grupo de estudiosos conduziu uma série de estudos sobre a composição química dos solos, dos adubos e das variedades de cana (Figueiredo, 2008). Em 1933 foi criado o Instituto do Açúcar e do Alcool (IAA) com a finalidade de regular a produção interna e desenvolver pesquisas sobre a cultura (Marin & Nassif, 2013). Devido à importância dessa cultura, vários estudos foram desenvolvidos para avaliar o impacto dos sistemas cultivo da cana-de-açúcar na qualidade e nos atributos do solo em busca de sistemas de produção que sejam mais sustentáveis. Atualmente, vários sistemas de produção podem ser adotados no cultivo da cana-de-açúcar. Os principais sistemas de cultivo são o convencional, plantio direto, cultivo mínimo (Megda et al., 2012; Fortes et al., 2013) e, mais recentemente, o sistema de cultivo orgânico.

As agroindústrias sucroalcooleiras na busca pela sustentabilidade nos sistemas de produção e por uma economia sustentável despertaram o interesse pelas técnicas da

agricultura orgânica, onde estão buscando adaptar e aperfeiçoar seus conhecimentos. A expansão do mercado de orgânicos foi um estímulo para esses produtores, que estão convertendo parte das propriedades manejadas no sistema de cultivo convencional para o sistema de cultivo orgânico (Soares et al., 2008). Este é um sistema de produção agrícola que tem potencial para recuperar os danos causados ao meio ambiente (Maluche-Bareta et al., 2007; Sampaio et al., 2008), é socialmente justo, pois há a preocupação das agroindústrias com o bem estar e saúde dos trabalhadores, além de fornecer alimentos mais saudáveis aos consumidores. Porém, existe pouca informação técnica sobre o assunto e os resultados de pesquisas são escassos.

O mercado consumidor de açúcar orgânico cresce em todo o mundo, principalmente o europeu. Por ser um produto nobre, tanto por sua qualidade como pelo fato de envolverem em sua produção, cuidados com o ambiente e com o trabalhador rural e por proporcionar remuneração justa ao produtor, os produtos orgânicos estimulam consumidores também preocupados com o bem-estar social e ecológico (Soares et al., 2008). Apesar de ser bastante próspero, o mercado dos orgânicos ainda é dominado por frutas e hortaliças, e o mercado do açúcar orgânico ainda é incipiente. Enquanto que o mercado de produtos agrícolas mostra sinais de saturação, a demanda por produtos orgânicos cresce intensamente. A demanda pelos produtos estimulou também as indústrias a processar os produtos orgânicos e o açúcar orgânico é ingrediente, muitas vezes indispensável, na cadeia dos produtos processados.

## 2.2 AGRICULTURA ORGÂNICA

O termo orgânico é utilizado para denominar sistemas agropecuários conduzidos de modo semelhante à vida de um organismo, respeitando os limites naturais e o potencial produtivo da propriedade agrícola (Soares et al., 2008).

A agricultura orgânica é um sistema de produção agropecuário que promove a interação entre biodiversidade, ciclos biológicos das espécies vegetais e animais e atividade biológica do solo, sem o uso de produtos químicos tóxicos ao meio ambiente. Baseia-se no uso mínimo de produtos externos à propriedade e no manejo de práticas que promovem a harmonia ecológica do sistema (Soares et al., 2008).

Segundo o Mapa (2010), Lei nº. 10.831 de 23 de dezembro de 2003, “considera-se sistema orgânico de produção agropecuária todo aquele em que se adotam

técnicas específicas, mediante a otimização do uso dos recursos naturais e socioeconômicos disponíveis e o respeito à integridade cultural das comunidades rurais, tendo como objetivo a sustentabilidade econômica e ecológica, a maximização dos benefícios sociais, a minimização da dependência de energia não renovável, empregando, sempre que possível, métodos culturais, biológicos e mecânicos, em contraposição ao uso de materiais sintéticos e a proteção do meio ambiente”.

A produção orgânica da cana-de-açúcar pode ser conceituada como um sistema de produção que se baseia no melhoramento e na conservação da fertilidade do solo, no uso apropriado de energia e no estímulo à biodiversidade vegetal e animal, promovendo um manejo integrado mediante técnicas e insumos compatíveis com o ambiente e proibindo o uso de agroquímicos sintéticos. A busca por tipos especiais de açúcar, tais como o açúcar orgânico e a exigência do mercado por qualidade e segurança do produto, provocou mudanças tanto na produção quanto na comercialização em todo o mundo, com reflexos significativos na produção brasileira (Soares et al., 2008).

Segundo Miranda (2008), o sistema de produção orgânico deve ser ambientalmente correto, economicamente viável e socialmente justo. Segundo o autor, a viabilidade econômica do agronegócio deve promover lucro líquido para o produtor. A sustentabilidade social está relacionada às boas condições de trabalho e o respeito aos direitos trabalhistas dos empregados. Para ser ambientalmente correta, a rentabilidade da produção não deve gerar passivo ambiental, ou qualquer dano aos sistemas ecológicos. A sustentabilidade econômica tem que ser obtida sem estorno do impacto negativo gerado sobre o meio ambiente. Em busca desta independência as agroindústrias sucroalcooleiras utilizam adubos e compostos orgânicos produzidos na propriedade, ou obtidos fora da unidade de produção, quando autorizados pelas certificadoras.

O sistema de cultivo orgânico pode ser uma alternativa na busca de sistemas de produção sustentáveis, pois este está fundamentado em bases agroecológicas e, segundo Maluche-Baretta et al. (2007) e Sampaio et al. (2008), esse sistema de cultivo traz melhorias na qualidade do solo em relação ao sistema de cultivo convencional. Porém, ainda segundo os autores, as taxas de melhorias que podem ser alcançadas nestes sistemas vão depender de uma série de fatores, entre os quais, a eficiência no manejo do cultivo, o uso racional da fertilização, principalmente a formulação da adubação nitrogenada, as quais têm implicação na disponibilidade de nutrientes no solo.

O respeito à natureza é o primeiro princípio a ser considerado na agricultura

orgânica, em que devem ser reconhecidas as limitações da natureza, tais como clima, solo e topografia. Na agricultura orgânica, o produtor deve buscar equilibrar o ambiente de produção, para que a planta possa manifestar plenamente os seus mecanismos de defesa. Outro aspecto importante na agricultura orgânica é a integração lavoura indústria que tem como objetivo garantir a obtenção de subprodutos orgânicos da indústria canavieira, tais como torta de filtro, bagaço e cinzas, visando à produção de composto orgânico para utilização no canavial (Soares et al., 2008).

O período de conversão do sistema convencional para o orgânico deve ser suficiente para a descontaminação do solo dos resíduos de agrotóxicos. Entretanto, esse período poderá ser insuficiente para melhorar a fertilidade do solo, a qual deverá ser melhorada ao longo do tempo de cultivo. A conversão pode ser feita por etapas, substituindo os fertilizantes químicos pelos orgânicos.

De acordo com dados e previsões globais da Organic-Food-Global-Industry-Guide (2013), o mercado mundial de alimentos orgânicos cresceu em 9,8% em 2011 atingindo US\$ 67 bilhões anuais. A previsão para 2016 é de um crescimento de 52,6% atingindo US\$ 102,5 bilhões. Cerca de 50% desse mercado está nos Estados Unidos. Desde 2002 até 2011 o mercado cresceu 170%, cerca de 19% ao ano.

O açúcar é um dos produtos agrícolas mais comercializados no mundo. A produção mundial é de 174 milhões de toneladas em 2013, e deve chegar a 202 milhões de toneladas em 2018. O Brasil com cerca de 22%, seguido por Índia, China, Tailândia, Paquistão e México são os maiores produtores mundiais. Do total de açúcar produzido mundialmente 1,6% é de açúcar orgânico Sugaronline (2013), sendo que a previsão é de uma participação ainda maior com crescimento de 25% ao ano até 2020 (Fairtrade, 2013). Atualmente, o Paraguai é o maior produtor mundial de açúcar orgânico com 450 mil toneladas ano<sup>-1</sup>, seguido de Brasil (84 mil) e Colômbia. O Brasil era o maior produtor mundial de açúcar orgânico em 2005.

O preço da tonelada do açúcar orgânico é de US\$1.250, sendo que o produto é consumido principalmente nos EUA, Canadá, Austrália, Japão e Nova Zelândia. As duas maiores empresas produtoras de açúcar orgânico no Brasil, produzindo 70.000 toneladas ano<sup>-1</sup> e 30.000 toneladas ano<sup>-1</sup> respectivamente, são a Native e a Jalles Machado (Canaldoprodutor, 2013).

### 2.3 ADUBAÇÃO E NUTRIÇÃO EM SISTEMAS DE CULTIVO ORGÂNICO

Assim como no sistema de cultivo convencional, no sistema orgânico a adubação é feita de acordo com a análise prévia do solo, levando em consideração a quantidade de nutrientes contidos nas diferentes fontes de adubos que são utilizadas, bem como a taxa de conversão dos nutrientes da forma orgânica para a forma mineral. Geralmente, os cálculos são realizados tomando como base o elemento que se encontra em menor concentração.

O manejo adequado do solo é um dos pilares da agricultura orgânica. Nesse sistema de cultivo, há que se desenvolver e aplicar soluções criativas para minimizar o uso de insumos industrializados e maximizar o uso de recursos naturais, levando-se em consideração o controle da erosão e a utilização de práticas conservacionistas, a manutenção ou a melhoria da fertilidade do solo e a dinâmica da biota no sistema solo/planta (Peixoto, 2005). Os métodos propostos pela agricultura orgânica dão ênfase à conservação dos solos e às adubações. Neste sistema, o solo é visto como um meio com uma multiplicação de microrganismos vivos que funcionam como transformadores das fontes de nutrientes tanto orgânicas como minerais, tornando-os disponíveis para as plantas (Soares et al., 2008).

A adubação e nutrição em um sistema orgânico de produção adotam os princípios de uma produção racional, onde são enfocadas as condições físicas, químicas e biológicas do solo, além do incremento da matéria orgânica. No sistema de produção orgânica busca-se a autossustentação do sistema (Soares et al., 2008).

A expansão da cana-de-açúcar, em solos de baixa fertilidade natural, necessita da manutenção de um nível adequado de nutrientes no solo para sustentar produções econômicas. O cultivo orgânico da cana-de-açúcar em solos do Cerrado carece de informações sobre o manejo da nutrição da planta. As pesquisas em fertilidade do solo associadas à cultura da cana-de-açúcar, geralmente estão associadas ao sistema de cultivo convencional.

No cultivo orgânico são evitados insumos que incluem elementos tóxicos e também é evitado o uso de fertilizantes processados industrialmente, altamente concentrados e que solubilizam rapidamente em água. Os adubos mais utilizados no cultivo orgânico da cana-de-açúcar são os fertilizantes de origem orgânica ou mineral de baixa solubilidade, como os fosfatos naturais, calcários ou rochas moídas. Os fosfatos

naturais dissolvem-se lentamente na solução do solo e tendem a aumentar a disponibilidade para as plantas com o passar do tempo. Apesar de sua eficiência ser menor que os fosfatos solúveis, em curto prazo, porém em longo prazo o seu efeito residual é maior. A vinhaça e o composto de torta de filtro são permitidos e fornecem praticamente todo o potássio e fósforo necessários, além de parte do nitrogênio. Os compostos orgânicos também são usados, assim como esterco de animais. Deve-se realizar a rotação de culturas e a adubação verde nas áreas de reforma do canavial com leguminosas para fixação biológica do nitrogênio e, com gramíneas para melhoria da estrutura física do solo. Além da torta de filtro a torta de mamona também pode ser usada na adubação da cana-de-açúcar (Soares et al., 2008). Se após a análise do solo houver a necessidade de adubação complementar, existem outras fontes disponíveis e que são permitidas tais como: os termofosfatos, sulfato de potássio, sulfato duplo de potássio e magnésio (de origem mineral natural), micronutrientes, sulfato de magnésio, carbonato (como fonte de micronutrientes).

Os nutrientes presentes nos adubos orgânicos estão na forma orgânica e são mineralizados pela ação de microrganismos para que sejam absorvidos pelas plantas. Desse modo, a adubação orgânica pode ser uma alternativa para se evitar perdas do fósforo no solo e aumentar a eficiência da adubação. O fósforo orgânico é mineralizado pela ação de microrganismos para que seja absorvido pelas raízes. A eficácia de utilização do fósforo do fertilizante é baixa. São comuns utilizações pela cana de 10% a 15% do fertilizante aplicado. As doses de fósforo aplicadas nas adubações são bem maiores que as quantidades exportadas. Um dos fatores responsáveis pela baixa eficiência da adubação com fósforo nos solos tropicais é o alto teor de óxidos de ferro e alumínio, que promovem a fixação do fósforo, devido ao ânion  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  ter forte afinidade pela superfície dos coloides, em destaque, os óxidos de ferro e alumínio. Por essa razão, as doses são sempre muito mais altas do que a cana exporta (Rossetto et al., 2008a).

O fósforo absorvido pelas plantas vem da solução do solo, mas apenas uma pequena quantidade dele está presente na solução. Existe um equilíbrio químico entre as formas de fósforo em solução e aquelas fracamente ligadas aos minerais do solo e à matéria orgânica (P lábil). Assim, o fósforo que é retirado da solução do solo vai sendo reabastecido de maneira a manter o equilíbrio. Com o passar do tempo, formas mais estáveis de fósforo são formadas, aumentando o estoque de P não lábil.

A calagem aumenta a disponibilidade de fósforo do solo porque diminui os sítios de adsorção de fosfatos. Porém, quando se utilizam os fosfatos naturais, a maior

eficiência no fornecimento de fósforo desses fosfatos ocorrerá em solos ácidos, com baixo teor de cálcio, pois a acidez favorece a dissolução da apatita, e o baixo teor de cálcio fará com que haja um dreno de cálcio pela cultura, favorecendo também a solubilização da apatita (Rossetto et al., 2008a).

Observa-se em geral, que a capacidade da planta em absorver fósforo aumenta conforme se elevam os teores de nitrogênio. O nitrogênio, possivelmente, interfere na interação com o fósforo de maneira sinérgica por aumentar a produtividade da parte aérea e também o sistema radicular e, com isso, aumentar a exploração das raízes e o contato desta com o fósforo.

Os adubos e os compostos orgânicos produzidos na propriedade, quando bem preparados, são preferidos aos fertilizantes de origem mineral, que por sua natureza inerte, não apresentariam os mesmos efeitos dos primeiros. A associação de culturas, o cultivo intercalar com leguminosas são meios utilizados que proporcionam benefícios econômicos e que mantem a fertilidade do solo.

Utiliza-se o calcário como fonte de cálcio e magnésio e para neutralizar a toxidez de manganês e alumínio, regular o pH dos solos ácidos e auxiliar na disponibilidade de macro e micronutrientes para as plantas. Algumas certificadoras permitem o uso do gesso agrícola como condicionador de solo na agricultura orgânica.

No Brasil, os micronutrientes que podem apresentar as maiores limitações para a produção da cana-de-açúcar são: boro (B), cobre (Cu), zinco (Zn), manganês (Mn) e molibdênio (Mo) (Mellis et al., 2008).

A vinhaça e a torta de filtro também são permitidos no sistema de cultivo orgânico e fornecem praticamente todo o potássio e fósforo necessários para a planta, além de parte do nitrogênio. A vinhaça caracteriza-se por ser um resíduo rico em matéria orgânica e possui alto teor de potássio, enquanto que a torta de filtro fornece fósforo e possui alto teor de matéria orgânica (Soares et al., 2008). A vinhaça é um material de origem orgânica, sem a presença de metais ou outros contaminantes que impeçam seu uso agrícola. Nesse sentido, é perfeitamente aceita pela agricultura orgânica, e não existem restrições ao seu uso como fonte de nutrientes pelas empresas certificadoras (Rossetto et al., 2008b).

Os esterco também são permitidos na adubação orgânica. Os esterco são dejetos de animais que apresentam composição química muito variável, de acordo com a espécie animal e sua alimentação. Possuem praticamente todos os elementos necessários ao

desenvolvimento das plantas, porém em quantidades insuficientes para atender a demanda das culturas. O processo de compostagem melhora o aproveitamento dos esterco ao acrescentar restos de culturas, palhas, torta de filtro, vinhaça, cinzas, que enriquecerão o produto final (Soares et al., 2008).

Com a finalidade de fornecer nitrogênio através da fixação biológica e, também de preservar ou restaurar as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo faz-se uso da adubação verde, que consiste em incorporar ao solo massa vegetal não decomposta. Quando se utiliza as leguminosas em rotação, a adubação verde possibilita a ciclagem de nutrientes no solo, fornecendo nitrogênio para a cultura subsequente. Geralmente são usadas leguminosas, como a crotalária, mucuna preta, soja, feijão-mungo e amendoim. As plantas podem ser incorporadas ao solo com grade ou aração não muito profunda, ou simplesmente são trituradas e deixadas sobre a superfície do solo.

A utilização de adubação verde com leguminosas na cana-de-açúcar é recomendada quando se reforma o canavial. Essa prática não interfere na brotação da cana. Seu custo é relativamente baixo e promove aumento significativo na produção da cana-de-açúcar em pelo menos dois cortes e ainda protege o solo contra a erosão e evita multiplicação de plantas espontâneas (Ambrosano et al., 2005).

Ambrosano et al. (2011) estudaram o efeito das leguminosas amendoim (*Arachis hypogaea* L.), crotalária júncea (*Crotalaria juncea* L.) e mucuna preta (*Mucuna aterrima*) sobre a produtividade da cana-de-açúcar e verificaram que a leguminosa com maior produção de biomassa seca foi a crotalária júncea e, após cinco cortes da cana-de-açúcar o melhor desempenho foi notado no tratamento com cultivo prévio de crotalária júncea, o qual promoveu incrementos de 30% e 35% na produtividade de colmos e de açúcar respectivamente, e apresentou o melhor desempenho econômico.

Quando a relação C/N dos resíduos orgânicos estiver entre 25:1 e 35:1 ocorre decomposição dos resíduos sem imobilização de N no solo e acima desses valores, há imobilização. A baixa relação C/N faz com que o material se decomponha muito rapidamente e seus nutrientes fiquem rapidamente disponíveis. Contudo, a grande desvantagem dessa rápida decomposição é a dificuldade de formar palha na superfície devido à rápida degradação do material vegetal (Ambrosano et al., 2011). Porém, se associado com o resíduo dos restos culturais da cana-de-açúcar, que tem uma

relação C/N relativamente alta, pode haver um equilíbrio na disponibilização de nutrientes no solo.

#### 2.4 ESTOQUES DE CARBONO E NITROGÊNIO NO SOLO

O estoque de carbono total do solo é o somatório do estoque de carbono orgânico e do carbono inorgânico. Sendo que a maior parte do carbono orgânico está presente na matéria orgânica do solo, enquanto o carbono inorgânico é encontrado nos minerais carbonados do solo (Guerra & Santos, 2008). Com relação ao nitrogênio, segundo Moreira & Siqueira (2006), aproximadamente 95% do nitrogênio total do solo estão na forma orgânica e, através da ação dos microrganismos ocorrem os processos de mineralização e imobilização, transformando em torno de 2% a 5% do nitrogênio orgânico em nitrogênio mineral.

Em regiões de clima tropical, como nos Cerrados, devido à intensa lixiviação do perfil do solo durante o processo de formação, o carbono orgânico é a forma predominante. Segundo Guerra & Santos (2008), nos solos ácidos e de baixa fertilidade natural dos trópicos o teor de carbono inorgânico é negligenciável. De acordo com Resck et al. (2008), a maior porção da capacidade de troca catiônica destes solos é proveniente da matéria orgânica do solo. Desse modo, a manutenção de altos estoques de carbono no solo é crucial para a fertilidade e sustentabilidade desses solos.

O estoque de carbono de um solo é o resultado do balanço entre a quantidade de carbono que foi adicionado ao solo e a perda deste. Segundo (Machado, 2005), os principais processos responsáveis pelas perdas de carbono no solo são a decomposição, mineralização, volatilização, lixiviação e a erosão e, os processos responsáveis pelos sequestros são agregação, sedimentação e a humificação. O estoque de carbono no solo pode ser transitório ou de longo prazo e se altera em função do uso da terra, manejo dos ecossistemas, drenagem do solo e uso inadequado dos recursos naturais (Costa et al., 2006).

Ao converter a vegetação natural local por cultivos agrícolas, ocorrem alterações nos estoques de carbono do solo. A magnitude da mudança nos estoques dos nutrientes depende dos sistemas de cultivo empregados e também das culturas utilizadas. Rossi et al. (2013) verificaram que a substituição da vegetal original de Cerrado por cultivo com a cana-de-açúcar aumentou os estoques de carbono e nitrogênio no solo por causa do

acúmulo de carbono da cana-de-açúcar que tem metabolismo C4 e são mais eficientes no processo de fotossíntese do que a vegetação natural do Cerrado. Porém, ao comparar o cultivo da cana-de-açúcar com o cultivo de pastagem, as áreas cultivadas com pastagem apresentaram maior estoque de carbono no solo. Os autores também concluíram que áreas cultivadas com cana por 1, 10 e 20 anos submetidos a diferentes manejos e uso da terra, após a remoção da vegetação original de Cerrado tinha níveis mais elevados de nitrogênio, indicando rápido processo de decomposição da matéria orgânica do solo nesses locais.

O sistema de colheita da cana-de-açúcar também influi sobre os estoques de carbono e nitrogênio no solo. Souza et al. (2012) avaliando a influência de sistemas de colheita, com e sem queima da palha da cana-de-açúcar concluíram que os teores de carbono orgânico e nitrogênio total são maiores em áreas de Cerrado nativo e em áreas com cana-de-açúcar sem queima do que naquelas áreas onde se realiza a queima antes da colheita da cana.

Os estoques de carbono e nitrogênio no solo são influenciados pelo tempo que os restos culturais da cana-de-açúcar foram depositados no solo, conforme relatado por Thorburn et al. (2012) que concluíram que alterações nas concentrações de carbono e nitrogênio em diferentes camadas são detectadas somente cinco anos após a deposição dos resíduos da cana-de-açúcar ser adicionados ao solo. Robertsona & Nashb (2013) estudando solos cultivados com pastagem em Victoria, na Austrália concluíram que as atuais práticas de cultivo que são utilizadas, tal como o cultivo contínuo da pastagem, tem baixo potencial para acumular carbono. Porém, o cultivo de pastagens com rotação de culturas aumenta o potencial dos solos para acumular carbono.

Alguns trabalhos foram desenvolvidos no Brasil sobre modificações causadas pelo efeito de diferentes sistemas de uso e manejo sobre os estoques de carbono e nitrogênio no solo, no sistema de plantio direto (Freitas et al., 2000; Bayer et al., 2004; Figueiredo et al., 2008), no sistema de cultivo mínimo (Lovato et al., 2004). Contudo esses dados são inexistentes para o sistema de cultivo orgânico.

Existe interesse cada vez maior na identificação de sistemas de cultivo que aumentem os estoques de carbono no solo. O sistema de cultivo orgânico aparece como uma alternativa com forte potencial em acumular carbono e nitrogênio no solo (Barbosa, 2010). Sabe-se que um sistema agrícola para ser considerado ambientalmente sustentável requer que as reservas de nutrientes e matéria orgânica do solo sejam preservadas ao longo dos anos.

O revolvimento do solo durante as operações de cultivo e a baixa quantidade de resíduos vegetais adicionadas aos solos são os principais fatores responsáveis pela redução dos estoques de carbono no solo. O efeito do cultivo da cana-de-açúcar nos estoques de carbono no solo tem apresentado resultados contrastantes, dependendo do sistema de cultivo. Entretanto, no cultivo da cana-de-açúcar sem queima da palhada há deposição ao solo de grande quantidade de palhada, o que tem resultado em aumento dos estoques de carbono no solo. Mas, devido à alta relação C/N da palhada da cana-de-açúcar, a taxa de reciclagem pode ser baixa e não resultar em aumento nos estoques de carbono no solo.

Estima-se que, aproximadamente, metade do carbono fotoassimilado pelas plantas é consumido na respiração para a manutenção e crescimento dos seres vivos. O restante vai para a serapilheira, sofre rizodeposição ou é extraído como produto vegetal. Ao atingir o solo, esses materiais orgânicos sofrem decomposição, ocorrendo o retorno de grande porção de carbono para a atmosfera, na forma de CO<sub>2</sub> devido ao processo metabólico dos microrganismos decompositores e, a outra parte do carbono fica no solo (Moreira & Siqueira, 2006).

Durante a decomposição dos resíduos vegetais, parte do carbono e comparativamente uma porção maior de nitrogênio são incorporados na matéria orgânica humificada e na biomassa microbiana, ocorrendo decréscimo gradativo da relação C/N (Dick et al., 2009). A taxa de decomposição desses resíduos está diretamente relacionada com a sua relação C/N. Como nos restos culturais da cana-de-açúcar essa relação é alta, a taxa de decomposição é mais lenta, reduzindo também a disponibilidade de N para a atividade dos microrganismos decompositores. Pois, conjuntamente à assimilação do carbono pela biomassa microbiana, ocorre também a assimilação do nitrogênio, a fim de suprir suas demandas para a biossíntese celular (Giacomini & Aita, 2008).

Segundo Resck et al. (2008), os resíduos de leguminosas são mais ricos em nitrogênio, por isso, decompõem-se mais rápido e produzem menos húmus do que resíduos de gramíneas. A cana-de-açúcar, sendo uma gramínea, seus resíduos tem grande potencialidade para imobilizar carbono na forma de húmus. A manutenção de carbono imobilizado como húmus é altamente desejável, pois este é uma forma de matéria orgânica estável no solo. Em um estudo realizado por Luca et al. (2008), foi observado que a decomposição da palhada depositada ao solo, proporcionou aumento no teor e no estoque de matéria orgânica em solos cultivados com a cana-de-açúcar.

## 2.5 REFERÊNCIAS

- ALMEIDA-JÚNIOR, A. B. **Adubação orgânica em cana-de-açúcar: efeitos no solo e na planta**. 2010. 58f. Dissertação (Mestrado em Ciência do solo)- Departamento de Agronomia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2010.
- AMBROSANO, E. J.; CANTARELLA, H.; AMBROSANO, G. M. B.; SCHAMMAS, E. A.; DIAS, F. L. F.; ROSSI, F.; TRIVELIN, P. C. O.; MURAOKA, T.; SACHS, R. C. C.; AZCÓN, R. Produtividade da cana-de-açúcar após o cultivo de leguminosas. **Bragantia**, Piracicaba, v. 70, n. 4, p. 1-9, 2011.
- AMBROSANO, E. J.; TRIVELIN, P. C. O.; CANTARELLA, H.; AMBROSANO, G. M. B.; SCHAMMAS, E. A.; GUIRADO, N.; ROSSI, F.; MENDES, P. C. D.; MURAOKA, T. Utilization of nitrogen from green manure and mineral fertilizer by sugarcane. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 62, n. 6, p. 534-542, 2005.
- ANJOS, I. A.; ANDRADE, L. A. B.; GARCIA, J. C.; FIGUEIREDO, P. A. M. D.; CARVALHO, G. J. Efeitos da adubação orgânica e da época de colheita na qualidade da matéria-prima e nos rendimentos agrícola e de açúcar mascavo artesanal de duas cultivares de cana-de-açúcar (cana-planta). **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v. 31, n. 1, p. 59-63, 2007.
- ARDEN-CLARKEA, C.; HODGESB, R. D. The environmental effects of conventional and organic/biological farming systems. II. Soil ecology, soil fertility and nutrient cycles. **Biological Agriculture & Horticulture**, Amsterdam, v. 5, n. 3, p. 223-287, 1988.
- ARMAS, E. D.; MONTEIRO, R. T. R. Uso de agrotóxicos em cana-de-açúcar na Bacia do Rio Corumbataí e o risco de poluição hídrica. **Química Nova**, São Paulo, v. 28, n. 6, p. 975-982, 2005.
- ASSAD, M. L. L. Fauna do solo. In: VARGAS, M. A. T.; HUNGRIA, M. (Ed.). **Biologia dos solos do Cerrado**. Planaltina: Emprapa CPAC, 1997. p. 542.
- BERTSCH, P. M.; BLOOM, P. R. Aluminum. In: SPARKS, D. L. (Ed.). **Methods of soil analysis: chemical methods (part 3): book series n° 5**. Madison, Wisconsin: SSSA, 1996. p. 517-550.
- BORGES, L. D. S.; GOTO, R.; LIMA, G. P. P. Exportação de nutrientes em plantas de jambu, sob diferentes adubações. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 1, p. 107-116, 2013.
- CANAL DO PRODUTOR. **Crescimento de orgânicos no país atrai grandes empresas**. 2013. Disponível em: <<http://www.canaldoprodutor.com.br/comunicacao/noticias>>. Acesso em: 4 ago. 2013.
- COMPANIA NACIONAL D ABASTECIMENTO. **Acompanhamento de safra brasileira: cana-de-açúcar**. Safra 2013/2014. Primeiro levantamento - Abr. 2013, 19 p.
- COSTA, E. A.; GOEDERT, W. J.; SOUSA, D. M. G. Qualidade de solo submetido a sistemas de cultivo com preparo convencional e plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 7, p. 1185-1191, 2006.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. Embrapa Informação Tecnológica, 2009, 627 p.

EVANGELISTA, C. R.; PARTELLI, F. L.; FERREIRA, E. P. B.; CORRECHEL, V. Atividade enzimática do solo sob sistema de produção orgânica e convencional na cultura da cana-de-açúcar em Goiás. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, n. 4, p. 1251-1262, 2012.

FAIRTRADE. **Fairtrade and sugar**. 2013. Disponível em: <[http://www.fairtrade.org.uk/includes/documents/cm\\_docs/2013/F/Fairtrade%20and%20Sugar%20Briefing%20Final%20Jan13.pdf](http://www.fairtrade.org.uk/includes/documents/cm_docs/2013/F/Fairtrade%20and%20Sugar%20Briefing%20Final%20Jan13.pdf)>. Acesso em: 4 ago. 2013.

FAITHFULL, N. T. **Methods in agricultural chemical analysis: a practical handbook**. Oxon, UK: CABI Publishing, 2002. 206 p.

FIGUEIREDO, P. Breve história da cana-de-açúcar e do papel do Instituto Agrônômico no seu estabelecimento no Brasil. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. (Ed.). **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2008. p. 882.

FORTES, C.; TRIVELIN, P. C. O.; VITTI, A. C.; OTTO, R.; FRANCO, H. C. J.; FARONI, C. E. Stalk and sucrose yield in response to nitrogen fertilization of sugarcane under reduced tillage. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 48, n. 1, p. 88-96, 2013.

GEE, G. W.; BAUDER, J. W. Particle-size analysis. In: SPARKS, D. L. (Ed.). **Methods of soil analysis: chemical methods (part 3): book series n° 5**. Madison, Wisconsin: SSSA, 1996. v. 3, cap. 7, p. 383-411.

GONÇALVES, H. M. **Sistema integrado de diagnose e recomendação (DRIS) na cultura da cana-de-açúcar orgânica em lavouras comerciais em Goianésia, Goiás**. 2012. 120 f. Tese (Doutorado em Agronomia)–Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2012.

KUO, S. Phosphorus. In: SPARKS, D. L. (Ed.). **Methods of soil analysis: chemical methods (part 3)**. Madison, Wisconsin: SSSA, 1996. v. 3, cap. 32, p. 869-919.

MACHADO, P. L. O. A. Carbono do solo e a mitigação da mudança climática global. **Química Nova**, São Paulo, v. 28, n. 2, p. 329-334, 2005.

MALAVOLTA, E.; PIMENTEL-GOMES, F.; ALCARDE, L. C. **Adubos e adubações**. São Paulo: Nobel, 2002. 396 p.

MALTA, A.; CHARLES, R.; JEANGROS, B.; SINAJ, S. Effect of organic fertilizers and reduced-tillage on soil properties, crop nitrogen response and crop yield: results of a 12-year experiment in Changins, Switzerland. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 26, n. 1, p. 11-18, 2013.

MALUCHE-BARETTA, C. R. D.; KLAUBERG-FILHO, O.; AMARANTE, C. V. T.; RIBEIRO, G. M.; ALMEIDA, D. Atributos microbianos e químicos do solo em sistemas de produção convencional e orgânico de maçãs no estado de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 4, p. 655-665, 2007.

MARIN, F.; NASSIF, D. S. P. Mudanças climáticas e a cana-de-açúcar no Brasil: fisiologia, conjuntura e cenário futuro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 2, p. 232-239, 2013.

MARTINS, C. R.; MELO, G. W.; FARIA, J. L. C. Modificação química no solo em pomares de macieiras conduzidos em quatro diferentes sistemas de produção frente às características naturais dos seus entornos. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 14, n. 4-4, p. 128-131, 2008.

MEGDA, M. X. V.; TRIVELIN, P. C. O.; FRANCO, H. C. J.; OTTO, R.; VITTI, A. C. Eficiência agrônômica de adubos nitrogenados em soqueira de cana-de-açúcar colhida sem queima. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, n. 12, p. 1681-1690, 2012.

MELLIS, E. V.; QUAGGIO, J. A.; CANTARELLA, H. Micronutrientes. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. (Ed.). **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agronômico, 2008. p. 882.

NELSON, D. W.; SOMMERS, L. E. Total carbon, organic carbon and organic matter. 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. (Ed.). **Methods of soil analysis: chemical methods (part 3)**. Madison, Wisconsin: SSSA, 1996, v. 3, cap. 34, p. 961-1010.

NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. 1017 p.

NUNES JÚNIOR, D. O insumo torta de filtro. **IDEA News**, Ribeirão Preto, 2005. 16 p.

OLIVEIRA, M. W.; FREIRE, F. M.; MACÊDO, G. A. R.; FERREIRA, J. J. Nutrição mineral e adubação da cana-de-açúcar. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 28, n. 239, p. 30-43, 2007.

ORGANIC-FOOD-GLOBAL-INDUSTRY-GUIDE. **Organic-food-global-industry**. 2013. Disponível em: <<http://www.reportlinker.com/p0188829/Organic-Food-Global-Industry>>. Acesso em: 04 ago. 2013.

POUDE, D. D.; HORWATH, W. R.; LANINI, W. T.; TEMPLE, S. R.; VAN-BRUGGEN, A. H. C. Comparison of soil N availability and leaching potential, crop yields and weeds in organic, low-input and conventional farming systems in northern California. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 90, n. 1, p. 125-137, 2002.

QUAGGIO, J. A.; RAIJ, B. V. Cálcio, magnésio e correção da acidez do solo. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M. D.; LANDELL, M. G. A. (Ed.). **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agronômico, 2008. 882 p.

- RADA, N. Assessing Brazil's Cerrado agricultural miracle. **Food Policy**, Amsterdam, v. 38, n. 1, p. 146-155, 2013.
- RICCI, M. S. F.; COSTA, J. R.; PINTO, A. N.; SANTOS, V. L. S. Cultivo orgânico de cultivares de café a pleno sol e sombreado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 4, p. 569-575, 2006.
- ROBERTSON, F.; NASHB, D. Limited potential for soil carbon accumulation using current cropping practices in Victoria, Australia. **Agriculture Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 165, n. 1, p. 130-140, 2013.
- ROSSETTO, R.; DIAS, F. L. F.; VITTI, A. C.; PRADO-JÚNIOR, J. P. Q. Fósforo. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M. D.; LANDELL, M. G. A. (Ed.). **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agronômico, 2008a. 882 p.
- ROSSETTO, R.; DIAS, F. L. F.; VITTI, A. C.; TAVARES, S. Potássio. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCOCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. (Ed.). **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2008b. 882 p.
- ROSSI, C. Q.; PEREIRA, M. G.; LOSS, A.; GAZOLLA, P. R.; PERIN, A.; ANJOS, L. H. C. Changes in soil C and N distribution assessed by natural  $^{13}\text{C}$  and  $^{15}\text{N}$  abundance in a chronosequence of sugarcane crops managed with pre-harvest burning in a Cerrado area of Goiás, Brazil. **Agriculture Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 170, n. 1, p. 36-44, 2013.
- RUY, R.; REIS, T. E. S. Risco de contaminação por agrotóxicos das águas subterrâneas em áreas cultivadas com cana-de-açúcar. **Pesticidas: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, Curitiba, v. 22, n. 1, p. 77-84, 2012.
- SAMPAIO, D. B.; ARAÚJO, A. S. F.; SANTOS, V. B. Avaliação de indicadores biológicos de qualidade do solo sob sistemas de cultivo convencional e orgânico de frutas. **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v. 32, n. 2, p. 353-359, 2008.
- SANTOS, J. O.; SANTOS, R. M. S.; BORGES, M. G. B.; FERREIRA, R. T. F. V.; SALGADO, A. B.; SEGUNDO, O. A. S. A evolução da agricultura orgânica. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental**, Pombal, v. 6, n. 1, p. 35-41, 2012.
- SCARPARI, M. S.; BEAUCLAIR, E. G. F. Anatomia e botânica. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. (Ed.). **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2008. 882 p.
- SCHWENK, L. M.; ONGA, N.; BARROS, A.; SILVA, J. V. D. Evolução do processo de ocupação da soja de 2000 a 2006 em Campo Novo dos Parecis – Mato Grosso, através do sensoriamento remoto. **Espacio y Desarrollo**, Peru, v. 1, n. 20, p. 129-146, 2008.
- SOARES, R. A. B.; GARCIA, J. C.; ZANATTA, G. S. C. C.; BRITO, M. C. Produção de cana orgânica. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M. D.; LANDELL, M. G. A. (Ed.). **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2008. 882 p.
- 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**, Amsterdam, v. 155, n. 1, p. 1-6, 2012.

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

SUGARONLINE. **Sugaronline friday editorial - organic, fairtrade sugar opportunities Abound for Paraguay**. 2013. Disponível em:

<[http://www.sugaronline.com/home/website\\_contents/view/1202543](http://www.sugaronline.com/home/website_contents/view/1202543)>. Acesso em: 4 ago. 2013.

THEODORO, S. H.; TCHOUANKOUE, J. P.; GONÇALVES, A. O.; LEONARDOS, O.; HARPER, J. A Importância de uma rede tecnológica de rochagem para a sustentabilidade em países tropicais. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 5, n. 6, p. 1390-1407, 2012.

THOMAS, G. W. Soil pH and soil acidity. In: SPARKS, D. L. (Ed.). **Methods of soil analysis: chemical methods (part 3)**. Madison, Wisconsin: SSSA, 1996. Cap. 16, p. 475-490.

THORBURN, P. J.; MEIER, E. A.; COLLINS, K.; ROBERTSON, F. A. Changes in soil carbon sequestration, fractionation and soil fertility in response to sugarcane residue retention are site-specific. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 120, n. 1, p. 99-111, 2012.

UCHÔA, S. C. P.; JÚNIOR, H. O. A.; ALVES, J. M. A.; MELO, V. F.; FERREIRA, G. B. Resposta de seis variedades de cana-de-açúcar a doses de potássio em ecossistema de Cerrado de Roraima. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 40, n. 4, p. 505-5013, 2009.

VILLARI, A. C. **Guia da cana-de-açúcar - avanço científico beneficia o país**. Conselho de Informações sobre Biotecnologia, 2009, p. 20.

WILLER, H.; YUSSEFI, M. **The world of organic agriculture: statistics and emerging trends**. 2007. 512 p.

WRIGHT, R. J.; STUCZYNSKI, T. Atomic absorption and flame emission spectrometry. In: SPARKS, D. L. (Ed.). **Methods of soil analysis: chemical methods (part 3)**. Madison, Wisconsin: SSSA, 1996. v. 3, cap. 7, p. 65-90.

ZOREL, D. **Atributos químicos e microbiológicos de solo cultivado com cana-de-açúcar som manejo convencional e orgânico**. 2011. 89 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2011.

### **3 EFEITO DO CULTIVO ORGÂNICO DA CANA-DE-AÇÚCAR NA FERTILIDADE DE UM LATOSSOLO VERMELHO NO CERRADO**

#### **RESUMO**

A grande demanda de insumos externos tais como fertilizantes e agrotóxicos para a produção de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) no tradicional sistema de cultivo tem sua sustentabilidade questionável, além de contaminar o meio ambiente e colocar em risco a saúde humana. No sistema orgânico, é proibido o uso de fertilizantes sintéticos e agrotóxicos e pode ser considerado como uma alternativa em relação ao sistema de cultivo convencional, para aumentar a sustentabilidade da produção de cana-de-açúcar e melhorar a qualidade ambiental. A fertilidade do solo é um fator importante quando se busca obter altas produtividades. Os fertilizantes orgânicos usados nos sistemas de cultivo orgânico são importantes para a sustentabilidade do sistema. Porém, as informações sobre o uso de fertilizantes orgânicos, especialmente na produção orgânica da cana-de-açúcar ainda são limitadas. Estudou-se a seguinte cronosequência de áreas cultivadas com cana-de-açúcar em sistema orgânico: (Org.0) área cultivada em sistema convencional, representando o início do sistema de cultivo orgânico; (Org.2) área cultivada há dois anos no sistema orgânico; (Org.2Q) área cultivada há dois anos no sistema orgânico com uma queima acidental; (Org.6) área cultivada há seis anos no sistema orgânico; (Org.10) área cultivada há dez anos no sistema orgânico; (Org.10SR) área cultivada no sistema orgânico há dez anos e sem reforma do canalial durante esse período. Foram avaliados os atributos químicos indicadores da fertilidade do solo. A adubação orgânica usada no sistema de cultivo orgânico da cana-de-açúcar aumentou o pH do solo, os teores de matéria orgânica, cálcio, potássio, enxofre, a CTC e a saturação de bases no solo. Porém, os teores de fósforo, magnésio e a acidez potencial não foram alterados.

*Palavras-chave:* fósforo, nitrogênio, matéria orgânica, agricultura orgânica.

## ABSTRACT

### EFFECT OF SUGARCANE ORGANIC CULTIVATION IN FERTILITY OF A RED OXISOL IN CERRADO

The great demand for external inputs such as fertilizers and pesticides to produce sugarcane (*Saccharum officinarum*) in the traditional farming system has its questionable sustainability and pollute the environment and endanger human health. The organic system, where it is forbidden the use of synthetic fertilizers and pesticides, can be considered an alternative to the conventional cultivation to increase the sustainability of the production of sugarcane and improve environmental quality. Soil fertility is an important factor when seeking to obtain high yields. Organic fertilizers used in organic farming systems are important for the sustainability of the system and does not contaminate the environment. However, information on the use of organic fertilizers, especially in the production of organic sugarcane is still limited. The following areas, planted with sugarcane, were studied: Org.0 - area in conventional system, representing the beginning of the organic system; Org.2 area under organic cultivation for two years; (Org.2Q) area under organic cultivation for two years with an accidental fire in the year of the sampling; (Org.6) area under organic cultivation for six years; (Org.10) area under organic cultivation for ten years; (Org.10SR) area under organic cultivation for ten years that has not been reformed/replanted during this period. Soil chemical indicators of soil fertility were analyzed. Under the organic cultivation the soil pH, organic matter content, calcium, potassium, sulfur, CEC and base saturation of the soil increased. However, phosphorus, magnesium and potential acidity were not affected.

*Key words:* phosphorus, nitrogen, organic matter, organic agriculture.

## 3.1 INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos principais fornecedores de produtos agrícolas primários do mundo. A expansão da produção se deve à exploração dos solos do Cerrado brasileiro (Rada, 2013). Atualmente, o país é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar. A cultura se distribui nas diversas regiões do país. Mas, nos últimos anos, a expansão da cana tem ocorrido principalmente na região Centro-Oeste (Conab, 2013), em solos sob o domínio do Cerrado. Nessa região predominam os Latossolos, geralmente ácidos e com baixa

fertilidade natural, mas por serem relativamente planos, favorece a mecanização agrícola e o cultivo em larga escala (Assad, 1997). Segundo Rada (2013), os solos do Cerrado brasileiro são deficientes em importantes nutrientes, estão predispostos à degradação, demandando ações intensivas para melhorar sua capacidade produtiva que naturalmente é baixa. Satisfatória produtividade tem sido alcançada nesses solos com o uso intenso da mecanização e elevada quantidade de fertilizantes e agrotóxicos. Os herbicidas representam a classe de agrotóxicos mais empregados na cultura da cana-de-açúcar (Armas & Monteiro, 2005).

A adubação utilizada no sistema de cultivo convencional da cana-de-açúcar tem resultado em alta produtividade das culturas. Porém, a manutenção da fertilidade dos solos tem se tornado insustentável, e coloca o Brasil em posição de risco, pois o país depende da importação desses fertilizantes. No sistema de cultivo convencional, para aumentar a produtividade, altas quantidades de fertilizantes altamente solúveis e agrotóxicos são aplicadas, resultando na contaminação do solo e do meio ambiente (Ruy & Reis, 2012). A aplicação de fertilizantes minerais altamente solúveis, geralmente resulta em grandes perdas de nutrientes e estes podem causar desequilíbrio nutricional no solo, prejudicar a absorção dos nutrientes e danificar as raízes das culturas (Arden-Clarkea & Hodgesb, 1988). O fósforo quando é adicionado ao solo como fertilizante solúvel reage instantaneamente, liberando grande quantidade desse nutriente que é adsorvido aos colóides inorgânicos, devido à alta capacidade de fixação, principalmente nos solos brasileiros altamente intemperizados, pela forte interação desse elemento com os colóides minerais do solo (Novais et al., 2007).

Um sistema de cultivo alternativo, tal como o sistema de cultivo orgânico, onde se usa a adubação orgânica, em substituição aos fertilizantes sintéticos, pode ser uma alternativa para minimizar os problemas gerados ao solo e ao meio ambiente pertinente às práticas usadas no tradicional sistema de cultivo convencional. Segundo Malavolta et al. (2002), os adubos orgânicos retardam a fixação do fósforo e a solubilização dos nutrientes presentes nas rochas moídas é mais lenta do que nos fertilizantes minerais solúveis. Porém, segundo Theodoro et al. (2012), a solubilização mais lenta é mais vantajosa, pois disponibiliza os nutrientes por um período de tempo mais longo. Anjos et al. (2007), verificaram que a substituição da adubação química pela orgânica é viável, sem perdas na qualidade da matéria prima e nos rendimentos de colmos e de açúcar mascavo artesanal.

O avanço dos problemas causados ao meio ambiente, o declínio dos recursos

não renováveis devido ao uso intensivo de fertilizantes e agrotóxicos colocaram em risco a saúde dos trabalhadores rurais e dos consumidores. Isto impulsionou grande demanda, no Brasil e no exterior, por sistemas de cultivo que se preocupa com essas questões de ordem ecológica, econômica e social (Santos et al., 2012). Por essa razão, o sistema de cultivo orgânico vem despontando como uma interessante alternativa como meio de promover a sustentabilidade da produção da cana-de-açúcar no bioma Cerrado, preservar o meio ambiente e reduzir a contaminação dos alimentos e em especial, dos trabalhadores rurais.

Vários estudos têm mostrado efeitos consideráveis da adubação orgânica na melhoria da qualidade e fertilidade do solo cultivado com diversas culturas (Poude et al., 2002), na cultura do café (*Coffea arabica* L.) (Ricci et al., 2006), em pomares de macieiras (*Malus* spp.) (Martins et al., 2008), na cultura da cana-de-açúcar (Evangelista et al., 2012; Gonçalves, 2012), na cultura do jambu (*Spilanthes oleracea*) (Borges et al., 2013). Porém, os estudos que avaliam o efeito do uso de fertilizantes orgânicos na produção orgânica da cana-de-açúcar, ainda são limitados.

Conhecer as implicações das técnicas usadas no manejo do cultivo orgânico, sobre a fertilidade do solo é importante para indicar estratégias de manejo na produção da cana-de-açúcar que poderá aumentar e melhorar a fertilidade do solo e a produtividade da cana-de-açúcar. O principal objetivo deste estudo foi avaliar o efeito da adubação empregada no cultivo orgânico da cana-de-açúcar, em um Latossolo Vermelho no Cerrado do estado de Goiás, sobre atributos indicadores de fertilidade do solo.

## 3.2 MATERIAL E MÉTODOS

### 3.2.1 Localização das áreas de estudo

O estudo foi conduzido em canaviais pertencentes à empresa Jalles Machado S.A., localizada no município de Goianésia, a 15°10'S de latitude e 49°15'W de longitude e 640 m de altitude. O clima é classificado, segundo Köppen, como tropical de savana, quente e úmido, com inverno seco e verão chuvoso (Aw), e média pluvial anual de 1.500 mm. Os solos predominantes na região são do tipo Latossolo e o relevo é suave ondulado.

O solo das áreas estudadas foi caracterizado como Latossolo Vermelho distrófico (Embrapa, 2006). Cada unidade experimental (parcela) foi constituída por um

quadrado de 100 m x 100 m. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com cinco repetições e seis tratamentos. Foram avaliadas quatro áreas para representar uma cronossequência de cultivo orgânico: (Org.0) área cultivada em sistema convencional, representando o início do sistema de cultivo orgânico; (Org.2) área cultivada há dois anos no sistema orgânico; (Org.6) área cultivada há seis anos no sistema orgânico; (Org.10) área cultivada há dez anos no sistema orgânico. Avaliaram-se também duas situações diferentes que podem ocorrer em qualquer sistema de produção: uma área onde ocorreu uma queima acidental, (Org.2Q) área cultivada há dois anos no sistema orgânico com um incêndio acidental no ano da amostragem e outra área onde o canavial foi plantado há doze anos, e desde 1998 não foi reformada, sendo cultivada há dez anos no sistema orgânico (Org.10SR).

### 3.2.2 Descrição e histórico das áreas de estudo

As áreas estudadas estavam sob as mesmas condições topográficas e edafoclimáticas. Foram semelhantes entre si com relação ao relevo ( $< 10^\circ$ ), clima e vegetação original, diferindo apenas em relação ao tipo de manejo e duração do cultivo orgânico. De modo que, todas as áreas avaliadas estão sob as mesmas condições topográficas e edafoclimáticas, diferindo apenas no uso do solo. Os dados da textura do solo e a densidade de partículas (Dp) estão descritos no Anexo A.

Org.0 – área cultivada com cana-de-açúcar em sistema convencional há dez anos, com colheita mecanizada (sem queima). A área é cultivada com cana-de-açúcar desde 2001. O canavial que existe na área atualmente foi plantado em 15/04/2008 e em 2010 foi realizado o segundo corte da cana. O teor médio de argila da camada 0-20 cm é de  $451 \text{ g kg}^{-1}$ . Esta área foi utilizada como referência.

Org.2 – área cultivada há dois anos com cana-de-açúcar em sistema orgânico, esta área foi matriculada como orgânica em julho de 2008. O canavial foi plantado em 15/05/2006 e em 04/08/2010 foi realizado o terceiro corte da cana. O teor médio de argila da camada 0-20 cm é de  $538 \text{ g kg}^{-1}$ .

Org.2Q – área cultivada há dois anos com cana-de-açúcar em sistema orgânico, esta área foi matriculada como orgânica em julho de 2008. O canavial foi plantado em 15/05/2006 e em 04/08/2010 foi realizado o terceiro corte da cana. O teor médio de argila da camada 0-20 cm é de  $490 \text{ g kg}^{-1}$ . Esta área sofreu um incêndio acidental cinco meses

antes da amostragem do solo.

Org.6 – área cultivada com cana-de-açúcar em sistema orgânico há seis anos, esta área foi matriculada como orgânica em dezembro de 2004. O canavial foi plantado em 15/10/2008 e em 04/07/2010 foi realizado o segundo corte da cana. O teor médio de argila da camada 0-20 cm é de 348 g kg<sup>-1</sup>.

Org.10 – área cultivada com cana-de-açúcar em sistema orgânico há dez anos. Esta área foi matriculada como orgânica em outubro de 2000. O canavial foi plantado em 15/06/2009 e em 10/07/2010 foi realizado o primeiro corte da cana. O teor médio de argila da camada 0-20 cm é de 505 g kg<sup>-1</sup>.

Org.10SR – área cultivada com cana-de-açúcar em sistema orgânico há dez anos. Foi matriculada como orgânica em março de 2000. A última reforma e plantio do canavial ocorreram em 15/04/1998. Anualmente foi realizado um corte do canavial, de modo que em 12/07/2010 foi realizado o décimo segundo corte da cana. O teor médio de argila da camada 0-20 cm é de 521 g kg<sup>-1</sup>.

As áreas cultivadas em sistema orgânico foram implantadas em áreas que antes eram cultivadas com cana-de-açúcar em sistema de cultivo convencional. Antes do plantio da cana as áreas eram cultivadas com pastagens, em sistema extensivo por mais de 20 anos. A descrição da mudança de uso do solo das áreas de estudo está descritas no Anexo D. Os procedimentos adotados para o preparo do solo, bem como a adubação das soqueiras estão descritos no Anexo E.

O controle de plantas daninhas no sistema de cultivo convencional foi feita com herbicida (Diuron + Hexazinona na dose de 2,0 kg ha<sup>-1</sup>). No sistema de cultivo orgânico, não é permitido o uso de herbicidas e, o controle das plantas daninhas foi feita por meio da capina manual.

Tanto no sistema de cultivo orgânico como no sistema convencional, a colheita da cana foi mecanizada. No sistema de colheita crua mecanizada, as folhas, bainhas, ponteiro, além de quantidade variável de colmo são cortados, triturados e lançados sobre o solo, formando uma cobertura de resíduo vegetal denominada palhada.

### 3.2.3 Amostragem

A amostragem de solo foi realizada considerando um delineamento inteiramente casualizado, com cinco repetições e seis tratamentos. Cada unidade

experimental (parcela) foi constituída por um quadrado de 100 m x 100 m. A coleta das amostras de solo foi feita em dezembro de 2010 e janeiro 2011. As amostras foram coletadas nas seguintes camadas 0-5, 5-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm.

Para determinar os atributos físicos e químicos do solo foram coletadas 32 amostras, em cada profundidade. Destas 32 amostras metade foram coletadas na linha de cultivo e a outra metade nas entrelinhas. Estas amostras foram misturadas, homogeneizadas e resultou em uma amostra composta (32 simples/1 composta). As amostras foram coletadas ao longo das duas diagonais da parcela de 100 m x 100 m.

### 3.2.4 Análise laboratorial

No laboratório, antes das análises, as amostras de solo foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneiras com abertura de 2 mm, para a obtenção da Terra Fina Seca ao Ar (TFSA), como proposto por Embrapa (2009).

A determinação da granulometria foi realizada para todas as amostras de solo (camadas 0-5, 5-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm) e os teores de areia, silte e argila foram expressos em  $\text{g kg}^{-1}$ . A textura do solo foi determinada pelo método do densímetro usando a escala Boyoucos (Gee & Bauder, 1996). Os dados da granulometria do solo encontram-se no Apêndice A.

A matéria orgânica do solo foi determinada pelo método Walkley-Black (Nelson & Sommers, 1996) sem aquecimento externo, usando ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) como fonte de calor.

As análises químicas foram realizadas de acordo com (Embrapa, 2009). Foi determinado o valor do pH em  $\text{CaCl}_2$  a  $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ , na proporção de TFSA: solução de 1:2,5; o potássio ( $\text{K}^+$ ) trocável foi extraído por Mehlich 1 ( $\text{HCl } 0,05 + \text{H}_2\text{SO}_4 \text{ } 0,0125 \text{ mol L}^{-1}$ ), determinado por fotometria de chama; o cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) e o magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ) foram extraídos por resina trocadora de íons, determinados por espectrofotometria de absorção atômica; o fósforo disponível (P) foi extraído pela resina trocadora de íons (P-resina), quantificado por colorimetria (Raij et al., 2001). O alumínio ( $\text{Al}^{3+}$ ) foi extraído usando solução de cloreto de potássio (KCl) titulado por hidróxido de sódio (NaOH) de acordo Bertsch & Bloom (1996). A acidez potencial (H + Al) foi extraída por acetado de cálcio ( $0,5 \text{ mol L}^{-1}$  a pH 7.1–7.2) e titulada com NaOH ( $0,025 \text{ mol L}^{-1}$ ) usando fenolftaleína ( $10 \text{ g L}^{-1}$ ) com indicado por

Embrapa (2009). A capacidade de troca de cátions (CTC) foi obtida através da soma de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{K}^+$ . A saturação de bases (V%) foi calculada como a porcentagem da soma dos cátions ( $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^+$ ) em relação a todos os cátions ( $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^+ + \text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$ ). O enxofre disponível (S) foi extraído em fosfato monocálcico  $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ .

### 3.2.5 Análise estatística

As alterações das propriedades químicas do solo com o tempo de cultivo e com a profundidade foram estudadas por meio do esquema fatorial  $6 \times 8$ , correspondente a seis diferentes tempos de cultivo (Org.0, Org.2, Org.2Q, Org.6, Org.10 e Org.10SR) e oito profundidades (0-5, 5-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm), e analisadas por meio de um delineamento inteiramente casualizado. Os resultados foram submetidos à análise de variância (Anova) e, quando o tempo de cultivo ou a profundidade, bem como a interação entre eles, foi significativo pelo teste F, a comparação das médias foi feita pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, usando-se o software R, versão 2.15.2.

## 3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 3.1 são apresentados os valores do teste F do efeito do sistema, profundidade e da interação sistema x profundidade das variáveis: matéria orgânica (MO), potássio (K), enxofre (S) e saturação de alumínio (m). Para estas variáveis houve interação significativa entre os sistemas e as profundidades.

**Tabela 3.1.** Resumo da análise de variância da matéria orgânica (MO), potássio (K), enxofre (S) e saturação de alumínio (m) de um Latossolo Vermelho cultivado com cana-de-açúcar em sistema convencional e orgânico em Goianésia-GO.

F.V.	G.L.	Valor de F			
		MO	K	S	m
Sistema	5	90,49***	179,077***	44,505***	5,165***
Profundidade	7	152,33***	21,104***	46,918***	5,342***
Sist vs. Prof	35	4,19***	2,598***	9,145***	1,516*

F.V – Fonte de variação; G.L – Grau de liberdade; \*\*\*, \* significativo ao nível de 0,1% e 5% de probabilidade no teste F.

O cultivo orgânico aumentou o teor de MO no solo, e esse aumento ocorreu gradativamente conforme o aumento do tempo em que a cana foi cultivada no sistema orgânico. Os dados apresentados na Tabela 3.2 mostram que, em todas as profundidades

estudadas a área cultivada há mais tempo no sistema orgânico (Org.10) apresentou os maiores teores de matéria orgânica e a área referência (Org.0) apresentou os menores teores. Nas camadas mais superficiais do solo, onde se concentra os maiores teores de MO, verificou-se que, (até a profundidade de 30 cm) os teores de MO na área Org.10 foi mais do que o dobro daqueles observados na área Org.0. Ficou constatado que, os teores de MO nas áreas cultivadas no sistema orgânico, em todas as condições estudadas, foram maiores ou iguais àqueles obtidos na área referência (Org.0), indicando o efeito positivo do cultivo orgânico da cana-de-açúcar sobre o aumento matéria orgânica do solo.

**Tabela 3.2.** Teor de matéria orgânica (MO) obtidos em áreas de Latossolo Vermelho cultivado com cana-de-açúcar em sistema orgânico e convencional, na região de Goianésia-GO.

Prof (cm)	Áreas de estudo avaliadas						CV(%)
	Org.0	Org.2	Org.2Q	Org.6	Org.10	Org.10SR	
	MO g dm <sup>-3</sup>						
0-5	13,8 Ac	19,6 Abc	16,0 Ac	13,8 Ac	27,6 Aab	35,0 Aa	20,6
5-10	11,2 Ab	18,0 ABab	13,2 ABb	13,4 Ab	23,4 Ba	25,8 ABa	23,9
10-20	10,4 ABc	17,0 ABab	11,6 Bbc	12,0 Abc	21,0 Ba	23,0 BCa	20,5
20-30	9,4 ABb	15,4 Ba	10,4 BCb	8,6 Bb	16,4 Ca	17,4 BCDA	17,2
30-40	6,4 BCc	11,2 Cab	8,0 CDbc	5,6 Cc	13,0 Ca	13,2 CDA	19,5
40-60	3,6 Cc	7,6 Dab	5,6 DEbc	4,4 CDc	8,6 Dab	9,8 Da	24,1
60-80	2,6 Cc	6,2 DEab	4,2 Ebc	3,6 CDc	7,2 Da	7,6 Da	24,7
80-100	2,4 Cb	4,2 Eab	3,8 Eab	2,8 Db	6,8 Da	6,4 Da	36,4
CV(%)	28,8	12,7	15,3	16,4	10,3	33,3	-

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna e minúscula nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ). Valores representam média de cinco repetições. (Org.0) - área cultivada em sistema convencional, representando o início do sistema de cultivo orgânico; (Org.2) área cultivada há dois anos no sistema orgânico; (Org.2Q) área cultivada há dois anos no sistema orgânico com uma queima acidental; (Org.6) - área cultivada há seis anos no sistema orgânico; (Org.10) - área cultivada há dez anos no sistema orgânico; (Org.10SR) área cultivada no sistema orgânico há dez anos e sem reforma do canal durante esse período.

O efeito do cultivo orgânico sobre o aumento da matéria orgânica, nas camadas 10-20, 20-30, 30-40, 40-60 e 60-80 cm de profundidade, foi evidenciado a partir de dois anos de cultivo orgânico. Nestas profundidades os teores de MO nas áreas Org.2 e Org.10 foram significativamente superiores àqueles observados na área referência (Org.0). Na área Org.6 não foram verificados aumentos nos teores de MO. Isto pode ser atribuído ao menor teor de argila nessa área em relação às demais.

A matéria orgânica (MO) melhora a fertilidade do solo e a produtividade da planta, pois melhora a capacidade do solo para armazenar água e nutrientes e disponibiliza-os para as plantas. Segundo Maltas et al. (2013), a matéria orgânica do solo é a chave dos sistemas de produção na manutenção da produtividade e sustentabilidade.

Os valores de MO diminuíram em profundidade, mas seguiram o mesmo

exemplo apresentado nas camadas 0-5 cm e 5-10 cm. Gonçalves (2012) encontrou teor médio de  $20,4 \text{ g kg}^{-1}$  em cultivo orgânico de cana-de-açúcar, na camada de 0-20 cm. Zorel (2011) em estudo com o objetivo de avaliar os atributos microbiológicos e químicos de solo cultivado com cana-de-açúcar em sistema de cultivo orgânico e convencional verificou que não houve diferença entre os tratamentos com relação ao teor de matéria orgânica no solo. Ricci et al. (2006), em estudo avaliando a nutrição de cultivares de café em dois sistemas de cultivo orgânico verificaram que após três anos houve aumento nos valores de carbono orgânico no solo em relação aos valores encontrados inicialmente.

Martins et al. (2008), em estudo com o objetivo de avaliar modificações químicas de solos cultivados com macieira em sistema de produção integrado, convencional, em transição para o orgânico e orgânico os autores concluíram que o sistema orgânico manteve os teores originais de MO da região, enquanto que, nos demais sistemas houve diminuição. Os autores sugerem que com o sistema de cultivo orgânico é possível aumentar os níveis de matéria orgânica do solo, mesmo quando cultivado.

O teor de matéria orgânica nas áreas Org.10 e Org.10SR não diferiu significativamente entre si (Tabela 3.2), mostrando que o revolvimento do solo na ocasião da reforma não diminuiu a matéria orgânica do solo, como era esperado. Com relação às áreas Org.2 e Org.2Q, a diferença entre elas foi observada apenas na profundidade de 20-30 cm, mostrando que houve uma redução de  $15,4 \text{ g dm}^{-3}$  na área Org.2 para  $10,4 \text{ g dm}^{-3}$  na área Org.2Q.

O sistema de cultivo orgânico da cana-de-açúcar aumentou os teores de potássio no solo (Tabela 3.3). O efeito foi observado em todas as profundidades avaliadas. O aumento de potássio no solo foi observado a partir de seis anos de cultivo orgânico, conforme se observa na Tabela 3.3 onde os valores da área Org.6 foram significativamente superiores aos valores das áreas Org.0 e Org.2.

A área Org.10 apresentou maior teor de K no solo em todas as profundidades estudadas. Verificou-se também que, em nenhuma das circunstâncias estudadas as áreas cultivadas no sistema orgânico apresentaram teor de K no solo inferiores àqueles obtidos na área referência (Org.0).

Em todas as profundidades estudadas, exceto na profundidade 40-60 cm, os teores de K no solo das áreas Org.2 e Org.2Q foram semelhantes àqueles obtidos na área Org.0 e, os teores obtidos nas áreas Org.6 e Org.10 foram superiores, indicando efeito positivo do cultivo orgânico em aumentar os níveis de K no solo. Na

profundidade 40-60 cm o teor de K na área Org.2 foi inferior ao obtido na área Org.0.

**Tabela 3.3.** Teores de potássio (K) obtidos em áreas de Latossolo Vermelho cultivado com cana-de-açúcar em sistema orgânico e convencional, em Goianésia-GO.

Prof (cm)	Áreas de estudo avaliadas						CV(%)
	Org.0	Org.2	Org.2Q	Org.6	Org.10	Org.10SR*	
	K (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )						
0-5	0,14 Ac	0,16 Ac	0,16 Ac	0,52 Ab	0,83 ABa	0,57 Ab	23,5
5-10	0,14 Ac	0,15 Ac	0,10 Ac	0,42 ABb	0,85 Aa	0,57 Ab	28,1
10-20	0,16 Ac	0,10 Abc	0,15 Ac	0,48 ABb	0,74 ABa	0,44 ABb	35,4
20-30	0,12 Ac	0,09 ABCc	0,05 Ac	0,47 ABb	0,66 ABCa	0,33 ABCb	30,6
30-40	0,10 Ac	0,05 BCDc	0,04 Ac	0,33 ABb	0,57 ABCa	0,20 BCbc	51,5
40-60	0,10 Ab	0,02 Db	0,03 Ab	0,40 ABa	0,40 Ca	0,17 BCab	68,8
60-80	0,10 Ab	0,03 CDb	0,03 Ab	0,33 ABa	0,54 BCa	0,10 Cb	60,7
80-100	0,10 Abc	0,02 Dc	0,02 Ac	0,21 Bb	0,61 ABCa	0,09 Cbc	52,1
CV(%)	56,8	41,0	111,3	35,4	21,6	43,7	-

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna e minúscula nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ). Valores representam média de cinco repetições. (Org.0) - área cultivada em sistema convencional, representando o início do sistema de cultivo orgânico; (Org.2) área cultivada há dois anos no sistema orgânico; (Org.2Q) área cultivada há dois anos no sistema orgânico com uma queima accidental; (Org.6) - área cultivada há seis anos no sistema orgânico; (Org.10) - área cultivada há dez anos no sistema orgânico; (Org.10SR) área cultivada no sistema orgânico há dez anos e sem reforma do canal durante esse período.

Verificou-se ainda que houve enriquecimento de K no solo da área Org.6 para a Org.10. Isto foi verificado em todas as profundidades estudadas, exceto nas profundidades 40-60 cm e 60-80 cm de profundidade, indicando que, a evolução do cultivo orgânico, melhorou a fertilidade do solo, com relação ao teor de K.

Nas áreas estudadas, exceto Org.0 e Org.2Q, os teores de K no solo diminuíram conforme aumentou a profundidade, corroborando com os resultados obtidos por Maia & Ribeiro (2004), em Argissolo Amarelo de textura argilosa. De maneira geral, os teores de K no solo, até a profundidade de 10 cm variaram entre 0,10 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> a 0,85 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>. Para essa mesma profundidade (0-10 cm), Rachid et al. (2012) obtiveram teores médios de 0,72 85 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> e 1,89 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, em áreas de Cerrado no estado de Goiás, cultivados com cana-de-açúcar, com e sem queima da palhada, respectivamente.

Com relação à área Org.10SR verificou-se que até a profundidade 20-30 cm o teor de K foi superior aos obtidos na área Org.0 e, nas demais camadas foram semelhantes (Tabela 3.3). Foram semelhantes também àqueles obtidos na área Org.6, exceto na profundidade 60-80 cm. Isso indica que, os níveis de potássio no solo são suficientes para o desenvolvimento da cultura, não sendo necessário, portanto, reformar o canal para elevar os níveis desse nutriente.

Com relação à área Org.2Q quando comparada com as áreas Org.2 e Org.0, verificou-se que o incêndio acidental não provocou alterações nos teores de K no solo, visto que em todas as profundidades estudadas os teores de K nas duas áreas não diferiram significativamente entre si.

Os teores de enxofre na área Org.10SR não apresentou diferença significativa entre as profundidades estudadas (Tabela 3.4). Nas demais áreas os maiores teores de S foram encontrados nas camadas mais profundas, mais precisamente a partir da camada 30-40 cm de profundidade. Estes resultados corroboram com os de Rocha et al. (2008) obtidos em áreas de Latossolo Amarelo cultivado com cana-de-açúcar, onde os autores verificaram elevação nos teores de enxofre no solo a partir dos 40 cm de profundidade. Na área Org.0, o maior teor foi obtido na camada 40-60 cm; nas áreas Org.2 e Org.2Q, nas camadas 30-40 e 40-60 cm; na área Org.6, nas camadas 40-60 e 60-80 cm e na área Org.10, nas camadas de 40-60, 60-80 e 80-100 cm de profundidade.

**Tabela 3.4.** Teores de enxofre (S) obtidos em áreas de Latossolo Vermelho cultivado com cana-de-açúcar em sistema de cultivo orgânico e convencional, em Goianésia-GO.

Prof (cm)	Áreas de estudo avaliadas						CV(%)
	Org.0	Org.2	Org.2Q	Org.6	Org.10	Org.10SR	
	S (mg kg <sup>-1</sup> )						
0-5	2,55 Ba	3,53 Ba	2,03 Ca	1,86 Ca	5,04 Da	9,71 Aa	167,9
5-10	2,91 Ba	1,57 Ba	2,68 Ca	1,95 Ca	3,93 Da	3,32 Aa	48,6
10-20	2,84 Ba	2,57 Ba	3,16 Ca	2,37 BCa	5,37 Da	3,66 Aa	69,7
20-30	2,74 Ba	7,96 Ba	4,46 BCa	5,08 BCa	12,83 CDa	7,13 Aa	91,7
30-40	7,37 Bb	24,00 Aa	13,92 ABab	14,87 BCab	22,18 BCab	11,63 Aab	48,6
40-60	13,53 Ab	22,96 Aab	20,49 Aab	35,60 Aa	36,41 ABa	13,24 Ab	36,8
60-80	4,51 Bb	6,21 Bb	1,04 Cb	35,68 Aa	43,72 Aa	9,69 Ab	44,3
80-100	1,24 Bc	1,97 Bc	2,47 Cc	17,03 Bb	45,54 Aa	3,73 Ac	46,9
CV(%)	63,8	65,3	82,6	51,4	33,1	99,4	-

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna e minúscula nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ). Valores representam média de cinco repetições. (Org.0) - área cultivada em sistema convencional, representando o início do sistema de cultivo orgânico; (Org.2) área cultivada há dois anos no sistema orgânico; (Org.2Q) área cultivada há dois anos no sistema orgânico com uma queima acidental; (Org.6) - área cultivada há seis anos no sistema orgânico; (Org.10) - área cultivada há dez anos no sistema orgânico; (Org.10SR) área cultivada no sistema orgânico há dez anos e sem reforma do canal durante esse período.

Os menores teores de S no solo foram encontrados até a profundidade de 20-30 cm, os quais foram semelhantes em todas as áreas estudadas. Neste estudo, os teores de enxofre obtidos até a camada de 10-20 cm de profundidade variaram entre 1,57 mg kg<sup>-1</sup> a 9,71 mg kg<sup>-1</sup>, corroborando com os valores obtidos por Blum et al. (2012) em áreas de Latossolo Vermelho cultivado com cana-de-açúcar que obtiveram

valor médio de 6,65 mg kg<sup>-1</sup> de enxofre no solo na camada de 0-20 cm.

O efeito do sistema de cultivo da cana foi mais acentuado nas camadas mais profundas do solo. De maneira geral, os maiores teores de enxofre foram encontrados na camada 40-60 cm, sendo os maiores valores observados nas áreas orgânicas, corroborando com o trabalho de Rocha et al. (2008) que também observaram concentrações mais elevadas de enxofre na camada de 40-60 cm, em áreas de Latossolo Amarelo cultivado com cana-de-açúcar.

Quanto à saturação de alumínio (m), não foi possível comparar as médias entre os diferentes sistemas e profundidades devido aos elevados coeficientes de variação observados, alcançando valores de 396% (Tabela 3.5). Mas, de maneira geral observou-se que a saturação de alumínio foi baixa, os valores mais altos ficaram em torno de 18%, indicando não haver níveis tóxicos que comprometam o desenvolvimento da cultura. Segundo Rodella et al. (1984) o nível crítico estabelecido para a cana-de-açúcar é de 25%.

**Tabela 3.5.** Valores de saturação de alumínio (m) em áreas de Latossolo Vermelho cultivado com cana-de-açúcar em sistema de cultivo orgânico e convencional, em Goianésia-GO.

Prof (cm)	Áreas de estudo avaliadas						CV(%)
	Org.0	Org.2	Org.2Q	Org.6	Org.10	Org.10SR	
	m (%)						
0-5	0,70 Aa	0,00 Aa	0,12 Aa	0,00 Aa	0,20 Aa	0,00 Aa	396,2
5-10	0,56 Aa	0,00 Aa	0,34 Aa	0,10 Aa	0,00 Aa	0,00 Aa	190,7
10-20	0,92 Aa	0,12 Aa	0,32 Aa	0,00 Aa	0,00 Aa	0,00 Aa	246,4
20-30	0,86 Aa	1,54 Aa	0,68 Aa	0,00 Aa	0,00 Aa	0,44 Aa	196,0
30-40	1,10 Aa	1,28 Aa	5,32 Aa	1,00 Aa	0,00 Aa	1,54 Aa	191,1
40-60	3,82 Aa	0,82 Aa	10,50 Aa	6,12 Aa	0,96 Aa	7,66 Aa	195,4
60-80	3,88 Aa	0,00 Aa	16,80 Aa	4,34 Aa	0,72 Aa	18,34 Aa	167,9
80-100	0,96 Aa	2,14 Aa	14,54 Aa	2,86 Aa	0,00 Aa	26,26 Aa	206,4
CV(%)	198,2	270,2	155,2	219,7	409,3	242,0	-

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna e minúscula nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ). Valores representam média de cinco repetições. (Org.0) - área cultivada em sistema convencional, representando o início do sistema de cultivo orgânico; (Org.2) área cultivada há dois anos no sistema orgânico; (Org.2Q) área cultivada há dois anos no sistema orgânico com uma queima acidental; (Org.6) - área cultivada há seis anos no sistema orgânico; (Org.10) - área cultivada há dez anos no sistema orgânico; (Org.10SR) área cultivada no sistema orgânico há dez anos e sem reforma do canal durante esse período.

Na Tabela 3.6 são apresentados os valores de F, bem como o nível de significância para fósforo (P), acidez ativa (pH), cálcio (Ca), magnésio (Mg), alumínio (Al), acidez potencial (H+Al), capacidade de troca catiônica (CTC) e saturação por bases (V%). Para todas estas variáveis houve efeito significativo de sistemas de cultivo da cana-de-açúcar e das profundidades do solo, exceto para a acidez potencial, onde os efeitos não foram significativos. Para todas estas variáveis a interação sistemas x profundidade não foi significativa.

**Tabela 3.6.** Valores de F calculados pela análise de variância para os resultados de fósforo (P), acidez ativa (pH), cálcio (Ca), magnésio (Mg), alumínio (Al), acidez potencial (H+Al), capacidade de troca catiônica (CTC) e saturação por bases (V%), em função dos sistemas de cultivo da cana e da profundidade de um Latossolo Vermelho, Goianésia-GO.

F.V.	Valores de F							
	P	pH	Ca	Mg	Al	H+Al	CTC	V
Sist.	9,743***	17,485***	36,557***	10,038***	4,658***	0,795 <sup>ns</sup>	31,305***	11,032***
Prof.	12,031***	9,803***	37,546***	47,452***	3,028**	0,694 <sup>ns</sup>	43,023***	52,082***
Sist. x Prof.	1,197 <sup>ns</sup>	0,604 <sup>ns</sup>	1,021 <sup>ns</sup>	0,515 <sup>ns</sup>	1,429 <sup>ns</sup>	0,634 <sup>ns</sup>	1,081 <sup>ns</sup>	0,795 <sup>ns</sup>

F.V – Fonte de variação; Sist. – sistemas de cultivo da cana; Prof. – profundidade do solo; Sist. x Prof. – interação sistema x profundidade; \*\*\*, \*\* significativo ao nível de 0,1% e 1% de probabilidade no teste F; <sup>ns</sup> – Não significativo.

O pH do solo, bem como os teores de P, Ca, Mg, a CTC e a saturação de bases (V) diminuíram em função do aumento da profundidade do solo (Tabela 3.7). Sendo os maiores valores observados nas camadas mais superficiais 0-5 cm e 5-10 cm, corroborando com os resultados encontrados por Maia & Ribeiro (2004) em áreas de Argissolo Amarelo sob cultivo contínuo da cana-de-açúcar, que verificaram decréscimo nos teores de Ca e Mg nas camadas mais profundas do solo. Mas, Rocha et al. (2008) em estudo avaliando as implicações da aplicação de gesso no ambiente radicular da cana-de-açúcar, em áreas de Latossolo Amarelo cultivados com cana-de-açúcar, encontraram pouca lixiviação do Mg, de modo que, não foram verificadas variações significativa nas profundidades estudadas (0-20, 20-40, 40-60 e 60-80 cm).

**Tabela 3.7.** Valores de atributos químicos do solo em diferentes profundidades, independentemente do sistema de cultivo da cana-de-açúcar, em áreas de Latossolo Vermelho na região de Goianésia estado de Goiás, Brasil.

Profundidades cm	P mg kg <sup>-1</sup>	pH CaCl <sub>2</sub>	Ca	Mg	Al	H+Al	CTC	V %
			-----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----					
0-5	20,41A	5,4A	3,27A	1,40A	0,03A	1,86A	6,88A	67,01A
5-10	21,09A	5,4A	2,80AB	1,25AB	0,04A	1,88A	6,24AB	63,75AB
10-20	19,03A	5,3AB	2,34BC	1,13BC	0,05A	1,87A	5,63BC	60,62AB
20-30	14,32AB	5,3ABC	1,94CD	0,94CD	0,06A	1,85A	4,99CD	55,82BC
30-40	7,58BC	5,2ABC	1,36DE	0,71DE	0,07A	1,77A	4,02DE	48,85CD
40-60	4,49C	5,1ABC	1,01E	0,55EF	0,09A	1,64A	3,36EF	42,86DE
60-80	4,07C	5,1BC	0,77E	0,41F	0,12A	1,44A	2,78F	37,00E
80-100	8,11BC	5,0C	0,70E	0,40F	0,08A	1,59A	2,84F	34,81E
CV	108,6	7,6	68,2	41,8	284,4	42,5	35,3	28,0

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna não diferem estatisticamente pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ). Valores representam média de cinco repetições. (Org.0) - área cultivada em sistema convencional, representando o início do sistema de cultivo orgânico; (Org.2) área cultivada há dois anos no sistema orgânico; (Org.2Q) área cultivada há dois anos no sistema orgânico com uma queima acidental; (Org.6) - área cultivada há seis anos no sistema orgânico; (Org.10) - área cultivada há dez anos no sistema orgânico; (Org.10SR) área cultivada no sistema orgânico há dez anos e sem reforma do canavial durante esse período.

Ao longo dos perfis do solo, o pH variou de 5,0 a 5,4, caracterizando que todos esses solos são ácidos (Tabela 3.7). Os resultados corroboram com os de Maia & Ribeiro (2004), que encontraram valores de pH ao longo do perfil do solo (até 1,6 cm de profundidade), variando entre 5,0 a 5,8 em áreas Argissolo Amarelo sob cultivo contínuo da cana-de-açúcar. De modo geral, os maiores valores foram encontrados nas camadas superficiais do solo. Isso se deve, provavelmente, à aplicação de corretivos e à adição de vinhaça, que têm a propriedade de elevar o pH dos solos.

Os teores de P, Ca, Mg, pH, a capacidade de troca catiônica (CTC) e a saturação de bases (V) do solo nas áreas com dois e seis anos de cultivo orgânico (Org.2 e Org.6) (Tabela 3.8) não diferiram daqueles encontrados na área de cultivo convencional (Org.0), indicando que, as técnicas de adubação empregada no cultivo orgânico foram tão eficazes quanto àquelas empregadas no sistema de cultivo convencional da cana-de-açúcar. Os dados mostraram ainda que, após dez anos de cultivo orgânico houve aumento nos teores de P, Ca, Mg, o pH, na CTC e na saturação de bases (V) em relação ao cultivo convencional, indicando que ao longo do tempo o sistema de cultivo orgânico da cana-de-açúcar tende a ser mais eficiente do que o sistema de cultivo convencional.

**Tabela 3.8.** Valores de atributos químicos em áreas de Latossolo Vermelho cultivado com cana-de-açúcar em sistema orgânico e convencional, independentemente da profundidade, na região de Goianésia estado de Goiás, Brasil.

Sistemas	P	pH	Ca	Mg	Al	H+Al	CTC	V
	mg kg <sup>-1</sup>	CaCl <sub>2</sub>			cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>			%
Org.0	10,44BC	5,2BC	1,15C	0,81AB	0,02B	1,59A	3,68B	50,83B
Org.2	12,27BC	5,1C	1,39C	0,60B	0,01B	1,66A	3,73B	48,40B
Org.2Q	14,68AB	5,1C	1,68BC	0,80AB	0,07AB	1,69A	4,24B	52,32AB
Org.6	11,87BC	5,2BC	1,28C	0,79AB	0,02B	1,49A	3,96B	48,64B
Org.10	22,56A	5,2A	2,44B	0,92A	0,01B	1,55A	5,56A	56,61AB
Org.10SR	3,57C	5,4B	3,34A	1,05A	0,12A	1,66A	6,35A	61,86A
CV	116,1	6,4	70,9	54,4	330,4	32,5	42,1	30,2

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna não diferem estatisticamente pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ). Valores representam média de cinco repetições. (Org.0) - área cultivada em sistema convencional, representando o início do sistema de cultivo orgânico; (Org.2) área cultivada há dois anos no sistema orgânico; (Org.2Q) área cultivada há dois anos no sistema orgânico com uma queima acidental; (Org.6) - área cultivada há seis anos no sistema orgânico; (Org.10) - área cultivada há dez anos no sistema orgânico; (Org.10SR) área cultivada no sistema orgânico há dez anos e sem reforma do canal durante esse período.

Em áreas de Latossolos Vermelho no Cerrado do estado de Goiás, cultivados com cana-de-açúcar Rossi et al. (2013), encontraram valores para os atributos químicos do solo que variaram entre: P (1,2 mg kg<sup>-1</sup> a 29,4 mg kg<sup>-1</sup>), Ca (0,5 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> a 3,1 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>), Mg (0,4 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> a 2,2 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>), Al (0,0 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> a 0,03 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>), pH (4,2 a

6,4), CTC (2,5  $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  a 6,8  $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) e V (45,5% a 89,5%). Estes resultados são similares aos obtidos no presente estudo.

Com relação à área que sofreu um incêndio acidental no ano da coleta dos dados (Org.2Q), verificou-se que os teores de P, Ca, Mg, Al, pH, CTC e saturação de bases (V) não diferiram significativamente daqueles observados nas áreas Org.2 e Org.0 (Tabela 3.8), indicando que o incêndio acidental não alterou estes atributos químicos do solo. Apoiando a ideia de que a queima dos resíduos culturais promove maior liberação e disponibilidade de nutrientes no solo em curto prazo Rossi et al. (2013), verificaram que em áreas de Latossolo Vermelho no Cerrado, onde a cana foi queimada apenas uma vez, houve maior teor de Ca e Mg e, menores teores de P e K, do que naquelas áreas que foram queimadas por mais de cinco anos. No entanto, após seis anos de manejo da cana com queima da palhada, cultivada em Latossolo Vermelho no Cerrado Rachid et al. (2012) verificaram que houve ligeira acidificação do solo e redução nos teores de Ca, Mg, P e na CTC, em relação à área não queimada.

Com relação à área Org.10SR, verificou se os teores de P, Mg e o pH do solo foram semelhantes àqueles observados na área referência (Org.0), enquanto os teores de Ca, a CTC) e a saturação (V) de bases foram superiores à área Org.0 (Tabela 3.8). O Al trocável aumentou significativamente na área Org.10SR, provavelmente por causa das perdas de bases, seja por lixiviação ou por absorção pela cana-de-açúcar. Os resultados obtidos para esses elementos foram superiores ou foram semelhantes aos obtidos na área referência. Isso mostra que os níveis desses elementos na área Org.10SR ainda não justifica a reforma do canavial, visto esta ser uma operação que demanda tempo e dinheiro.

Quanto à acidez potencial (H+Al) verificou-se que foi dominada, quase que exclusivamente, pelos íons  $\text{H}^+$ , pois a quantidade de  $\text{Al}^{3+}$  detectado foi baixa. A acidez potencial não foi afetada pelos sistemas de cultivo da cana-de-açúcar nem pelas profundidades do solo (Tabelas 3.7 e 3.8), sugerindo que os sistemas de cultivo e a profundidade do solo não alteram a acidez total do solo. Resultados diferentes foram obtidos por Canellas et al. (2003), que obtiveram os maiores valores de H+Al nas camadas mais superficiais do solo. Segundo os autores a oxidação da matéria orgânica pode ser um componente importante na geração da acidez.

### 3.4 CONCLUSÕES

Os adubos e corretivos utilizados no sistema de cultivo orgânico da cana-de-açúcar

são tão eficazes quanto àqueles usados no sistema de cultivo convencional em áreas de Latossolo Vermelho do Cerrado.

Após dez de cultivo orgânico da cana-de-açúcar em um Latossolo Vermelho do Cerrado, utilizando adubos e corretivos do solo permitidos para esse sistema de cultivo, houve aumento da fertilidade do solo em relação ao cultivo convencional.

### 3.5 REFERÊNCIAS

ANJOS, I. A.; ANDRADE, L. A. B.; GARCIA, J. C.; FIGUEIREDO, P. A. M. D.; CARVALHO, G. J. Efeitos da adubação orgânica e da época de colheita na qualidade da matéria-prima e nos rendimentos agrícola e de açúcar mascavo artesanal de duas cultivares de cana-de-açúcar (cana-planta). **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v. 31, n. 1, p. 59-63, 2007.

ARDEN-CLARKEA, C.; HODGESB, R. D. The environmental effects of conventional and organic/biological farming systems. II. Soil ecology, soil fertility and nutrient cycles. **Biological Agriculture & Horticulture**, Amsterdam, v. 5, n. 3, p. 223-287, 1988.

ARMAS, E. D.; MONTEIRO, R. T. R. Uso de agrotóxicos em cana-de-açúcar na Bacia do Rio Corumbataí e o risco de poluição hídrica. **Química Nova**, São Paulo, v. 28, n. 6, p. 975-982, 2005.

ASSAD, M. L. L. Fauna do solo. In: VARGAS, M. A. T.; HUNGRIA, M. (Ed.). **Biologia dos solos do Cerrado**. Planaltina: Emprapa CPAC, 1997. p. 542.

BERTSCH, P. M.; BLOOM, P. R. Aluminum. In: SPARKS, D. L. (Ed.). **Methods of soil analysis: chemical methods (part 3): book series n° 5**. Madison, Wisconsin: SSSA, 1996. cap. 18, p. 517-550. 18 cap.

BLUM, J.; MELFI, A. J.; MONTES, C. R. Nutrição mineral da cana-de-açúcar irrigada com efluente de esgoto tratado, em área com aplicação de fosfogesso. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, n. 4, p. 593-602, 2012.

BORGES, L. D. S.; GOTO, R.; LIMA, G. P. P. Exportação de nutrientes em plantas de jambu, sob diferentes adubações. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 1, p. 107-116, 2013.

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

COMPANIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento de safra brasileira: cana-de-açúcar**. Primeiro levantamento - Abr. 2013, p. 19, 2013.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Sistema**

**brasileiro de classificação de solos.** 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes.** 2. ed.: Embrapa Informação Tecnológica, 2009, 627 p.

EVANGELISTA, C. R.; PARTELLI, F. L.; FERREIRA, E. P. B.; CORRECHEL, V. Atividade enzimática do solo sob sistema de produção orgânica e convencional na cultura da cana-de-açúcar em Goiás. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, n. 4, p. 1251-1262, 2012.

GEE, G. W.; BAUDER, J. W. Particle-size analysis. In: SPARKS, D. L. (Ed.). **Methods of soil analysis: chemical methods (part 3): book series n° 5.** Madison, Wisconsin: SSSA, 1996. v. 3, cap. 15, p. 383-411.

GONÇALVES, H. M. **Sistema integrado de diagnose e recomendação (DRIS) na cultura da cana-de-açúcar orgânica em lavouras comerciais em goianésia, Goiás.** 2012. 120 f. Tese (Doutorado em Agronomia)-Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2012.

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

MALAVOLTA, E.; PIMENTEL-GOMES, F.; ALCARDE, L. C. **Adubos e adubações.** São Paulo: Nobel, 2002. 396 p.

MALTAS, A.; CHARLES, R.; JEANGROS, B.; SINAJ, S. Effect of organic fertilizers and reduced-tillage on soil properties, crop nitrogen response and crop yield: results of a 12-year experiment in Changins, Switzerland. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 26, n. 1, p. 11-18, 2013.

MARTINS, C. R.; MELO, G. W.; FARIA, J. L. C. Modificação química no solo em pomares de macieiras conduzidos em quatro diferentes sistemas de produção frente às características naturais dos seus entornos. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 14, n. 4-4, p. 128-131, 2008.

NELSON, D. W.; SOMMERS, L. E. Total carbon, organic carbon and organic matter. 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. (Ed.). **Methods of soil analysis: chemical methods (part 3).** Madison, Wisconsin: SSSA, 1996, v. 3, cap. 34. p. 961-1010.

NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo.** Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. 1017 p.

POUDE, D. D.; HORWATH, W. R.; LANINI, W. T.; TEMPLE, S. R.; VAN-BRUGGEN, A. H. C. Comparison of soil N availability and leaching potential, crop yields and weeds in organic, low-input and conventional farming systems in northern California. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 90, n. 1, p. 125-137, 2002.

- RACHID, C. T. C. C.; PICCOLO, M. C.; LEITE, D. C. A.; BALIEIRO, F. C.; COUTINHO, H. L. C.; ELSAS, J. D. V.; PEIXOTO, R. S.; ROSADO, A. S. Physical-chemical and microbiological changes in Cerrado soil under differing sugarcane harvest management systems. **BBB Microbiological**, London, v. 12, n. 1, p. 170-181, 2012.
- RADA, N. Assessing Brazil's Cerrado agricultural miracle. **Food Policy**, Amsterdam, v. 38, n. 1, p. 146-155, 2013.
- RAIJ, B. V.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 285 p.
- RICCI, M. S. F.; COSTA, J. R.; PINTO, A. N.; SANTOS, V. L. S. Cultivo orgânico de cultivares de café a pleno sol e sombreado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 4, p. 569-575, 2006.
- ROCHA, A. T.; OLIVEIRA, A. C.; RODRIGUES, Á. N.; LIRA-JÚNIOR, M. A.; FREIRE, F. J. Emprego do gesso do Araripe na melhoria do ambiente radicular da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 3, n. 4, p. 307-312, 2008.
- RODELLA, A. A.; ZAMBELLO-JUNIOR, E.; ORDO, F. O. J. Calibração de cálcio, magnésio e acidez do solo para cana-de-açúcar cultivada na região de Cerrado. **STAB - Sociedade dos Técnicos Açucareiros Alcooleiros do Brasil**, Piracicaba, v. 2, n. 1, p. 45-48, 1984.
- ROSSI, C. Q.; PEREIRA, M. G.; LOSS, A.; GAZOLLA, P. R.; PERIN, A.; ANJOS, L. H. C. Changes in soil C and N distribution assessed by natural  $^{13}\text{C}$  and  $^{15}\text{N}$  abundance in a chronosequence of sugarcane crops managed with pre-harvest burning in a Cerrado area of Goiás, Brazil. **Agriculture Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 170, n. 1, p. 36-44, 2013.
- RUY, R.; REIS, T. E. S. Risco de contaminação por agrotóxicos das águas subterrâneas em áreas cultivadas com cana-de-açúcar. **Pesticidas: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, Curitiba, v. 22, n. 1, p. 77-84, 2012.
- SANTOS, J. O.; SANTOS, R. M. S.; BORGES, M. G. B.; FERREIRA, R. T. F. V.; SALGADO, A. B.; SEGUNDO, O. A. S. A Evolução da agricultura orgânica. **Revista de Gestão Ambiental**, Pombal, v. 6, n. 1, p. 35-41, 2012.
- THEODORO, S. H.; TCHOUANKOUE, J. P.; GONÇALVES, A. O.; LEONARDOS, O.; HARPER, J. A Importância de uma rede tecnológica de rochagem para a sustentabilidade em países tropicais. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 5, n. 6, p. 1390-1407, 2012.
- ZOREL, D. **Atributos químicos e microbiológicos de solo cultivado com cana-de-açúcar som manejo convencional e orgânico**. 2011. 89 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia)—Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2011.

#### **4 NUTRIÇÃO, PRODUTIVIDADE, EXTRAÇÃO E EXPORTAÇÃO DE NUTRIENTES EM CANAVAIS CULTIVADOS EM SISTEMA ORGÂNICO E CONVENIONAL**

##### **RESUMO**

Estudos com produtividade do canavial, nutrição e exportação de nutrientes pela cana-de-açúcar cultivada em sistema convencional são bastante comuns. No entanto, estes estudos quando a cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) é cultivada em sistema orgânico ainda são incipientes, por ser um sistema de cultivo relativamente recente para esta cultura. O objetivo desse estudo foi demonstrar a eficiência do sistema de cultivo orgânico da cana-de-açúcar mediante o estudo detalhado das seguintes variáveis respostas: perfilhamento, produtividade, o estado nutricional da cultura, a produção total de palhada e matéria seca, a extração e exportação de nutrientes em uma cronosequência de canaviais cultivados em sistema orgânico. Estudou-se a seguinte cronosequência de áreas cultivadas com cana-de-açúcar em sistema orgânico: (Org.0) área cultivada em sistema convencional, representando o início do sistema de cultivo orgânico; (Org.2) área cultivada há dois anos no sistema orgânico; (Org.6) área cultivada há seis anos no sistema orgânico; (Org.10) área cultivada há dez anos no sistema orgânico. Avaliou-se também duas situações diferentes que podem ocorrer em qualquer sistema de produção: uma área onde ocorreu uma queima acidental, (Org.2Q) área cultivada há dois anos no sistema orgânico com uma queima acidental e outra área onde o canavial foi plantado há doze anos e desde então não foi reformada, sendo cultivada há dez anos no sistema orgânico (Org.10SR). As amostragens foram realizadas na safra 2011/2012 em canaviais pertencentes à Usina Jalles Machado, em Goianésia-GO. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Concluiu-se que a produção da cana-de-açúcar no sistema de cultivo orgânico é viável. A produtividade obtida nesse sistema foi maior que a obtida no sistema de cultivo convencional sem queima. Os insumos e as técnicas de manejo, usados no cultivo orgânico, foram eficientes no fornecimento de nutrientes para as plantas e estas demonstraram maior potencial para absorvê-los quando cultivadas neste sistema em comparação ao convencional. A eficiência do cultivo orgânico foi mais acentuada a partir de seis anos do seu estabelecimento.

*Palavras-chave:* macronutrientes, micronutrientes, cana-de-açúcar, agricultura orgânica.

## ABSTRACT

## NUTRITION, PRODUCTIVITY, EXTRACTION AND EXPORTATION OF NUTRIENTS IN SUGARCANE PLANTATIONS CULTIVATED IN ORGANIC AND CONVENTIONAL SYSTEMS

Studies on sugarcane (*Saccharum officinarum*) productivity, nutrition and export by the cane grown in conventional cultivation systems are fairly common. However, these studies, when the sugarcane is cultivated in organic system are still rather incipient, since this cultivation system is relatively new in sugarcane production. The aim of this study was to evaluate the efficiency of the organic cultivation system of sugarcane by a detailed study of the following response variables: tillering, yield, crop nutritional status, total production of mulch and dry matter, extraction and export of nutrients in a chronosequence of sugarcane grown under organic cultivation: (Org.0) area in conventional system, representing the beginning of the organic system; (Org.2) area under organic system, for two years; (Org.6) area under organic system for six years; (Org.10) area under organic system for 10 years. We also evaluated two different situations that can occur in any cane producing area: an area where there was an accidental fire, (Org.2Q) area under organic system for two years with accidental fire in the year of the evaluation; and another area where the sugarcane was planted twelve years ago and since then has not been replanted, being grown for ten years in the organic system (Org.10SR). Sampling was carried out in the 2011/2012 harvest at areas belonging to the Jalles Machado sugarcane mill in Goianesia, Goiás State, Brazil. Data were subjected to analysis of variance and means were compared by Tukey test at 5% probability. It was concluded that the production of the sugarcane in organic cultivation is feasible. The yield obtained in this system was higher than that obtained in the traditional conventional cultivation without burning. The inputs and management techniques used in the organic cultivation system were effective in providing nutrients for the plants and these demonstrated greater potential to absorb nutrients when grown in the organic system, compared to the conventional. The efficiency of organic farming was more pronounced after six years of its establishment.

*Key words:* macronutrients, micronutrients, sugar cane, organic agriculture.

#### 4.1 INTRODUÇÃO

O sistema de cultivo orgânico da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) pode ser uma importante alternativa para o cultivo da cana-de-açúcar quando se busca a sustentabilidade do sistema de produção e evita danos e poluição ao meio ambiente. Porém o efeito positivo do sistema de cultivo orgânico é detectado de forma mais acentuada ao longo do tempo de cultivo. Possivelmente nos primeiros anos após a conversão os resultados podem não ser positivos e desestimular o produtor. Por isso estudos que mostrem o efeito desse sistema de produção ao longo do tempo são importantes para que o produtor possa dar credibilidade a esse sistema alternativo e desse modo o tornar mais competitivo e sustentável. Segundo Roel (2002), é fundamental a realização de novos estudos em produção orgânica de alimentos para geração de tecnologias sustentáveis e adaptadas às condições edafoclimáticas brasileira.

Alguns atributos podem ser avaliados que indicam a eficiência do cultivo orgânico, dentre eles, o potencial de perfilhamento, a produtividade da lavoura, o estado nutricional e também o quanto de nutrientes foram extraídos do solo para que o produtor tenha mais uma ferramenta no momento de fazer o manejo da adubação no sistema de cultivo orgânico. Estudos avaliando o efeito do cultivo da cana-de-açúcar sobre sistemas de colheita e atributos físicos, químicos e biológicos do solo utilizaram medidas de produtividade e número de colmos como indicativos (Paulino et al., 2004; Souza et al., 2005; Silva et al., 2008).

O potencial de perfilhamento da cana está diretamente relacionado com a produtividade do canavial. A capacidade de perfilhamento da cana-de-açúcar pode ser afetada por diversos fatores como as variedades, tipo de solo, clima, temperatura e também pelas práticas de manejo adotadas relacionadas com o sistema de produção (Souza et al., 2005; Tavares et al., 2010; Oliveira et al., 2011b). Para que o sistema de produção seja competitivo e não prejudique a produtividade do canavial ele não pode diminuir o perfilhamento da cana-de-açúcar.

A produção total de colmos pela cana-de-açúcar é a matéria prima básica em uma unidade de produção de açúcar e álcool, por isso se tem buscado cada vez mais elevar a produtividade do canavial. A produção total de colmos tem sido utilizada por diversos países para avaliar o rendimento da cana-de-açúcar (Rodrigues, 1995). Porém, essa produtividade deve ser alcançada sem gerar danos ao meio ambiente, o que pode ser

alcançado usando as técnicas de manejo empregadas no sistema de produção orgânico, onde há reciclagem dos resíduos da indústria sucroalcooleira associado com o manejo orgânico do sistema de produção.

Um dos fatores responsáveis pela alta produtividade da cana-de-açúcar é a adequada nutrição da cultura, tendo em vista a baixa fertilidade dos solos brasileiros (Basto et al., 2010). Segundo Adorna et al. (2013), um dos principais fatores que limitam a produtividade da cana no Brasil é o fornecimento de nutrientes às plantas.

No entanto, os trabalhos voltados para a exigência nutricional e a exportação de nutrientes pela cana-de-açúcar cultivada no sistema orgânico de produção ainda são incipientes. Avaliar o estado nutricional da cultura pode ser um bom indicativo para mostrar sua eficiência. Os insumos usados neste sistema de produção devem ser capazes de fornecer os nutrientes para as plantas de maneira tão eficaz, ou melhor, quanto o sistema de cultivo convencional, para que a produtividade da cana-de-açúcar não venha a ser comprometida. Para avaliar o potencial dos adubos orgânicos, comparando-os aos adubos sintéticos altamente solúveis empregados na cultura da cana-de-açúcar, há necessidade de acompanhar os efeitos na nutrição da planta, uma vez que os adubos orgânicos podem afetar a fertilidade do solo, a disponibilidade dos elementos e, conseqüentemente, a absorção e translocação de nutrientes.

A partir da análise dos elementos absorvidos pelas folhas pode-se avaliar o estado nutricional na cultura. As análises realizadas por laboratórios especializados devem ser interpretadas segundo o nível crítico e as faixas de valores médios. O nível crítico corresponde à concentração na folha abaixo da qual a taxa de crescimento ou a produção ficam significativamente comprometidas. No Brasil, considera-se nível crítico de deficiência a concentração do nutriente que provoca uma redução de 10% na produtividade (Rossetto et al., 2008a). Independentemente do sistema de cultivo, a interpretação da análise de solo é a mesma, o que muda são as fontes dos nutrientes e a eficiência do adubo em disponibilizá-los.

A produção de palhada e matéria seca servem como indicativo para se conhecer a capacidade do sistema de nutrientes nos sistemas de produção e também aumentar a matéria orgânica do solo. A cana-de-açúcar é uma cultura onde grande quantidade de palhada fica sobre o solo após a colheita. Esta pode resultar em melhorias dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo, melhorando assim o ambiente para o desenvolvimento das plantas.

A extração é a quantidade total de nutrientes que a planta exige para seu desenvolvimento completo, a exportação é a quantidade de nutrientes que está contida no colmo e não volta mais para o solo através de processo de reciclagem de nutrientes através da decomposição da matéria orgânica. A extração de nutrientes pelas culturas fornece grande indicação da quantidade do elemento que seria necessário adicionar pela adubação para restituir os elementos extraídos e exportados do solo. Salienta-se que adubações que apenas restituem os teores extraídos não contribuem para a melhoria da fertilidade do solo (Rossetto et al., 2008a). A avaliação da extração e exportação de nutrientes no sistema de produção orgânico da cana-de-açúcar pode ser uma ferramenta para auxiliar o produtor durante o manejo da cultura, para que os nutrientes sejam devolvidos aos solos e evite o seu empobrecimento. O conhecimento da quantidade de nutrientes extraídas pela cana-de-açúcar, principalmente a quantidade exportadas pelos colmos, é importante para se avaliar a remoção dos nutrientes necessários para as recomendações econômicas de adubação.

Este estudo teve como objetivo avaliar o estado nutricional, a produtividade e a extração e exportação de nutrientes em lavouras comerciais de cana-de-açúcar cultivada no sistema orgânico e convencional.

As hipóteses desse estudo são: os adubos e corretivos empregados no sistema de cultivo orgânico da cana-de-açúcar são capazes de corrigir a fertilidade do solo, assim como aqueles usados no sistema de cultivo convencional; a produtividade do canavial do sistema de cultivo orgânico é semelhante àquela obtida no sistema de cultivo convencional; a extração e exportação de nutrientes em áreas cultivadas no sistema de cultivo orgânico são semelhantes àquela do sistema de cultivo convencional.

## 4.2 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.2.1 Localização das áreas de estudo

O estudo foi conduzido em canaviais pertencentes à empresa Jalles Machado S.A., localizada no município de Goianésia, a 15°10'S de latitude e 49°15'W de longitude e 640 m de altitude. O clima é classificado, segundo Köppen, como tropical de savana, quente e úmido, com inverno seco e verão chuvoso (Aw), e média pluvial anual de 1.500 mm. Os solos predominantes na região são do tipo Latossolo com relevo suave ondulado.

O solo das áreas estudadas foi caracterizado como Latossolo Vermelho distrófico, textura argilosa (Embrapa, 2006). Cada unidade experimental (parcela) foi constituída por um hectare. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com cinco repetições e seis tratamentos. Foram avaliadas quatro áreas para representar uma cronosequência de cultivo orgânico: (Org.0) área cultivada em sistema convencional sem queima, representando o início do sistema de cultivo orgânico; (Org.2) área cultivada há dois anos no sistema orgânico; (Org.6) área cultivada há seis anos no sistema orgânico; (Org.10) área cultivada há dez anos no sistema orgânico. Avaliou se também duas situações diferentes que podem ocorrer em qualquer sistema de produção: uma área onde ocorreu uma queima acidental, (Org.2Q) área cultivada há dois anos no sistema orgânico com uma queima acidental e outra área onde o canavial foi plantado há doze anos e desde então não foi reformada, sendo cultivada há dez anos no sistema orgânico (Org.10SR).

#### **4.2.2 Descrição e histórico das áreas de estudo**

As áreas estudadas estavam sob as mesmas condições topográficas e edafoclimáticas. Foram semelhantes entre si com relação ao relevo ( $< 10^\circ$ ), clima e vegetação original, diferindo apenas em relação ao tipo de manejo e duração do cultivo orgânico. De modo que, todas as áreas avaliadas estão sob as mesmas condições topográficas e edafoclimáticas, diferindo apenas no uso do solo. Os dados da textura do solo da densidade de partículas (Dp) estão descritos no Anexo A.

Org.0 – área cultivada com cana-de-açúcar em sistema convencional há dez anos, com colheita mecanizada (sem queima). A área é cultivada com cana-de-açúcar desde 2001. O canavial que existe na área atualmente foi plantado em 15/04/2008 e em 2010 foi realizado o segundo corte da cana. O teor médio de argila da camada 0-20 cm é de  $451 \text{ g kg}^{-1}$ . Esta área foi utilizada como referência.

Org.2 – área cultivada há dois anos com cana-de-açúcar em sistema orgânico, esta área foi matriculada como orgânica em julho de 2008. O canavial foi plantado em 15/05/2006 e em 04/08/2010 foi realizado o terceiro corte da cana. O teor médio de argila da camada 0-20 cm é de  $538 \text{ g kg}^{-1}$ .

Org.2Q – área cultivada há dois anos com cana-de-açúcar em sistema orgânico, esta área foi matriculada como orgânica em julho de 2008. O canavial foi plantado em

15/05/2006 e em 04/08/2010 foi realizado o terceiro corte da cana. O teor médio de argila da camada 0-20 cm é de  $490 \text{ g kg}^{-1}$ . Esta área sofreu um incêndio acidental cinco meses antes da amostragem do solo.

Org.6 – área cultivada com cana-de-açúcar em sistema orgânico há seis anos, esta área foi matriculada como orgânica em dezembro de 2004. O canavial foi plantado em 15/10/2008 e em 04/07/2010 foi realizado o segundo corte da cana. O teor médio de argila da camada 0-20 cm é de  $348 \text{ g kg}^{-1}$ .

Org.10 – área cultivada com cana-de-açúcar em sistema orgânico há dez anos. Esta área foi matriculada como orgânica em outubro de 2000. O canavial foi plantado em 15/06/2009 e em 10/07/2010 foi realizado o primeiro corte da cana. O teor médio de argila da camada 0-20 cm é de  $505 \text{ g kg}^{-1}$ .

Org.10SR – área cultivada com cana-de-açúcar em sistema orgânico há dez anos. Foi matriculada como orgânica em março de 2000. A última reforma e plantio do canavial ocorreram em 15/04/1998. Anualmente foi realizado um corte do canavial, de modo que em 12/07/2010 foi realizado o décimo segundo corte da cana. O teor médio de argila da camada 0-20 cm é de  $521 \text{ g kg}^{-1}$ .

As áreas cultivadas em sistema orgânico foram implantadas em áreas que antes eram cultivadas com cana-de-açúcar em sistema de cultivo convencional. Antes do plantio da cana as áreas eram cultivadas com pastagens, em sistema extensivo por mais de 20 anos. A descrição da mudança de uso do solo das áreas de estudo está descritas no Anexo D.

Os procedimentos adotados para o preparo do solo, na época de reforma e plantio do canavial foram os seguintes, bem como a adubação das soqueiras estão descritos no Anexo E.

O controle de plantas daninhas no sistema de cultivo convencional foi feita com herbicida (Diuron + Hexazinona na dose de  $2,0 \text{ kg ha}^{-1}$ ). No sistema de cultivo orgânico, não é permitido o uso de herbicidas e, o controle das plantas daninhas foi feita por meio da capina manual.

Tanto no sistema de cultivo orgânico como no sistema convencional, a colheita da cana foi mecanizada. No sistema de colheita crua mecanizada, as folhas, bainhas, ponteiro, além de quantidade variável de colmo são cortados, triturados e lançados sobre o solo, formando uma cobertura de resíduo vegetal denominada palhada.

### 4.2.3 Amostragem

A amostragem foi realizada durante a safra 2010/2011, em fazendas cultivadas com a cana-de-açúcar pertencentes à Usina Jalles Machado, localizada em Goianésia, Goiás. A amostragem foi feita em canaviais de terceira soca (4º ciclo/corte).

### 4.2.4 Avaliação do estado nutricional da cana-de-açúcar

Para avaliação dos teores de nutrientes da cana-de-açúcar foram coletadas folhas diagnósticas (Folha+1), correspondentes à primeira folha a partir do ápice com o “colarinho” totalmente visível, sendo retiradas vinte folhas por parcela, coletadas em fevereiro 2011, na época de pleno desenvolvimento da cultura. As folhas foram cortadas, descartando-se as pontas e a base e tomando-se os 20 cm da parte central, com exclusão da nervura, e colocada para secar em estufa com circulação forçada de ar (70°C), até obter peso constante. Depois de seco, o material foi moído e foram determinados os teores de carbono, nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, ferro, manganês, cobre e zinco, seguindo os métodos descritos por (Embrapa, 2009).

### 4.2.5 Avaliação da produção total de colmos

Para avaliar o número de perfilhos (colmos), a amostragem foi feita em junho de 2011, antes da colheita da cana. Para isso, em cada parcela, mediu-se 20 metros lineares na linha de cultivo da cana e contou-se o número de colmos. A produção total de colmos por hectare foi obtida da seguinte forma:

- 1) Dividiu-se 100 m (comprimento de 1 ha) por 1,5 m (espaçamento entre as linhas de cultivo) e obteve-se 66,6666 linhas de cultivo  $\text{ha}^{-1}$ ;
- 2) Multiplicou-se 66,6666 por 100 m (largura de 1 ha) e obteve-se 6.666 m lineares de cana-de-açúcar em um hectare;
- 3) Considerando existirem 6.666 m lineares de cana em um hectare e conhecendo-se o número de colmos/metro, foi estimado o número médio de colmos por hectare.

### 4.2.6 Avaliação da produtividade da cana-de-açúcar

Para a avaliação da produtividade de colmos e palhada ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) em cada parcela

foram coletadas dez plantas de cana, sem retirar os ponteiros e as palhas. As plantas foram cortadas rentes ao solo, do mesmo modo que ocorre na operação da colheita da cana. Em seguida esse material foi pesado ainda no campo, obtendo o peso total de dez plantas. Depois foram retiradas as folhas e ponteiros e obteve-se o peso só dos colmos. Os ponteiros foram cortados no ponto de fragilidade ou facilidade de quebra do palmito, conforme descreve (Korndörfer & Melo, 2009). Conhecendo-se o peso de dez colmos e o número total de colmos por hectare, através de regra de três obteve-se a produtividade de colmos por hectare. Por diferença (produção total – produção de colmos) obteve-se a produção da palhada. Após a determinação da massa total de matéria fresca, de cada amostra foi retirada uma subamostra para a determinação da matéria seca, macro e micronutrientes.

#### **4.2.7 Avaliação da produção de matéria seca e extração de nutrientes pela parte aérea da cana-de-açúcar**

No laboratório as subamostras de colmo e palhada foram submetidas à secagem em estufa de circulação forçada de ar a 70°C até obter peso constante. Determinou-se a umidade do material fresco. Com esses resultados e conhecendo-se a produtividade total da massa fresca, foi estimada a produção média ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) de material seco. Depois de seco o material foi triturado e moído em moinho tipo Willey e foram analisados para determinação de carbono, macro e micronutrientes, seguindo a metodologia descrita por (Embrapa, 2009). Conhecendo-se a produção média de material seco por hectare e o teor de nutrientes foi estimado a extração total de nutrientes por hectare.

#### **4.2.8 Análise estatística**

A análise estatística dos dados foi realizada considerando um delineamento inteiramente casualizado, com cinco repetições e seis tratamentos (sistemas de cultivo), com a profundidade considerada amostra repetida no espaço. Todas as áreas avaliadas estão sob as mesmas condições topográficas e edafoclimáticas, diferindo apenas no uso do solo. Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância (Anova), com aplicação do teste F e os valores médios, quando significativos, foram comparados entre si

pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ) para comparação das médias entre as áreas avaliadas. Todas as análises estatísticas foram realizadas utilizando o programa R versão 2.15.2.

### 4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 4.3.1 Estado nutricional da cana-de-açúcar

A grande capacidade da cana-de-açúcar, para a produção de matéria orgânica, reside na alta taxa de fotossíntese por unidade de superfície de terreno, que é influenciado pelo índice de área foliar. Sendo a cana-de-açúcar uma planta de metabolismo fotossintético  $C_4$ , é considerada altamente eficiente na conversão de energia radiante em energia química. A maior eficiência fotossintética ocorre quando a posição das folhas no colmo é mais vertical, principalmente em populações de alta densidade populacional devido à penetração mais eficiente da luz no dossel (Rodrigues, 1995).

Na Tabela 4.1 é apresentado o valor do teste F do efeito dos tratamentos para os teores de carbono, nitrogênio e da relação C/N na Folha+1 da cana-de-açúcar. Verificou que não houve efeito do cultivo orgânico sobre o teor de carbono na Folha+1 da cana. O efeito de tratamentos foi significativo ( $p < 0,001$ ) para o nitrogênio e a relação C/N.

**Tabela 4.1.** Resumo da análise de variância para os teores de carbono, nitrogênio e a relação C/N na Folha+1 da cana-de-açúcar em áreas de cultivo orgânico e convencional.

F.V.	Valor de F		
	C	N	C/N
Tratamentos	0,199 <sup>ns</sup>	24,92***	18,59***
CV(%)	14,53	6,32	6,60

F.V – Fonte de variação; C – Carbono; N- Nitrogênio; \*\*\* significativo ao nível de 0,1% de probabilidade no teste F; <sup>ns</sup> – Não significativo.

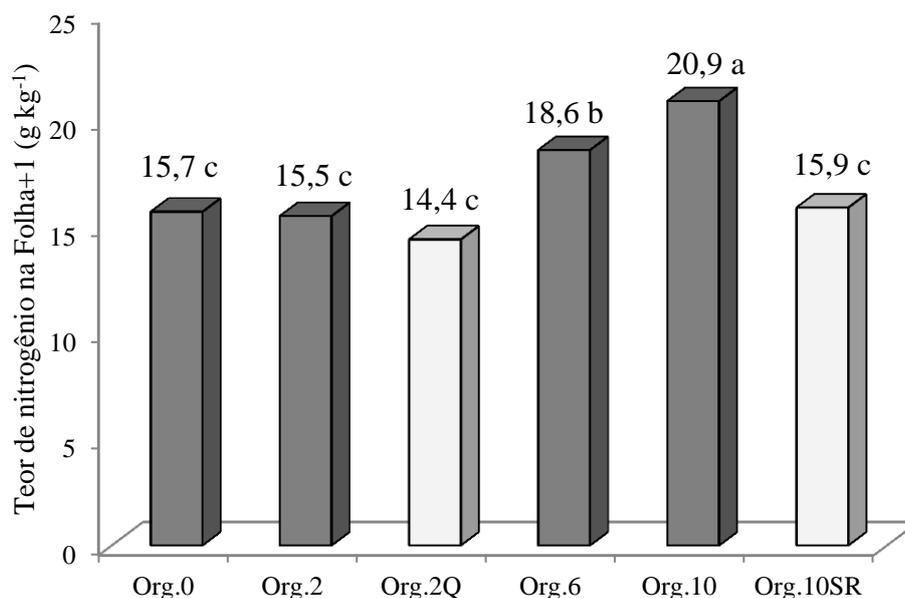
Na Tabela 4.2 são apresentados os valores dos teores de carbono nas folhas. De maneira geral, verificou-se que os valores variaram entre 438 g kg<sup>-1</sup> e 443g kg<sup>-1</sup>, mas sem diferença significativa entre as áreas.

**Tabela 4.2.** Teor carbono na Folha+1 da cana-de-açúcar em função do tempo de cultivo orgânico.

Tratamentos					
Org.0	Org.2	Org.2Q	Org.6	Org.10	Org.10SR
-----Teor de carbono (g kg <sup>-1</sup> )-----					
441	439	440	443	442	438

Valores representam média de cinco repetições. Org.0 – área cultivada em sistema convencional, representando o início do sistema de cultivo orgânico; Org.2 – área cultivada há dois anos no sistema orgânico; Org.2Q – área cultivada há dois anos no sistema orgânico com uma queima acidental; Org.6 – área cultivada há seis anos no sistema orgânico; Org.10 – área cultivada há dez anos no sistema orgânico; Org.10SR – área cultivada no sistema orgânico há dez anos e sem reforma do canavial durante esse período.

Na Figura 4.1 são apresentados os dados do teor de nitrogênio. Os dados mostram que o aumento no teor de nitrogênio nas folhas de cana-de-açúcar começa a ser observado a partir de seis anos de cultivo orgânico (Org.6). O maior teor de nitrogênio foi encontrado na área Org.10 que obteve 20,86 g kg<sup>-1</sup> e foi significativamente superior às demais áreas. A área Org.6 apresentou 18,60 g kg<sup>-1</sup> e foi superior significativamente à área Org.2.



**Figura 4.1.** Teor de nitrogênio na Folha+1 da cana-de-açúcar em áreas de cultivo orgânico e convencional. Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem estatisticamente pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ). Valores representam média de cinco repetições. Org.0 – área cultivada em sistema convencional, representando o início do sistema de cultivo orgânico; Org.2 – área cultivada há dois anos no sistema orgânico; Org.2Q – área cultivada há dois anos no sistema orgânico com uma queima acidental; Org.6 – área cultivada há seis anos no sistema orgânico; Org.10 – área cultivada há dez anos no sistema orgânico; Org.10SR – área cultivada no sistema orgânico há dez anos e sem reforma do canavial durante esse período.

Apenas as áreas Org.6 e Org.10 apresentaram teor de nitrogênio acima do nível crítico (Figura 4.1). Segundo Malavolta (1981), o nível crítico de nitrogênio para a cana-de-açúcar é de 16,00 g kg<sup>-1</sup>. Segundo Raij et al. (1996), o teor foliar de nitrogênio considerado adequado varia de 18,00 g kg<sup>-1</sup> a 25,00 g kg<sup>-1</sup>. Reis Junior & Monnerat (2003) realizaram um estudo onde foram avaliados os teores foliares de nutrientes de 126 lavouras comerciais de cana-de-açúcar com o objetivo de obter a relação entre os índices DRIS (Diagnosis and Recommendation Integrated System) e os teores foliares de nutrientes, estabelecer teores foliares adequados de nutrientes com o DRIS e validar normas DRIS para a cana-de-açúcar. Segundo os autores o teor foliar adequado de nitrogênio para a cana-de-açúcar é de 13,40 g kg<sup>-1</sup>.

Os dados da Figura 4.1 mostram que a queima acidental não afetou o teor de nitrogênio nas folhas da cana, pois o teor de N na área Org.2 não difere significativamente dos valores observados na área Org.2Q. Mas, com relação às duas áreas cultivadas em sistema orgânico há dez anos, observou-se que o teor de nitrogênio das plantas da área Org.10SR foi significativamente inferior aos valores da área Org.10. Indicando que após 12 anos do plantio o canavial enfraqueceu e reduziu o potencial de absorção de nitrogênio. A menor absorção de nitrogênio pelas plantas da área Org.10SR não foi devido à deficiência deste elemento no solo, pois ao analisar o estoque de nitrogênio no solo verificou-se que o conteúdo não difere entre as áreas, até a profundidade de 100 cm (dados apresentados do Capítulo 5, sobre estoques de C e N).

Na Tabela 4.3 são apresentados os dados da relação C/N na Folha+1 da cana-de-açúcar. De maneira geral os dados variaram entre 21,2 a 30,9. Sendo a menor relação C/N observada na área cultivada há dez anos em sistema orgânico (Org.10), a qual não diferiu significativamente da área cultivada há seis anos no sistema orgânico (Org.6). Os dados obtidos nesse estudo estão muito abaixo daqueles geralmente observados na literatura para a cana-de-açúcar. Isso se deve ao material analisado, que nesse estudo foi a Folha+1, que é um material ainda em desenvolvimento e provavelmente ao longo do desenvolvimento da cultura o nitrogênio contido nesse material será translocado para outras partes da planta e, as folhas envelhecidas terão maior relação C/N.

**Tabela 4.3.** Relação C/N da Folha+1 da cana-de-açúcar em áreas de cultivo orgânico e convencional.

Relação C/N na Folha+1 da cana-de-açúcar					
Org.0	Org.2	Org.2Q	Org.6	Org.10	Org.10SR
28,2 a	28,4 a	30,9 a	24,5 bc	21,2 c	27,6 ab

Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem estatisticamente pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ). Valores representam média de cinco repetições. Org.0 - área cultivada em sistema convencional, representando o início do sistema de cultivo orgânico; Org.2 - área cultivada há dois anos no sistema orgânico; Org.2Q - área cultivada há dois anos no sistema orgânico com uma queima acidental; Org.6 - área cultivada há seis anos no sistema orgânico; Org.10 - área cultivada há dez anos no sistema orgânico; Org.10SR - área cultivada no sistema orgânico há dez anos e sem reforma do canavial durante esse período.

Os dados da Tabela 4.3 mostram que a idade da lavoura orgânica influenciou na relação C/N. Na área Org.10SR onde a cultura foi instalada há mais tempo observou-se maior relação C/N das plantas do que aquela observada na área Org.10. Isso se deve à baixa absorção de N pelas plantas mais antigas.

Com relação à área Org.2Q verificou-se que a queima acidental não interferiu na absorção de nitrogênio pelas plantas, não alterando, portanto a relação C/N das plantas quando comparadas com as plantas da área Org.2.

Na Tabela 4.4 são apresentados o valor de F, bem como o nível de significância, para o efeito de tratamentos sobre os teores de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) na Folha+1 da cana-de-açúcar em áreas de cultivo orgânico e convencional. Os dados mostram que o efeito de tratamentos foi significativo para os teores de P, K e Mg.

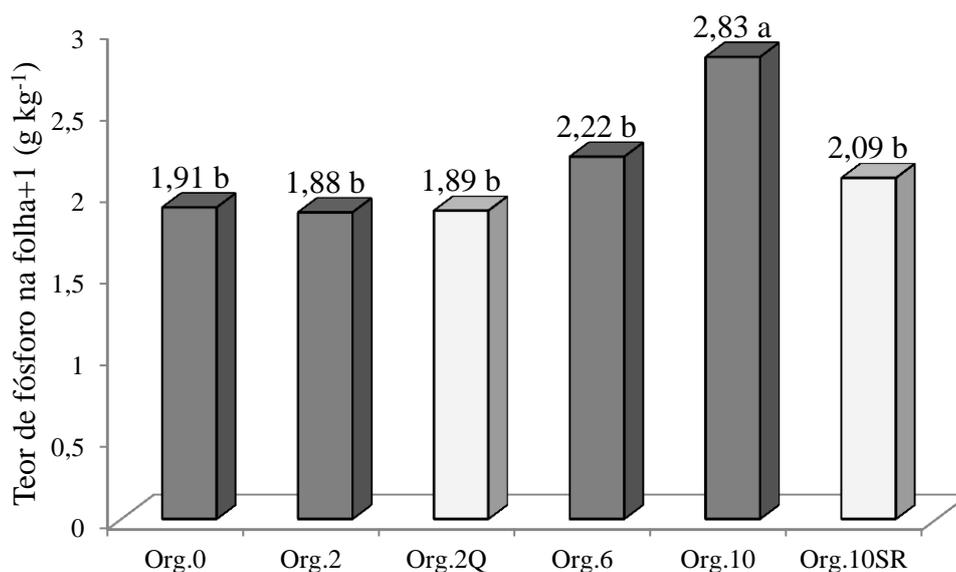
**Tabela 4.4.** Resumo da análise de variância para os teores de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) na Folha+1 da cana-de-açúcar, em áreas de cultivo orgânico e convencional.

F.V.	Valor de F			
	P	K	Ca	Mg
Tratamentos	13,66***	9,14***	0,543 <sup>ns</sup>	3,182*
CV(%)	10,47	13,14	10,47	10,47

F.V – Fonte de variação; \*, \*\*\* significativo ao nível de 5% e 0,01%, respectivamente, de probabilidade no teste F; <sup>ns</sup> – Não significativo.

Na Figura 4.2 são exibidos os valores que expressão a concentração de fósforo na Folha+1 da cana. Os dados mostram que o maior conteúdo de fósforo foi obtido na área Org.10 que obteve 2,83 g kg<sup>-1</sup> sendo significativamente superior às demais áreas. O conteúdo de P nas áreas Org.0, Org.2 e Org.6 foi de 1,91 g kg<sup>-1</sup>, 1,88 g kg<sup>-1</sup> e 2,22 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente, os quais não diferem significativamente entre si.

Todas as áreas estudadas apresentaram conteúdo de P acima do nível crítico para a cana-de-açúcar, que é de 1,20 g kg<sup>-1</sup> segundo Malavolta (1981). Segundo Reis Junior & Monnerat (2003), entretanto, o teor foliar de fósforo adequado para a cana-de-açúcar é de 1,91 g kg<sup>-1</sup>. Deste modo, verifica-se que o uso da torta de filtro e dos fosfatos naturais no sistema de cultivo orgânico foi tão eficiente para a nutrição da planta quanto o adubo mineral usado na área Org.0. Após dez anos de cultivo orgânico, a absorção de P nesse sistema foi melhor do que no cultivo convencional, visto que o conteúdo de fósforo nas plantas da área Org.10 foi maior do que na área Org.0.



**Figura 4.2.** Teor de fósforo na Folha+1 da cana-de-açúcar em áreas de cultivo orgânico e convencional. Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem estatisticamente pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ). Valores representam média de cinco repetições. Org.0 - área cultivada em sistema convencional, representando o início do sistema de cultivo orgânico; Org.2 - área cultivada há dois anos no sistema orgânico; Org.2Q - área cultivada há dois anos no sistema orgânico com uma queima acidental; Org.6 - área cultivada há seis anos no sistema orgânico; Org.10 - área cultivada há dez anos no sistema orgânico; Org.10SR - área cultivada no sistema orgânico há dez anos e sem reforma do canavial durante esse período.

No cultivo orgânico busca-se o equilíbrio do sistema, dando grande enfoque à manutenção da atividade biológica do solo. Neste sistema os microrganismos do solo podem solubilizar o fósforo que se encontra em adsorção específica e torná-los disponíveis para as plantas. Evangelista et al. (2012) avaliando a atividade de enzimas de um Latossolo Vermelho cultivado com cana-de-açúcar em sistemas de produção orgânicos e convencionais concluíram que os maiores valores da enzima fosfatase ácida foram encontrados na área de sistema de produção orgânica sem revolvimento do solo.

Korndörfer & Melo (2009) realizaram um estudo com o objetivo de avaliar o desempenho dos adubos fosfatados: superfosfato triplo, superfosfato simples, ácido fosfórico e uma mistura de ácido fosfórico + fosfato natural aplicados em área de solo Podzólico Vermelho-Amarelo de textura média, avaliaram também os seus efeitos ao longo do tempo sobre a produtividade da cana-de-açúcar. Os autores verificaram que a soma da produção da cana-de-açúcar em três cortes consecutivos mostrou que a mistura de ácido fosfórico + fosfato natural foi menos eficiente que as demais fontes, apresentando

média de 48% de eficiência agrônômica nos três cortes. Porém, ao analisar o comportamento da mistura ácido fosfórico + fosfato natural ao longo dos três cortes os autores observaram que houve um aumento no índice de eficiência agrônômica de 41% para 72% do primeiro para o terceiro corte, enquanto as outras fontes reduziram o índice de eficiência. Isso indica que, dependendo do manejo, os fosfatos naturais podem ser tão eficientes ou mais, do que os fosfatos minerais altamente solúveis.

Os dados da Figura 4.2 mostram que a queima acidental não afetou o teor de fósforo nas folhas da cana, pois o teor na área Org.2 não diferiu significativamente dos valores observados na área Org.2Q. Mas, com relação às duas áreas cultivadas em sistema orgânico há dez anos, observou-se que o teor de fósforo nas plantas da área Org.10SR foi significativamente inferior aos valores da área Org.10, indicando que após 12 anos do plantio a cana enfraqueceu e reduziu o potencial de absorção de fósforo. A menor absorção de fósforo pelas plantas da área Org.10SR não foi devido à deficiência deste elemento no solo, pois ao analisar o teor de fósforo no solo verificou que o conteúdo não difere entre as duas áreas, até a profundidade de 100 cm (dados apresentados no Capítulo 3, sobre fertilidade do solo).

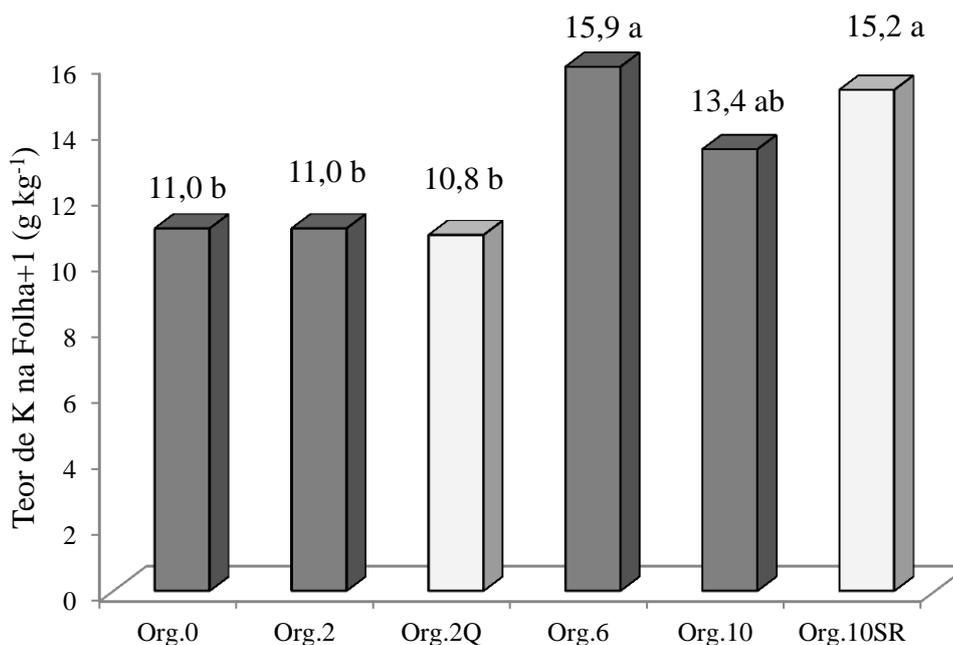
O fósforo é o nutriente que mais limita a produção vegetal em regiões tropicais (Novais & Smyth, 1999). Exerce função chave no metabolismo da cana-de-açúcar, particularmente na formação de proteínas, processo de divisão celular, fotossíntese, armazenamento de energia, desdobramento de açúcares, respiração e fornecimento de energia a partir de ATP e formação de sacarose (Alexander, 1973).

A cana-de-açúcar absorve pequena quantidade de fósforo quando comparado com o nitrogênio e o potássio. Quando adubos fosfatados são aplicados ao solo, depois de sua dissolução, grande parte do fósforo é retida na fase sólida, formando compostos menos solúveis, e apenas parte do fósforo é aproveitada pelas plantas (Korndörfer & Melo, 2009).

No sistema de cultivo orgânico não é permitido o uso de adubos fosfatados sintéticos altamente solúveis. São usados principalmente os adubos orgânicos e também pós de rocha. No sistema de cultivo convencional da cana-de-açúcar, o uso de adubos orgânicos como a torta de filtro, associada com adubos minerais é uma técnica já difundida e utilizada por alguns produtores de cana-de-açúcar. Porém, a eficiência do uso de adubos orgânicos no sistema de cultivo orgânico ainda é desconhecida, pois neste sistema o adubo orgânico não pode ser associado aos adubos sintéticos.

Com relação ao potássio foi observado que o sistema de cultivo orgânico

influenciou o seu teor nas folhas da cana-de-açúcar. Na Figura 4.3 verifica-se que o maior valor de K foi observado na área Org.6 onde foi obtido o teor de  $15,94 \text{ g kg}^{-1}$ , o qual não difere significativamente do valor  $13,44 \text{ g kg}^{-1}$  encontrado na área Org.10. Mas, foram significativamente superiores aos valores  $11,03 \text{ g kg}^{-1}$  e  $11,00 \text{ g kg}^{-1}$  observados nas áreas Org.0 e Org.2, respectivamente.



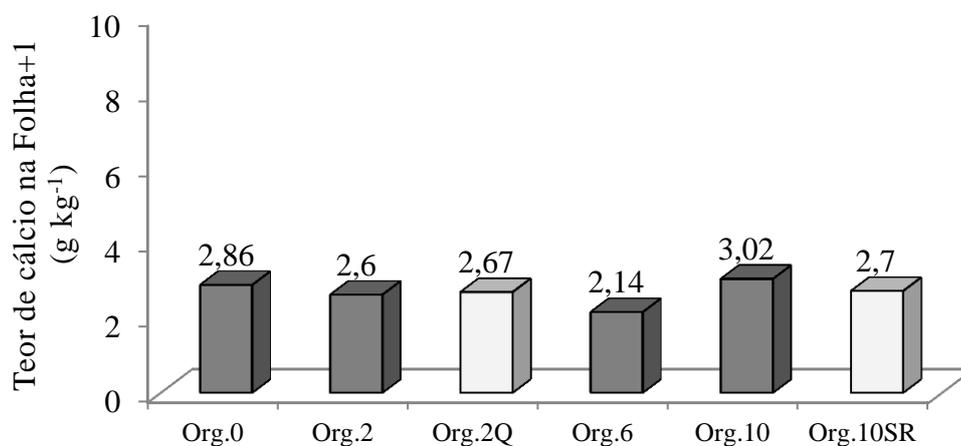
**Figura 4.3.** Teor de potássio (K) na Folha+1 da cana-de-açúcar em áreas de cultivo orgânico e convencional. Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem estatisticamente pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ). Valores representam média de cinco repetições. Org.0 - área cultivada em sistema convencional, representando o início do sistema de cultivo orgânico; Org.2 - área cultivada há dois anos no sistema orgânico; Org.2Q - área cultivada há dois anos no sistema orgânico com uma queima acidental; Org.6 - área cultivada há seis anos no sistema orgânico; Org.10 - área cultivada há dez anos no sistema orgânico; Org.10SR - área cultivada no sistema orgânico há dez anos e sem reforma do canavial durante esse período.

Nas áreas Org.0 e Org.2 os teores de K nas plantas ficaram abaixo do nível crítico para a cana-de-açúcar. Segundo Malavolta (1981) o nível crítico de K para a cultura da cana-de-açúcar é de  $12,00 \text{ g kg}^{-1}$ . Segundo Reis Junior & Monnerat (2003) o teor foliar de K adequado para a cana-de-açúcar é de  $12,20 \text{ g kg}^{-1}$ , de K na folha + 1, tanto para cana-planta quanto para cana-soca. Teores de K menores que  $12,00 \text{ g kg}^{-1}$  da matéria seca de amostras do limbo da Folha +1 indicam deficiência do nutriente. Já teores maiores que  $12,00 \text{ g kg}^{-1}$  indicam níveis adequados.

A deficiência de potássio na planta afeta a produtividade do canavial e pode diminuir a qualidade da matéria prima, influenciando nas características agroindustriais, como pol, brix e qualidade do caldo (Uchôa et al., 2009).

O K é um nutriente importante para a cana-de-açúcar, sendo o mais extraído pela cultura, pois regula a turgidez do tecido, a ativação enzimática, a abertura e fechamento dos estômatos, o transporte de carboidratos, a transpiração, a resistência a geadas, seca, doenças e ao acamamento (Malavolta, 1980).

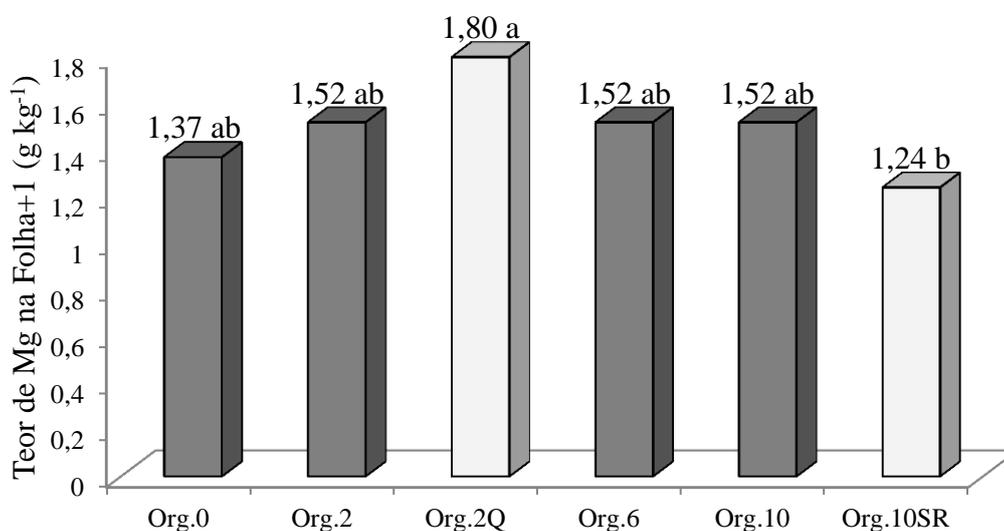
Com relação à concentração de Ca nas folhas da cana-de-açúcar, assim como ocorreu com o carbono, não foi afetado pelo sistema de cultivo orgânico. A Figura 4.4 apresenta os teores de Ca nas folhas da cana-de-açúcar. De maneira geral, verificou-se que o conteúdo Ca variou de 2,14 g kg<sup>-1</sup> a 3,02 g kg<sup>-1</sup>, sem diferença significativa entre as áreas. Porém, os dados mostram que em todas as áreas as plantas estavam deficientes em cálcio, pois estavam com teor de cálcio abaixo do nível crítico, que é de 4,00 g kg<sup>-1</sup>, de acordo com Malavolta (1981) e de 2,99 g kg<sup>-1</sup>, segundo (Reis Junior & Monnerat, 2003).



**Figura 4.4.** Teor de cálcio (Ca) na Folha+1 da cana-de-açúcar em função do tempo de cultivo orgânico. Valores representam média de cinco repetições. Org.0 - área cultivada em sistema convencional, representando o início do sistema de cultivo orgânico; Org.2 - área cultivada há dois anos no sistema orgânico; Org.2Q - área cultivada há dois anos no sistema orgânico com uma queima acidental; Org.6 - área cultivada há seis anos no sistema orgânico; Org.10 - área cultivada há dez anos no sistema orgânico; Org.10SR - área cultivada no sistema orgânico há dez anos e sem reforma do canavial durante esse período.

A Figura 4.5 se refere aos teores de magnésio. De modo geral observou-se que o tempo de cultivo orgânico não influenciou significativamente no conteúdo desse nutriente nas plantas das áreas estudadas. Mostrando que a adubação orgânica não

apresentou efeito positivo em melhorar a absorção de Mg pelas plantas de cana-de-açúcar.



**Figura 4.5.** Teor de magnésio (Mg) na Folha+1 da cana-de-açúcar em função do tempo de cultivo orgânico. Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem estatisticamente pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ). Valores representam média de cinco repetições. Org.0 - área cultivada em sistema convencional, representando o início do sistema de cultivo orgânico; Org.2 - área cultivada há dois anos no sistema orgânico; Org.2Q - área cultivada há dois anos no sistema orgânico com uma queima acidental; Org.6 - área cultivada há seis anos no sistema orgânico; Org.10 - área cultivada há dez anos no sistema orgânico; Org.10SR - área cultivada no sistema orgânico há dez anos e sem reforma do canavial durante esse período.

O maior conteúdo de Mg foi encontrado na área cultivada em sistema orgânico há dois anos, com queima acidental (Org.2Q) onde se obteve  $1,80 \text{ g kg}^{-1}$ , mas que diferiu somente da área cultivada em sistema orgânico há dez anos, sem reforma do canavial (Org.10SR), onde foi registrado o valor de  $1,24 \text{ g kg}^{-1}$ . Segundo Malavolta (1981) o nível crítico de magnésio para a cana-de-açúcar é de  $2,00 \text{ g kg}^{-1}$ , e como se observa na Figura 4.5, todas as áreas estão abaixo deste nível. Segundo Reis Junior & Monnerat (2003), o teor foliar de magnésio adequado para a cana-de-açúcar é de  $2,15 \text{ g kg}^{-1}$ .

Os adubos orgânicos, tais como, esterco, tortas e compostos, apesar da baixa concentração, são fontes importantes de micronutrientes pelas altas doses aplicadas no solo. Além de serem fontes de micronutrientes, estes adubos podem aumentar a solubilidade dos já existentes no solo pela formação de complexos solúveis com ânions de ácidos orgânicos (Volkweiss et al., 1983).

Na Tabela 4.5 são apresentados os valores de F bem como o nível de

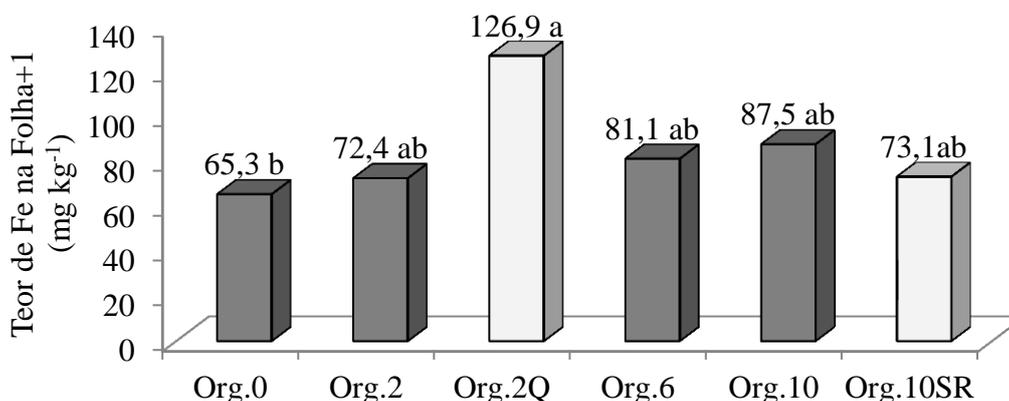
significância para o efeito dos tratamentos sobre os teores de ferro (Fe), manganês (Mn), cobre (Cu) e zinco (Zn). Os dados mostram que para todas estas variáveis o efeito dos tratamentos foi significativo.

**Tabela 4.5.** Resumo da análise de variância para os teores de ferro (Fe), manganês (Mn), cobre (Cu) e zinco (Zn) na Folha+1 da cana-de-açúcar, em áreas de cultivo orgânico e convencional.

F.V.	Valor de F			
	Fe	Mn	Cu	Zn
Tratamentos	2,93*	14,14***	5,319**	4,491**
CV(%)	34,44	22,14	9,4	10,7

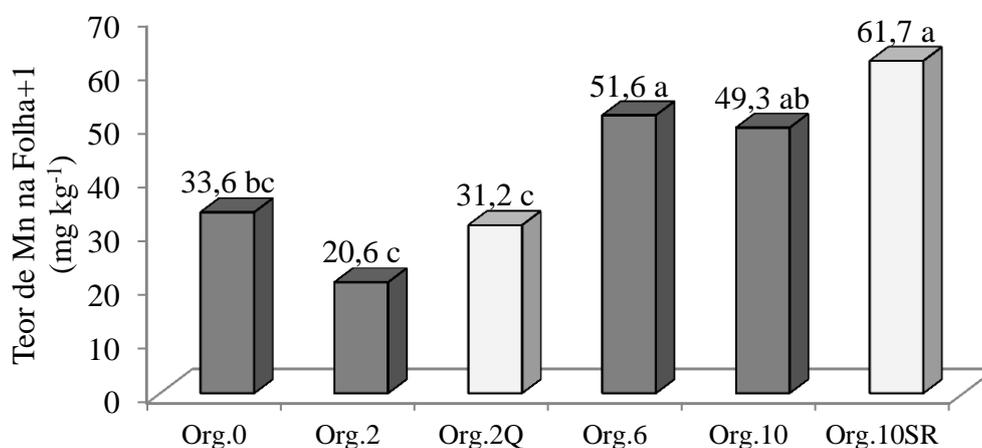
F.V – Fonte de variação; \*, \*\*, \*\*\* significativo ao nível de 5%, 1% e 0,01%, respectivamente, de probabilidade no teste.

De maneira geral, a concentração de Fe na cana-de-açúcar variou entre 65,3 mg kg<sup>-1</sup> a 126,9 mg kg<sup>-1</sup> (Figura 4.6). Sendo a maior concentração registrada na área Org.2Q e a menor na área convencional (Org.0). Os dados mostram que em todas as áreas, exceto na área Org.2Q, as plantas estão deficientes nesse nutriente. Segundo Malavolta (1981) o nível crítico de ferro para a cana-de-açúcar é de 100,0 mg kg<sup>-1</sup>.



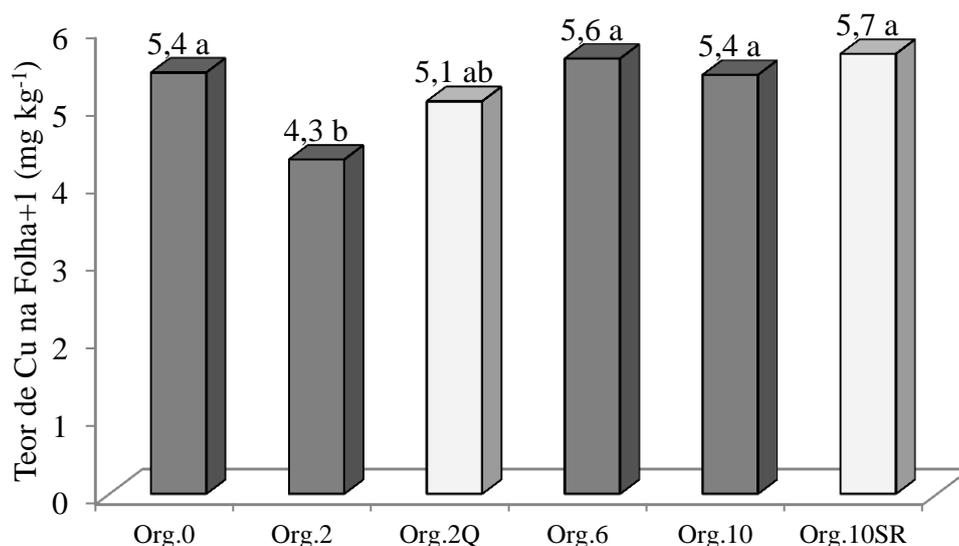
**Figura 4.6.** Teor de ferro (Fe) na Folha+1 da cana-de-açúcar em áreas de cultivo orgânico e convencional. Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem estatisticamente pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ). Valores representam média de cinco repetições. Org.0 - área cultivada em sistema convencional, representando o início do sistema de cultivo orgânico; Org.2 - área cultivada há dois anos no sistema orgânico; Org.2Q - área cultivada há dois anos no sistema orgânico com uma queima acidental; Org.6 - área cultivada há seis anos no sistema orgânico; Org.10 - área cultivada há dez anos no sistema orgânico; Org.10SR - área cultivada no sistema orgânico há dez anos e sem reforma do canavial durante esse período.

Com relação ao Mn, os maiores teores foram encontrados nas áreas Org.6 e Org.10 (Figura 4.7). Observa-se que a área cultivada em sistema orgânico há dez anos, e há 12 anos sem reformar o canavial (Org.10SR), não difere da área que tem o mesmo tempo de cultivo orgânico, mas com reformas periódicas (Org.10), em relação ao teor de Mn. Indicando que a idade da lavoura não altera o potencial das plantas para absorver o Mn. Segundo Malavolta (1981) o nível crítico de manganês para a cana-de-açúcar é de  $50 \text{ mg kg}^{-1}$ , e de  $67,8 \text{ mg kg}^{-1}$  segundo (Reis Junior & Monnerat, 2003).



**Figura 4.7.** Teor de manganês (Mn) na Folha+1 da cana-de-açúcar em áreas de cultivo orgânico e convencional. Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem estatisticamente pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ). Valores representam média de cinco repetições. Org.0 - área cultivada em sistema convencional, representando o início do sistema de cultivo orgânico; Org.2 - área cultivada há dois anos no sistema orgânico; Org.2Q - área cultivada há dois anos no sistema orgânico com uma queima acidental; Org.6 - área cultivada há seis anos no sistema orgânico; Org.10 - área cultivada há dez anos no sistema orgânico; Org.10SR - área cultivada no sistema orgânico há dez anos e sem reforma do canavial durante esse período.

Com relação aos teores de cobre observou se que nas plantas da área Org.0 foram maiores do que naquelas da área Org.2 (Figura 4.8), indicando que, no início do cultivo orgânico houve uma redução significativa no potencial das plantas em absorver o Cu. Mas, após seis anos de cultivo a capacidade de absorção de cobre foi recuperada.

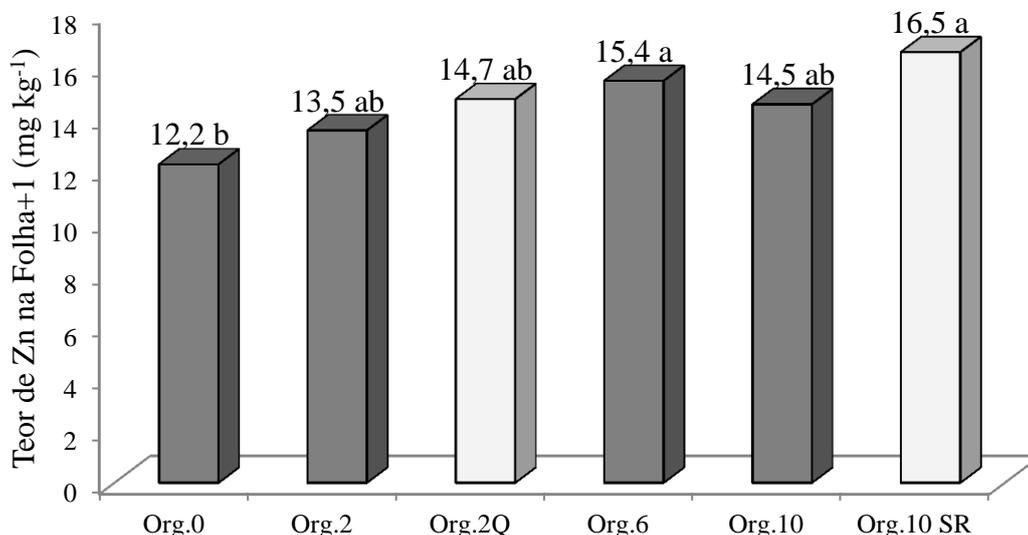


**Figura 4.8.** Teor de cobre (Cu) na Folha+1 da cana-de-açúcar em áreas de cultivo orgânico e convencional. Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem estatisticamente pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ). Valores representam média de cinco repetições. Org.0 - área cultivada em sistema convencional, representando o início do sistema de cultivo orgânico; Org.2 - área cultivada há dois anos no sistema orgânico; Org.2Q - área cultivada há dois anos no sistema orgânico com uma queima acidental; Org.6 - área cultivada há seis anos no sistema orgânico; Org.10 - área cultivada há dez anos no sistema orgânico; Org.10SR - área cultivada no sistema orgânico há dez anos e sem reforma do canavial durante esse período.

Os menores teores foliares de cobre foram encontrados nas duas áreas cultivadas em sistema orgânico há dois anos (Org.2 e Org.2Q). As demais áreas não diferiram significativamente entre si. Segundo Malavolta (1981) o nível crítico de cobre para a cana-de-açúcar é de  $6,00 \text{ mg kg}^{-1}$  e de  $4,48 \text{ mg kg}^{-1}$  segundo Reis Junior & Monnerat (2003). Considerando o estudo de Malavolta como referência, em todas as áreas estudadas as plantas estão com deficiência deste nutriente. Mas, se o estudo de Reis Junior & Monnerat (2003) for considerado, verifica-se que apenas as plantas da área Org.2 estão com a deficiência.

Com relação aos teores de Zn verificou-se que o maior teor de Zn foi encontrado na área Org.6 com  $15,36 \text{ mg kg}^{-1}$ , e o menor na área convencional Org.0 com  $12,25 \text{ mg kg}^{-1}$  (Figura 4.9). Segundo Malavolta (1981), o nível crítico para a cana-de-açúcar é de  $10 \text{ mg kg}^{-1}$  de Zn. Porém, segundo Reis Junior & Monnerat (2003) o teor foliar adequado para a cana-de-açúcar é de  $11,7 \text{ mg kg}^{-1}$  de Zn. Apesar da diferença no teor desse nutriente entre as áreas, os dados mostram que não há deficiência do mesmo nas

plantas de nenhuma área.



**Figura 4.9.** Teor zinco (Zn) na Folha+1 da cana-de-açúcar em função do tempo de cultivo orgânico. Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem estatisticamente pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ). Valores representam média de cinco repetições. Org.0 - área cultivada em sistema convencional, representando o início do sistema de cultivo orgânico; Org.2 - área cultivada há dois anos no sistema orgânico; Org.2Q - área cultivada há dois anos no sistema orgânico com uma queima acidental; Org.6 - área cultivada há seis anos no sistema orgânico; Org.10 - área cultivada há dez anos no sistema orgânico; Org.10SR - área cultivada no sistema orgânico há dez anos e sem reforma do canalial durante esse período.

O incêndio acidental que ocorreu em uma das áreas cultivadas no sistema orgânico (Org.2Q) não afetou o teor de Zn nas folhas da cana-de-açúcar, pois o conteúdo foliar na área Org.2 não difere significativamente daquele observada na área Org.2Q. O mesmo também foi verificado para a área cultivada no sistema orgânico há dez anos sem reforma do canalial (Org.10SR), visto que o conteúdo foliar não difere significativamente daquele observado na área Org.10.

A deficiência de Zn afeta diretamente o perfilhamento e o crescimento da planta que são dois fatores fundamentais à produtividade da cana-de-açúcar e, ainda na longevidade das soqueiras. No metabolismo da planta, o Zn é essencial para a síntese do triptofano, que é o precursor do ácido indolacético (AIA), responsável pela produção de enzimas que irão promover o alongamento e crescimento celular (Taiz & Zeiger, 2004).

### 4.3.2 Produção total de colmos

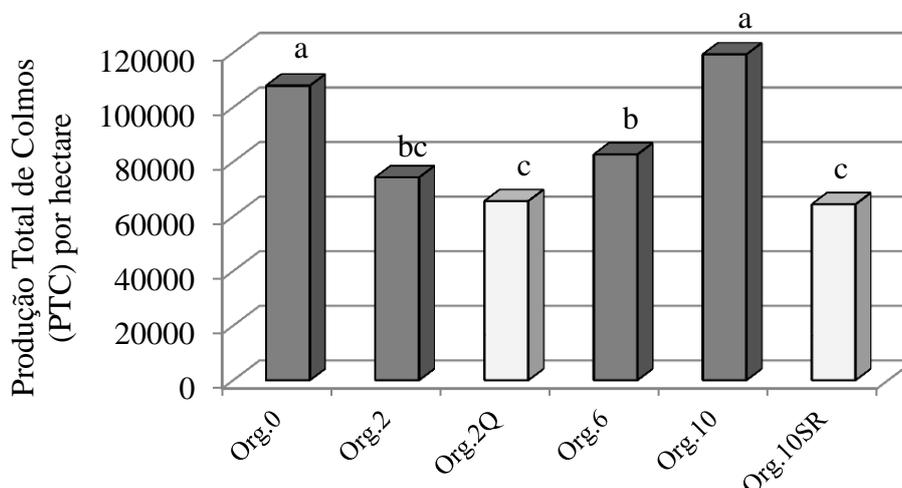
Na Tabela 4.6 é apresentado o valor do teste F do efeito dos tratamentos para a produção total de colmos (PTC) por hectare. Verificou que o efeito de tratamentos (áreas cultivadas com cana) foi altamente significativo.

**Tabela 4.6.** Resumo da análise de variância para produção total de colmos (PTC) em áreas de cultivo orgânico e convencional da cana-de-açúcar.

F.V.	Valor de F
	Número de colmos por hectare
Tratamentos	70,86***
CV (%)	7,1

F.V – Fonte de variação; \*\*\* significativo ao nível de 0,1% de probabilidade no teste F.

Na Figura 4.10 são apresentados os dados para produção total de colmos (PTC). Os dados mostram que quando uma área cultivada com cana-de-açúcar em sistema convencional (Org.0) é convertida para cultivo orgânico, no início ocorre redução no número de colmos por hectare, reduzindo de 107.866 (Org.0) para 74.266 colmos (Org.2).



**Figura 4.10.** Número de colmos por hectare de cana-de-açúcar em função do tempo de cultivo orgânico, safra 2010/2011. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ). Valores representam média de cinco repetições. (Org.0) área cultivada em sistema convencional, representando o início do sistema de cultivo orgânico; (Org.2) área cultivada há dois anos no sistema orgânico; (Org.2Q) área cultivada há dois anos no sistema orgânico com uma queima acidental; (Org.6) área cultivada há seis anos no sistema orgânico; (Org.10) área cultivada há dez anos no sistema orgânico; (Org.10SR) área cultivada no sistema orgânico há dez anos e sem reforma do canavial durante esse período.

Com o passar do tempo de cultivo orgânico o sistema vai recuperando a sua capacidade. Sendo que na área com seis anos de cultivo orgânico (Org.6) produziu-se 82.667 colmos por hectare e, após 10 anos de cultivo orgânico (Org.10) o número de colmos produzido foi 119.333. Uchôa et al. (2009) em um estudo sobre a resposta de seis variedades de cana-de-açúcar, verificaram que na dose de máxima eficiência técnica, o número de colmos produzidos por hectare foi de 85.384. Esse estudo foi feito considerando diferentes doses de potássio em um Latossolo Amarelo distrocoeso, em área de cerrado na região central do estado de Roraima.

A vinhaça e a torta de filtro, aplicadas anualmente no cultivo orgânico podem ter sido responsáveis por aumentar o perfilhamento da cana-de-açúcar. Barbosa et al. (2013) em estudo com o objetivo de avaliar o efeito da fertirrigação mineral e da vinhaça aplicadas via irrigação por gotejamento subsuperficial na PTC, concluíram que a fertirrigação com vinhaça aumentou o número de colmos no ciclo da segunda e da terceira cana-soca. Santos et al. (2010) verificaram efeito positivo da aplicação de torta de filtro no aumento do número de colmos em um Latossolo Vermelho.

Segundo Penatti & Boni (1989), a matéria orgânica presente na torta de filtro traz grandes benefícios para a cana-de-açúcar, dentre eles: a presença de micronutrientes na matéria orgânica, os materiais nela contidos estão menos sujeitos a lixiviação; o aumento da CTC dos solos na região onde a torta é aplicada; a capacidade de reter maiores quantidades de água, que podem suprir deficiências hídricas, principalmente na brotação; proporcionar melhores condições físico-químicas e microbiológicas para o desenvolvimento da planta.

Com relação ao incêndio acidental que ocorreu em uma das áreas orgânicas (Org.2Q), verificou-se que não houve redução significativa sobre o número de colmos produzidos, visto que os dados não diferem significativamente daquela área com o mesmo tempo de cultivo orgânico (Org.2).

Com relação à área sem reforma do canavial (Org.10SR), onde as plantas já estão com doze anos, observou-se que houve redução de 54.933 no número de colmos quando comparados com a área Org.10. Isso ocorreu, provavelmente, porque as plantas se enfraqueceram naturalmente ao longo de sucessivos cortes, mostrando que, mesmo realizando adubações periódicas por ocasião da colheita, a cana reduziu o seu potencial de perfilhamento.

### 4.3.3 Produtividade da cana-de-açúcar

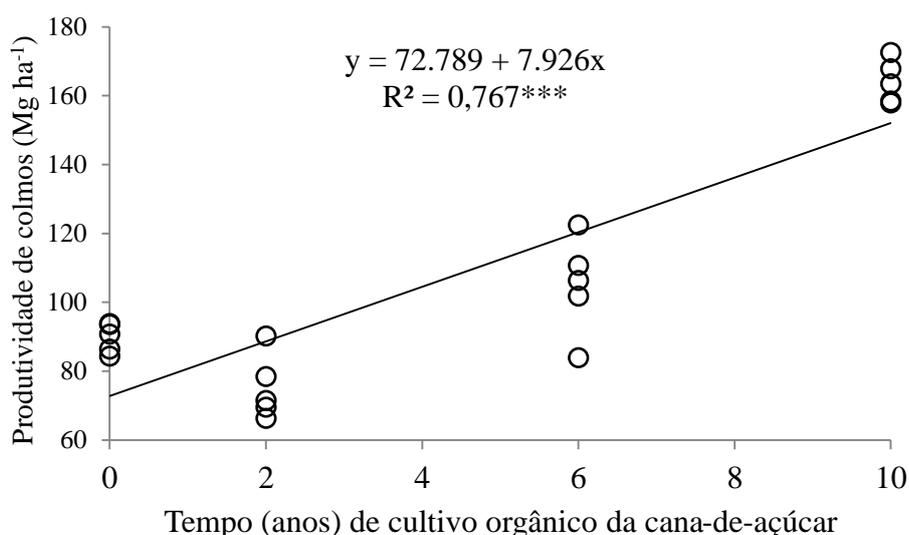
Na Tabela 4.7 é apresentado o valor do teste F do efeito dos tratamentos para a produtividade de colmos. Verificou que o efeito dos tratamentos sobre a produtividade foi altamente significativo.

**Tabela 4.7.** Resumo da análise de variância para produtividade de colmos em áreas cultivadas com cana-de-açúcar em sistema orgânico e convencional.

F.V.	Valor de F
	Produtividade da cana por hectare
Tratamentos	48,89***
CV (%)	14,53

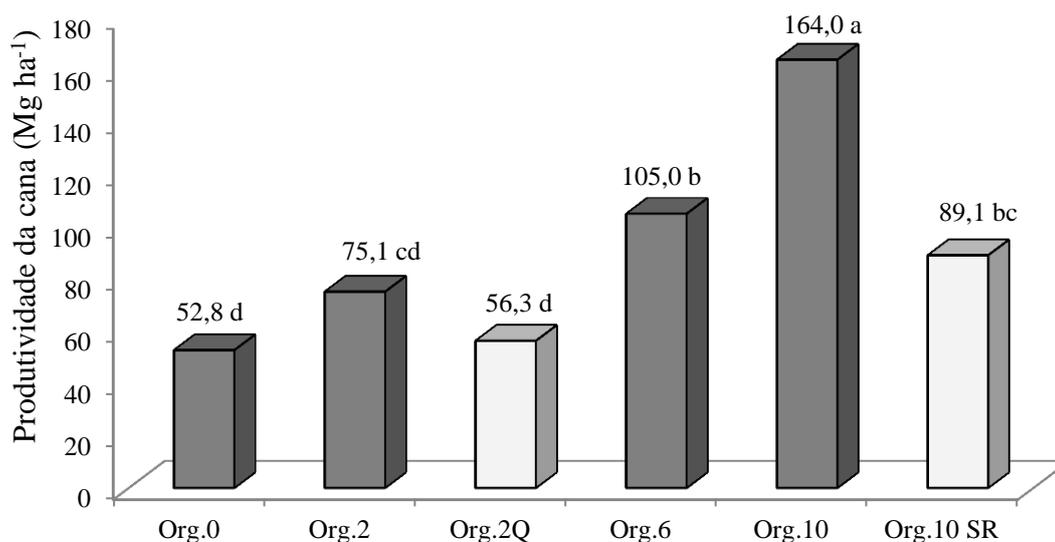
F.V – Fonte de variação; \*\*\* significativo ao nível de 0,1% de probabilidade no teste F.

Na Figura 4.11 são apresentados os dados da produtividade de colmos por hectare. Os dados mostraram que, após dois anos da conversão do sistema de cultivo convencional para o cultivo orgânico, não houve aumento significativo na produtividade de colmos. A diferença de 16,3 Mg ha<sup>-1</sup> entre os valores obtidos na área Org.0 (52,8 Mg ha<sup>-1</sup>) e na área Org.2 (75,1 Mg ha<sup>-1</sup>) não foi estatisticamente significativa. Entretanto, após 6 e 10 anos de cultivo orgânico as áreas Org.6 e Org.10 produziram 52,2 Mg ha<sup>-1</sup> e 111,2 Mg ha<sup>-1</sup> respectivamente, a mais do que a área Org.0. A Figura 4.12 mostra que há uma relação linear crescente entre a produtividade de colmos e o tempo de cultivo orgânico, observando-se que em dez anos a produtividade praticamente triplicou.



**Figura 4.11.** Produtividade de colmos (Mg ha<sup>-1</sup>) em função do tempo de cultivo orgânico da cana-de-açúcar. \*\*\* significativo ao nível de 0,1% de probabilidade no teste F.

Uma observação interessante que foi verificada neste estudo foi que, apesar da área Org.0 ter apresentado produção total de colmos semelhantes àqueles observados na área Org.10 (Figura 4.10), a produtividade de colmos foi relativamente baixa. Isso ocorreu porque o peso médio dos colmos na área Org.0 foi baixo o que resultou em baixa produtividade por hectare.



**Figura 4.12.** Produtividade da cana-de-açúcar (Mg ha<sup>-1</sup>) em função do tempo de cultivo orgânico, safra 2011/2012. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ). Valores representam média de cinco repetições. (Org.0) área cultivada em sistema convencional, representando o início do sistema de cultivo orgânico; (Org.2) área cultivada há dois anos no sistema orgânico; (Org.2Q) área cultivada há dois anos no sistema orgânico com uma queima acidental; (Org.6) área cultivada há seis anos no sistema orgânico; (Org.10) área cultivada há dez anos no sistema orgânico; (Org.10SR) área cultivada no sistema orgânico há dez anos e sem reforma do canavial durante esse período.

Gonçalves (2012) em estudo com o objetivo de avaliar o estado nutricional de canaviais em primeiro e segundo corte, cultivados no sistema orgânico, em Latossolo Vermelho distrófico obteve produtividade média variando entre 106,40 Mg ha<sup>-1</sup> a 145,28 Mg ha<sup>-1</sup>, que se assemelha à produtividade obtida na área Org.6. Vale ressaltar que os dados do trabalho de Gonçalves (2012) se referem a canaviais de primeiro e segundo corte, e que, os dados desta pesquisa se referem a canaviais no terceiro corte. É comum na cultura da cana-de-açúcar redução da produtividade do canavial nos ciclos subsequentes.

Neste estudo os resultados de produtividade obtidos nas áreas orgânicas foram superiores àqueles obtidos por Ambrosano et al. (2013) ao avaliar a produtividade da cana-de-açúcar em sucessão com crotalária-juncea (*Crotalaria juncea*), em duas localidades do estado de São Paulo, que obtiveram valores da produção de colmos que variaram entre 64,35 Mg ha<sup>-1</sup> em Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico e 133,29 Mg ha<sup>-1</sup>, em Argissolo Vermelho distrófico.

Avaliando a produtividade da cana-de-açúcar cultivada em sistema convencional após o cultivo da leguminosa crotalária, Ambrosano et al. (2011) obtiveram produtividade média de 145,4 Mg ha<sup>-1</sup>, 122,3 Mg ha<sup>-1</sup>, 79,7 Mg ha<sup>-1</sup>, 51,9 Mg ha<sup>-1</sup> e 39,3 Mg ha<sup>-1</sup> no primeiro, segundo, terceiro, quarto e quinto corte, respectivamente.

A produtividade de 52,8 Mg ha<sup>-1</sup> no terceiro corte obtida na área Org.0 foi semelhante à produtividade de 51,9 Mg ha<sup>-1</sup> obtido em canaviais de quarto no estudo de Ambrosano et al. (2011). Contudo, quando se compara a produção da cana planta (primeiro corte) de 145,4 Mg ha<sup>-1</sup>, os dados se mostraram muito inferiores aos encontrados na área de 10 anos de cultivo orgânico (Org.10) com produtividade de 164,0 Mg ha<sup>-1</sup>, em canaviais de terceiro corte. Os dados mostram o potencial produtivo dos canaviais cultivados em sistema orgânico, em relação àqueles cultivados em sistema de cultivo convencional.

Possivelmente, a maior produtividade nas áreas orgânicas está relacionada com a adubação verde com leguminosas, tais como a crotalária e também ao uso da vinhaça. Ambrosano et al. (2005) e Ambrosano et al. (2013) evidenciaram o efeito positivo da adubação verde com crotalária júncea em cana-de-açúcar com aumento na produtividade de 50% em relação à testemunha, que não recebeu adição de adubo verde. Carvalho et al. (2013) estudaram o efeito de diferentes doses de vinhaça sobre a produção de colmos da cana de açúcar no segundo corte e verificaram que a dose de 100 m<sup>3</sup> por hectare produziu 104,4 Mg ha<sup>-1</sup> de colmos, enquanto onde não se aplicou vinhaça a produtividade foi de 96,1 Mg ha<sup>-1</sup>.

A queima acidental que ocorreu na área Org.2Q não reduziu significativamente a produção total de colmos quando comparada com área Org.2 (Figura 4.2). Contudo, com relação à área sem reforma do canavial (Org.10SR) verificou-se que houve grande redução na produtividade quando comparada com a área Org.10. Essa redução foi de 74,9 Mg ha<sup>-1</sup>. Apesar desta grande redução, a produtividade obtida nesta área ainda é economicamente viável, considerando a produtividade média dos canaviais em Goiás, o que pode justificar a não reforma do canavial na região. Porém, a produtividade média do estado de Goiás (83,67 Mg ha<sup>-1</sup>) Conab (2013) pode ser considerada baixa frente ao potencial genético das variedades recém-lançadas no

mercado (Mellis et al., 2008).

#### 4.3.4 Acúmulo de matéria seca pela parte aérea da cana-de-açúcar

No cultivo da cana-de-açúcar onde a colheita é mecanizada e não há a queima antes da colheita, anualmente retornam ao solo grande quantidade de resíduos como palhas, folhas, ponteiros. A matéria seca resultante desses resíduos contem significantes quantidades de nutrientes que serão reciclados após a decomposição da matéria orgânica.

Deve-se conhecer, portanto, a capacidade de fornecimento de nutrientes pelo solo, para, se necessário, complementá-las com adubações. Neste estudo foi avaliada a quantidade de nutrientes extraídos pelos colmos e aqueles que retornam ao solo através da decomposição da palhada. Os dados da Tabela 4.8 mostram que a área Org.10 foi onde houve a maior produção total da matéria seca.

**Tabela 4.8.** Produção de Matéria Seca (MS) total ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) nos colmos, nas folhas e total em função do tempo de cultivo orgânico.

Áreas	Produção de Matéria Seca ( $\text{Mg ha}^{-1}$ )		
	Colmos	Palhada	Total
Org.0	22,41 bc	12,43 a	34,84 b
Org.2	19,68 bc	7,31 bc	27,00 bc
Org.2Q	14,08 c	5,21 c	19,29 c
Org.6	24,01 b	8,21 bc	32,22 b
Org.10	40,41 a	10,63 ab	51,05 a
Org.10SR	23,40 bc	8,22 bc	31,62 b

Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem estatisticamente pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ). Valores representam média de cinco repetições. (Org.0) - área cultivada em sistema convencional, representando o início do sistema de cultivo orgânico; (Org.2) área cultivada há dois anos no sistema orgânico; (Org.2Q) área cultivada há dois anos no sistema orgânico com uma queima acidental; (Org.6) - área cultivada há seis anos no sistema orgânico; (Org.10) - área cultivada há dez anos no sistema orgânico; (Org.10SR) área cultivada no sistema orgânico há dez anos e sem reforma do canavial durante esse período.

Os resultados obtidos neste estudo para a produção de MS estão dentro da faixa daqueles observados por Oliveira et al. (2010) que avaliaram o crescimento e a produção de MS de onze variedades de cana-de-açúcar cultivadas em Argissolo amarelo distrófico, e submetidas a regime de irrigação plena durante o ciclo da cana. Os autores verificaram que a quantidade de matéria seca acumulada na folha + ponteiro variou entre  $7,5 \text{ Mg ha}^{-1}$  e  $12,0 \text{ Mg ha}^{-1}$ . Porém, o acúmulo de matéria seca no colmo no trabalho de Oliveira et al. (2010) foi muito superior aos obtidos neste estudo com valores médios variando entre  $48 \text{ Mg ha}^{-1}$  e  $85 \text{ Mg ha}^{-1}$ . Provavelmente o maior acúmulo de matéria seca obtida no trabalho desses autores se deve às condições de umidade contínuas do solo mantidas pela irrigação plena. A produção de matéria seca total

variou entre 85 Mg ha<sup>-1</sup> e 97 Mg ha<sup>-1</sup>.

#### 4.3.5 Extração e exportação de nutrientes pela cana-de-açúcar

Na avaliação da extração de nutrientes em função do tempo de cultivo orgânico observou-se que na área cultivada em sistema orgânico há mais tempo (Org.10) foi onde houve a maior extração de nitrogênio (Tabela 4.9). Nesta área as plantas extraíram 1.063,9 kg de N ha<sup>-1</sup>, desse total 842,21 kg são exportados juntos com os colmos e 221,8 retornam ao solo junto com a palhada através do processo de decomposição. A palhada é decomposta por ação dos microrganismos e, desta forma os nutrientes são disponibilizados para o solo, ocorrendo a reciclagem e pode minimizar as quantidades de fertilizantes a serem aplicados, com consequente redução dos custos de produção Benett et al. (2012), o que torna o sistema mais sustentável.

**Tabela 4.9.** Extração de nutrientes (kg ha<sup>-1</sup>) pela parte aérea total, pelos colmos e palhada da cana-de-açúcar em áreas de cultivo orgânico e convencional.

Áreas	Extração total de nutrientes pela parte aérea da cana-de-açúcar (kg ha <sup>-1</sup> )								
	N	P	Ca	Mg	K	Fe	Zn	Cu	Mn
Org.0	547,3b	66,5b	100,3ab	47,0b	385,0bc	2,28b	0,43bcd	0,19b	1,17c
Org.2	418,6bc	51,0bc	70,2b	41,4b	300,7cd	1,98b	0,37cd	0,12cd	0,56d
Org.2Q	277,7c	36,4c	51,0b	34,6b	207,3d	2,37b	0,28d	0,10d	0,59d
Org.6	587,8b	71,0b	67,9b	49,3b	509,9b	2,61b	0,49bc	0,18bc	1,64bc
Org.10	1.063,9a	144,5a	155,2a	77,6a	686,9a	4,46a	0,73a	0,28a	2,45a
Org.10SR	506,2b	66,2b	85,4b	39,6b	481,5b	2,31b	0,52b	0,18bc	1,95ab

	Extração de nutrientes pelos colmos da cana-de-açúcar (kg ha <sup>-1</sup> )								
	N	P	Ca	Mg	K	Fe	Zn	Cu	Mn
Org.0	315,8bc	47,2b	64,0b	30,7b	246,5bcd	1,46b	0,27bc	0,12bc	0,75c
Org.2	305,0bc	37,2b	51,1b	30,3b	219,8cd	1,74b	0,27bc	0,09bc	0,41c
Org.2Q	202,2c	26,5b	37,2b	25,2b	151,2d	1,45b	0,21c	0,07c	0,43c
Org.6	437,8b	53,0b	50,7b	36,8b	380,2b	1,94b	0,37b	0,13b	1,22b
Org.10	842,1a	114,3a	122,5a	61,3a	541,5a	3,53a	0,58a	0,22a	1,92a
Org.10SR	357,8bc	49,0b	62,9b	29,5b	357,6bc	1,71b	0,39b	0,13b	1,45b

	Extração de nutrientes pela palhada da cana-de-açúcar (kg ha <sup>-1</sup> )								
	N	P	Ca	Mg	K	Fe	Zn	Cu	Mn
Org.0	195,6ab	23,8ab	32,3a	17,3a	138,5ab	0,82ab	0,15a	0,07a	0,42a
Org.2	113,6cd	13,8c	19,1ab	11,1abc	81,0bc	0,53b	0,10ab	0,03cd	0,15b
Org.2Q	75,5d	9,9c	13,9b	9,3c	56,1c	0,63ab	0,08b	0,03d	0,16b
Org.6	150,0bc	18,0bc	17,2ab	12,6abc	129,6ab	0,67ab	0,12ab	0,05bcd	0,42a
Org.10	221,8a	30,2a	32,7ab	16,2ab	145,2a	0,93a	0,15a	0,06ab	0,53a
Org.10SR	130,4bcd	17,2bc	22,4ab	10,1bc	123,9ab	0,598ab	0,14a	0,05bc	0,50a

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ). Valores representam média de cinco repetições. N- Nitrogênio; P – Fósforo; Ca – Cálcio; Mg – Magnésio; K – Potássio; Fe – Ferro; Zn – Zinco; Cu – Cobre; Mn – Manganês; (Org.0) - área cultivada em sistema convencional, representando o início do sistema de cultivo orgânico; (Org.2) área cultivada há dois anos no sistema orgânico; (Org.2Q) área cultivada há dois anos no sistema orgânico com uma queima accidental; (Org.6) – área cultivada há seis anos no sistema orgânico; (Org.10) – área cultivada há dez anos no sistema orgânico; (Org.10SR) área cultivada no sistema orgânico há dez anos e sem reforma do canavial durante esse período.

Para que o solo mantenha produção sustentável ao longo dos anos, cuidados especiais devem ser adotados com o manejo da adubação para que o nitrogênio exportado seja recolocado e o solo mantenha ou aumente a sua fertilidade. O nitrogênio é um dos nutrientes absorvidos em maior quantidade pela cana-de-açúcar, geralmente perdendo apenas para o potássio (Malavolta et al., 1997). Segundo (Trivelin et al., 1995) para a produção de 100 toneladas de colmos a cana extrai do solo de 200 kg a 300 kg de N.

Os dados da Tabela 4.9 mostram que a extração total de nitrogênio nas plantas variou de 277,7 kg ha<sup>-1</sup> a 1063,9 kg ha<sup>-1</sup>. Esses resultados são superiores aos encontrados por Oliveira et al. (2011a) estudando a capacidade de onze variedades de cana-de-açúcar cultivadas em sistema convencional, em um Argissolo Amarelo distrófico, os quais observaram acúmulo de nitrogênio nas variedades que variaram de 94,3 kg ha<sup>-1</sup> a 260,0 kg ha<sup>-1</sup>.

Considerando apenas a palhada o acúmulo de nitrogênio variou entre 75,5 kg ha<sup>-1</sup> a 221,8 kg ha<sup>-1</sup>, valores superiores aos encontrados por Benett et al. (2012) que encontraram valores médios de 54,6 kg ha<sup>-1</sup> em cana planta, e 61,2 kg ha<sup>-1</sup> em cana soca, em um estudo avaliando o efeito de fontes e doses de manganês no acúmulo de macro e micronutrientes na palhada da cultura da cana-de-açúcar.

Os dados das áreas Org.2 e Org.2Q não diferem significativamente entre si, mostrando que uma queima acidental não foi suficiente para afetar a absorção de nitrogênio pela cana. Segundo Basanta et al. (2003), a constante prática de queima do canavial antes do corte da cana-de-açúcar leva a perdas de 75% do nitrogênio contido na palhada, devido às perdas por volatilização após a queima, necessitando neste caso, de cuidados especiais de manejo para reposição de nitrogênio para que a fertilidade do solo e a sustentabilidade do sistema se mantenham. Segundo Oliveira et al. (2011a), a absorção e o metabolismo do nitrogênio são muito influenciados pela disponibilidade de fósforo. Em plantas com suprimento inadequado de fósforo há redução na absorção do nitrato da solução do solo, a translocação de nitrato das raízes para a parte aérea diminui.

O acúmulo de nitrogênio pela cana-de-açúcar varia de acordo com a idade da planta Oliveira et al. (2007). Neste estudo verificou-se que a cana mais velha, cultivada na área Org.10SR reduziu o seu potencial de acúmulo de nitrogênio na planta. Isto foi averiguado observando os valores obtidos na área Org.10 de 1.063,9 kg ha<sup>-1</sup> e na área Org.10SR caiu para 506,2 kg ha<sup>-1</sup>.

A exigência de nitrogênio de uma variedade pode ser avaliada pelo índice que relaciona a quantidade de nitrogênio acumulado em (kg) por tonelada de colmo produzido, significando que, a eficiência da cultura em transformar o nitrogênio absorvido em produtividade será tanto maior quanto menor for o índice (Vitti et al., 2008).

Segundo Ambrosano et al. (2005), as principais fontes de nitrogênio para as plantas de cana são a mineralização da matéria orgânica do solo, a fixação biológica de nitrogênio atmosférico por microrganismos, a absorção de amônia da atmosfera e a palha residual dos ciclos anteriores.

A maior extração de fósforo ocorreu na área Org.10 onde o total extraído foi de 144,5 kg ha<sup>-1</sup>, desse total 30,2 kg pode retornar ao solo através da decomposição da palhada (Tabela 4.9). A quantidade total de fósforo extraído na área Org.0 foi inferior à área Org.10, mas a quantidade de fósforo acumulado na palhada não diferiu significativamente entre elas, mostrando que, provavelmente, se cuidados não forem tomados, a área Org.10 estará mais sujeita a sofrer deficiência do nutriente.

A quantidade total de fósforo extraída variou de 36,4 kg ha<sup>-1</sup> a 144,5 kg ha<sup>-1</sup>. Os resultados são muito superiores àqueles obtidos por Oliveira et al. (2011a) que avaliaram o potencial de onze variedades de cana-de-açúcar em acumular nutrientes, onde os autores obtiveram uma média de 25,4 kg ha<sup>-1</sup>, na cultura submetida à irrigação. Prado et al. (2002) em estudo com o objetivo de avaliar o efeito da aplicação de doses de escória de siderurgia e calcário, na absorção dos macronutrientes pela cana-de-açúcar, em Latossolo Vermelho-Amarelo, obtiveram valores da extração de fósforo pela parte aérea de 5,0 kg ha<sup>-1</sup>.

Em geral, as quantidades de fósforo aplicadas a qualquer cultura superam em muito a utilização do nutriente. A eficiência de utilização do fósforo é baixa, devido ao ânion H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup> ter forte afinidade pela superfície dos coloides, em destaque, os óxidos de ferro e alumínio. Por essa razão as doses aplicadas na forma sintética são sempre muito mais altas do que a cana exporta (Rossetto et al., 2008b). Com a aplicação do fósforo em fonte orgânica, aumentou a extração do nutriente na área Org.10.

As plantas da área Org.10 foram as que mais acumularam cálcio no colmo, diferindo significativamente do Org.0 e sendo superior aos demais sistemas (Tabela 4.9). Isso se deve provavelmente, ao efeito residual dos adubos orgânicos que tem menor solubilidade e são acumulados no solo ao longo desses dez anos de cultivo orgânico. Benett et al. (2012) em estudo testando FTE BR 12, quelato e sulfato de manganês no

acúmulo de macro e micronutrientes na palhada da cana-de-açúcar, os encontraram maior quantidade de cálcio nas plantas onde se usou a fonte FTE BR 12, que segundo os autores, apresentou maior efeito residual e menor solubilidade.

Neste estudo o acúmulo de cálcio nas plantas variou de 51,0 kg ha<sup>-1</sup> a 155,2 kg ha<sup>-1</sup>. A maior extração total de cálcio foi registrada na área Org.10 (Tabela 4.9), que também apresentou maior conteúdo exportado pelo colmo. Com relação à quantidade acumulada na palhada não foi verificada diferença significativa entre as áreas orgânicas. Os resultados obtidos neste trabalho são inferiores aos encontrados por Oliveira et al. (2011a) os quais observaram acúmulo médio de cálcio nas variedades de 226,5 kg ha<sup>-1</sup>, em áreas sob irrigação. Segundo os autores a absorção do cálcio foi favorecida pela irrigação. Prado et al. (2002), em estudo com o objetivo de avaliar o efeito da aplicação de doses de escória de siderurgia e calcário na absorção dos macronutrientes pela cana-de-açúcar, em Latossolo Vermelho-Amarelo, obtiveram valores de extração de cálcio pela parte aérea da cana-de-açúcar de 43,8 kg ha<sup>-1</sup>.

A maior extração de magnésio ocorreu na área Org.10, totalizando 77,6 kg ha<sup>-1</sup>. Desse total 61,3 kg foram exportados pelos colmos e 16,2 kg foram acumulados na palhada podendo voltar ao solo após a decomposição da matéria orgânica (Tabela 4.9). De maneira geral, o acúmulo total de magnésio nas plantas variou de 277,7 kg ha<sup>-1</sup> a 1063,9 kg ha<sup>-1</sup>. Esses resultados são inferiores aos encontrados por Oliveira et al. (2011a) estudando a capacidade de onze variedades de cana-de-açúcar cultivadas em sistema convencional, em um Argissolo Amarelo distrófico. Os autores observaram acúmulo médio de magnésio nas variedades de 86,91 kg ha<sup>-1</sup>.

Prado et al. (2002) em estudo com o objetivo de avaliar o efeito da aplicação de doses de escória de siderurgia e calcário, na absorção dos macronutrientes pela cana-de-açúcar, em Latossolo Vermelho-Amarelo, obtiveram valores da extração de magnésio pela parte aérea da cana-de-açúcar de 21,9 kg ha<sup>-1</sup>.

A maior extração total de potássio foi observada na área Org.10 (Tabela 4.9) onde foram extraídos 686,9 kg ha<sup>-1</sup> de potássio. Na área Org.10 também foi observada a maior exportação do nutriente pelos colmos da cana. Com relação à quantidade de potássio acumulado na palhada a área Org.10 foi a que mais acumulou. Os valores acumulados nas áreas Org.0, Org.6 e Org.10 não diferem significativamente entre si.

De maneira geral a extração total de potássio nas áreas estudadas variou de 207 kg ha<sup>-1</sup> a 686 kg ha<sup>-1</sup>. Em onze variedades de cana-de-açúcar cultivadas em um Argissolo Amarelo distrófico (Oliveira et al., 2011a) obtiveram extração média de

325 kg ha<sup>-1</sup>. Prado et al. (2002) em estudo com o objetivo de avaliar o efeito da aplicação de doses de escória de siderurgia e calcário na absorção dos macronutrientes pela cana-de-açúcar em Latossolo Vermelho-Amarelo, obtiveram valores da extração de potássio pela parte aérea da cana-de-açúcar de 104,9 kg ha<sup>-1</sup>.

O cultivo orgânico influenciou a extração de ferro pela cana-de-açúcar (Tabela 4.9), cujos maiores valores da extração total foram verificados na área Org.10. As demais áreas não diferiram significativamente entre si e, de modo geral, os valores da extração total variaram de 1,977 kg ha<sup>-1</sup> a 4,463 kg ha<sup>-1</sup>. A quantidade de ferro que foi acumulada na palhada e que pode retornar ao solo variou entre 0,533 kg ha<sup>-1</sup> a 0,932 kg ha<sup>-1</sup>. Esses resultados são inferiores aos verificados por Benett et al. (2012), que avaliando o efeito de fontes e doses de ferro no acúmulo de macro e micronutrientes na palhada da cultura da cana-de-açúcar obtiveram valores entre 1,12 kg ha<sup>-1</sup> e 1,86 kg ha<sup>-1</sup>, em cana planta e cana soca respectivamente.

Houve diferença significativa entre o teor de ferro acumulado nas áreas Org.10 e Org.10SR. As plantas cultivadas na área Org.10SR acumularam 50% menos do que as plantas da área Org.10. Isso se deve provavelmente à maior idade das plantas, visto que são plantas com doze anos. Segundo Benett et al. (2012), a idade da planta influencia na absorção de micronutrientes pela cana-de-açúcar.

Neste estudo o ferro foi o micronutriente mais extraído pela cana-de-açúcar. Corroborando com os dados de (Tasso Júnior et al., 2011). Segundo Orlando Filho (1993), para a produção de 100 toneladas de colmos a extração total de ferro é de 7.318 g, sendo 1.393 g acumulados nos colmos e, 5.525 g acumuladas nas folhas.

Em relação à extração e exportação, o zinco é o terceiro micronutriente, sendo que para se produzir 100 toneladas de colmos a cana-de-açúcar absorve em média 570 g de zinco da solução do solo (Orlando Filho et al., 2001). As extrações de zinco pelos colmos oscilaram de 0,207 kg ha<sup>-1</sup> a 0,580 kg ha<sup>-1</sup>, sendo a maior extração apresentada pelas plantas da área Org.10 que foi significativamente superior às demais áreas estudadas. A menor extração foi apresentada pelas plantas cultivadas na área Org.2Q Org.2 e Org.0. De acordo com Orlando Filho (1993), para a produção de 100 toneladas de colmos a extração total de zinco é de 592 g, sendo 369 g acumulados nos colmos, e 223 g acumulados na palhada.

O acúmulo de zinco na palhada da cana-de-açúcar oscilou entre 0,155 kg ha<sup>-1</sup> a 0,076 kg ha<sup>-1</sup>. As plantas das áreas Org.10 e Org.0 foram as que mais acumularam zinco na

palhada, e as que menos acumularam foram as plantas da área Org.2Q. Provavelmente a queima acidental que ocorreu nessa área reduziu ainda mais a quantidade de zinco no solo disponíveis para as plantas. Esses resultados são mais elevados do que os relatados por Benett et al. (2012), que encontraram valores médios de  $0,70 \text{ kg ha}^{-1}$  em cana planta e  $0,50 \text{ kg ha}^{-1}$  em cana soca, em um estudo avaliando o efeito de fontes e doses de manganês no acúmulo de macro e micronutrientes na palhada da cultura da cana-de-açúcar.

Em relação ao cobre houve diferenças de acúmulo entre as áreas, com destaque para a área Org.10 que extraiu a quantidade total de  $0,276 \text{ kg ha}^{-1}$ . Desse total  $0,218 \text{ kg}$  foi exportado pelos colmos e  $0,057 \text{ kg}$  foi acumulado na palhada e pode retornar ao solo depois da decomposição da matéria orgânica. Segundo Orlando Filho (1993), para a produção de 100 toneladas de colmos a extração total de cobre é de 339 g, sendo 234 g acumulados nos colmos e, 105 g acumulados nas folhas. Neste estudo o cobre foi o micronutriente menos exportado pela cana-de-açúcar, corroborando com os dados de Tasso Júnior et al. (2011).

As plantas da área Org.10 foram as que mais extraíram manganês do solo (Tabela 4.9). Nesta área a extração total foi de 2,542 kg de manganês por hectare. Desse total 1,924 kg foram exportados pelos colmos e 0,528 kg foram acumulados na palhada e pode retornar ao solo através do processo de decomposição da matéria orgânica. De maneira geral o acúmulo de manganês na palhada da cana-de-açúcar variou entre  $0,153 \text{ kg ha}^{-1}$  a  $0,528 \text{ kg ha}^{-1}$ . Estes valores foram inferiores aos relatados por Benett et al. (2012) que encontraram valores médios de  $1,57 \text{ kg ha}^{-1}$  em palhada de cana planta e  $1,63 \text{ kg ha}^{-1}$  em palhada de cana soca, respectivamente.

Segundo Orlando Filho (1993), para a produção de 100 toneladas de colmos a extração total de manganês é de 2.470 g, sendo 1.052 g acumulados nos colmos e, 1.420 g acumulados nas folhas. Reduções na produtividade e até morte de plantas são consequências naturais advindas de desarranjos nos processos metabólicos, ocasionados pela carência de micronutrientes (Orlando Filho, 1993).

A extração de nutrientes pela cultura, ou seja, o teor percentual do elemento dado pela análise química do tecido vegetal, multiplicado pela quantidade de cana (matéria seca) produzida em um hectare, fornece grande indicação da quantidade do elemento que seria necessário adicionar pela adubação para restituir os elementos extraídos e exportados do solo. Salienta-se que adubações que apenas restituem os teores extraídos não

contribuem para a melhoria da fertilidade do solo (Rossetto et al., 2008a). A cana-de-açúcar é grande extratora de nutrientes do solo e a falta desses pode ocasionar baixa produtividade do canavial.

A cana-de-açúcar, por produzir grande quantidade de massa, extrai do solo e acumula na planta grande quantidade de nutrientes. Para uma produção de 120 toneladas de matéria fresca por hectare, cerca de 100 toneladas de colmos industrializáveis, o acúmulo de nutrientes na parte aérea da planta é da ordem de 150 kg de nitrogênio, 40 kg de fósforo, 180 kg de potássio, 90 kg de cálcio, 50 kg magnésio, 40 kg de enxofre, 8 kg de ferro, 3,0 kg de manganês, 0,6 kg de zinco, 0,4 kg de cobre e 0,3 kg de boro por hectare (Oliveira et al., 2007). Desta forma, as exigências minerais da cana-de-açúcar, assim como as quantidades de nutrientes removidas pela cultura são conhecimentos fundamentais para o estudo da adubação, indicando as quantidades de nutrientes a serem fornecidos (Coleti et al., 2006).

Estudos que avaliam o total de nutrientes removidos por hectare na colheita das culturas tem sido uma estratégia para determinar a quantidade necessária de fertilizantes a serem fornecidos nos ciclos subsequentes (Sediyama et al., 2009). Deve-se conhecer, portanto, a capacidade de fornecimento de nutrientes pelo solo, para, se necessário, complementá-las com adubações. Contudo, são limitadas as informações de pesquisa que avaliam as exigências nutricionais da cana-de-açúcar cultivada em sistema orgânico. Nesse estudo foi avaliada a quantidade de nutrientes extraídos pelos colmos e aqueles que retornam ao solo através da decomposição da palhada.

#### 4.4 CONCLUSÕES

Os adubos e corretivos empregados no sistema de cultivo orgânico da cana-de-açúcar são capazes de corrigir adequadamente a fertilidade do solo. Com dois anos de cultivo orgânico a fertilidade do solo é semelhante à fertilidade registrada no sistema de cultivo convencional. Com seis e dez anos de cultivo orgânico houve melhoria da fertilidade do solo em relação à convencional.

A produtividade da cana-de-açúcar nas áreas com dois anos de cultivo orgânico foram semelhantes àquelas obtidas no sistema de cultivo convencional. Entretanto, após seis anos de cultivo orgânico a produtividade do canavial foi duas vezes maior do que no sistema de cultivo convencional e, após dez anos de cultivo orgânico a produtividade

praticamente triplicou.

As plantas de cana-de-açúcar cultivada no sistema de cultivo orgânico conseguiram absorver adequadamente os nutrientes do solo. Na área cultivada há dez anos no sistema orgânico a extração de nutrientes foi superior às demais, indicando que essa área necessita de atenção especial para que haja a reposição adequada dos nutrientes e evite o empobrecimento dos solos.

#### 4.5 REFERÊNCIAS

ADORNA, J. C.; CRUSCIOL, C. A. C.; BAGIOTTO, O. Fertilization with filter cake and micronutrients in plant cane. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, n. 1, p. 649-657, 2013.

ALEXANDER, A. G. **Sugarcane physiology**. Amsterdam: Elsevier, 1973. 752 p.

AMBROSANO, E. J.; CANTARELLA, H.; AMBROSANO, G. M. B.; SCHAMMAS, E. A.; DIAS, F. L. F.; ROSSI, F.; TRIVELIN, P. C. O.; MURAOKA, T.; SACHS, R. C. C.; AZCÓN, R. Produtividade da cana-de-açúcar após o cultivo de leguminosas. **Bragantia**, Piracicaba, v. 70, n. 4, p. 1-9, 2011.

AMBROSANO, E. J.; FOLTRAN, D. E.; CAMARGO, M. S.; ROSSI, F.; SCHAMMAS, E. A.; SILVA, E. C.; AMBROSANO, G. M. B.; DIAS, F. L. F. Acúmulo de biomassa e nutrientes por adubos verdes e produtividade da canaplanta cultivada em sucessão, em duas localidades de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agroecologia**, Cruz Alta, v. 8, n. 1, p. 199-209, 2013.

AMBROSANO, E. J.; TRIVELIN, P. C. O.; CANTARELLA, H.; AMBROSANO, G. M. B.; SCHAMMAS, E. A.; GUIRADO, N.; ROSSI, F.; MENDES, P. C. D.; MURAOKA, T. Utilization of nitrogen from green manure and mineral fertilizer by sugarcane. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 62, n. 6, p. 534-542, 2005.

BARBOSA, E. A. A.; ARRUDA, F. B.; PIRES, R. C. M.; SILVA, T. J. A.; SAKAI, E. Cana-de-açúcar fertirrigada com vinhaça via irrigação por gotejamento subsuperficial em três ciclos de cana-soca. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 6, p. 588-594, 2013.

BASANTA, M. V.; DOURADO-NETO, D.; REICHARDT, K.; BACCHI, O. O. S.; OLIVEIRA, J. C. M.; TRIVELIN, P. C. O.; TIMM, L. C.; TOMINAGA, T. T.; CORRECHEL, V.; CÁSSARO, F. A. M.; PIRES, L. F.; MACEDO, J. R. Management effects on nitrogen recovery in a sugarcane crop grown in Brazil. **Geoderma**, Amsterdam, v. 116, n. 1-2, p. 235-248, 2003.

BASTO, J. C. H. A. G.; CAZETTA, J. O.; PRADO, R. M. Materiais corretivos e nitrogênio na nutrição e na produção de matéria e cana-de-açúcar cultivada em vaso. **Interciência**, Caracas, v. 35, n. 1, p. 55-58, 2010.

BENETT, C. G. S.; BUZETTI, S.; SILVA, K. S.; TEIXEIRA-FILHO, M. C. M.; GARCIA, C. M. P.; ANDREOTTI, M. Fontes e doses de manganês no acúmulo de nutrientes na palhada em cana-de-açúcar. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, n. 1, p. 8-16, 2012.

CARVALHO, J. M.; ANDREOTTI, M.; BUZETTI, S.; CARVALHO, M. D. P. E. Produtividade de cana soca sem queima em função do uso de gesso e vinhaça. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 43, n. 1, p. 1-9, 2013.

COLETI, J. T.; CASAGRANDE, J. C.; STUPIELLO, J. J.; RIBEIRO, L. O.; OLIVEIRA, G. R. Remoção de macronutrientes pela cultura da cana-planta e cana-soca em Argissolos, variedades RB 83-5496 e SP 81-3250. **STAB - Açúcar, Alcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 24, n. 5, p. 32-36, 2006.

COMPANIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento de safra brasileira: cana-de-açúcar**. Primeiro levantamento - Abr. 2013, p. 19, 2013.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed.: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627 p.

EVANGELISTA, C. R.; PARTELLI, F. L.; FERREIRA, E. P. B.; CORRECHEL, V. Atividade enzimática do solo sob sistema de produção orgânica e convencional na cultura da cana-de-açúcar em Goiás. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, n. 4, p. 1251-1262, 2012.

GONÇALVES, H. M. **Sistema integrado de diagnose e recomendação (DRIS) na cultura da cana-de-açúcar orgânica em lavouras comerciais em goianésia, Goiás**. 2012. 120 f. Tese (Doutorado em Agronomia)–Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2012.

KORNDÖRFER, G. H.; MELO, S. P. Fontes de fósforo (fluida ou sólida) na produtividade agrícola e industrial da cana-de-açúcar. **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v. 33, n. 1, p. 92-97, 2009.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. Piracicaba: Ceres, 1980. 252 p.

MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola, adubos e adubação**. 3. ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1981. 596 p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319 p.

MELLIS, E. V.; QUAGGIO, J. A.; CANTARELLA, H. Micronutrientes. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. (Ed.). **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agronômico, 2008. 882 p.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: UFV, 1999. 399 p.

OLIVEIRA, E. C. A.; FREIRE, F. J.; OLIVEIRA, R. I.; OLIVEIRA, A. C.; FREIRE, M. B. G. S. Acúmulo e alocação de nutrientes em cana-de-açúcar. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 42, n. 3, p. 579-588, 2011a.

OLIVEIRA, E. C. A.; OLIVEIRA, R. I.; ANDRADE, B. M. T.; FREIRE, F. J.; LIRA-JÚNIOR, M. A.; MACHADO, P. R. Crescimento e acúmulo de matéria seca em variedades de cana-de-açúcar cultivadas sob irrigação plena. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 9, p. 951-960, 2010.

OLIVEIRA, F. M.; ASPIAZÚ, I.; KONDO, M. K.; BORGES, I. D.; PEGORARO, R. F.; VIANNA, E. J. Crescimento e produção de variedades de cana-de-açúcar influenciadas por diferentes adubações e estresse hídrico. **Revista Trópica – Ciências Agrárias e Biológicas**, Chapadinha, v. 5, n. 1, p. 56-67, 2011b.

OLIVEIRA, M. W.; FREIRE, F. M.; MACÊDO, G. A. R.; FERREIRA, J. J. Nutrição mineral e adubação da cana-de-açúcar. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 28, n. 239, p. 30-43, 2007.

ORLANDO FILHO, J. Calagem e adubação da cana-de-açúcar. In: CÂMARA, G. M. S.; OLIVEIRA, E. A. M. (Ed.). **Produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: FEALQ-USP, 1993. p. 133-146.

ORLANDO FILHO, J.; ROSSETO, R.; CASAGRANDE, A. A. Cana-de-açúcar. In: FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P.; RAIJ, B. V.; ABREU, C. A. (Ed.). **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura**. Jaboticabal: POTAFOS, 2001. p. 335-369.

PAULINO, A. F.; MEDINA, C. C.; AZEVEDO, M. C. B.; SILVEIRA, K. R. P. S.; TREVISAN, A. A.; MURATA, I. M. Escarificação de um Latossolo Vermelho na pós-colheita de soqueira de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 5, p. 911-917, 2004.

PENATTI, C. P.; BONI, P. S. Efeito da torta de filtro na cana planta e cana soca. **Centro de tecnologia copersucar. Relatório Técnico**, Piracicaba, 1989, 7 p.

PRADO, R. M.; FERNANDES, F. M.; NATALE, W. Calcário e escória de siderurgia avaliados por análise foliar, acúmulo e exportação de macronutrientes em cana-de-açúcar. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 59, n. 1, p. 129-135, 2002.

RAIJ, B. V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. 2ª revisada e atualizada ed.: FUNDAÇÃO IAC, 1996. 285 p.

REIS JUNIOR, R. A.; MONNERAT, P. H. Validação de normas DRIS para a cultura da cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 3, p. 379-385, 2003.

RODRIGUES, J. D. **Fisiologia da cana-de-açúcar**. 1995. 101 f. (Apostila)–Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1995.

- ROEL, A. R. A agricultura orgânica ou ecológica e a sustentabilidade da agricultura. **Revista Internacional de Desenvolvimento Local**, Campo Grande, v. 3, n. 4, p. 57-62, 2002.
- ROSSETTO, R.; DIAS, F. L. F.; VITTI, A. C. Fertilidade do solo, nutrição e adubação. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M. D.; LANDELL, M. G. A. (Ed.). **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2008a. 882 p.
- ROSSETTO, R.; DIAS, F. L. F.; VITTI, A. C.; PRADO-JÚNIOR, J. P. Q. Fósforo. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M. D.; LANDELL, M. G. A. (Ed.). **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2008b. 882 p.
- SANTOS, D. H.; TIRITAN, C. S.; FOLONI, J. S. S.; FABRIS, L. B. Produtividade de cana-de-açúcar sob adubação com torta de filtro enriquecida com fosfato solúvel. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 40, n. 4, p. 454-461, 2010.
- SEDIYAMA, M. A. N.; SANTOS, M. R.; SALGADO, L. T.; PUIATTI, M.; VIDIGAL, S. M. Produtividade e exportação de nutrientes por rizomas de taro cultivado com resíduos orgânicos. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 4, n. 4, p. 421-425, 2009.
- SILVA, M. A.; JERONIMO, E. M.; LÚCIO, A. D. C. Perfilamento e produtividade de cana-de-açúcar com diferentes alturas de corte e épocas de colheita. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 8, p. 979-986, 2008.
- SOUZA, Z. M. D.; PRADO, R. D. M.; PAIXÃO, A. C. S.; CESARIN, L. G. Sistemas de colheita e manejo da palhada de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 3, p. 271-278, 2005.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Tradução: SANTARÉM, E. R.; AL., E. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.
- TASSO JÚNIOR, L. C.; SILVA NETO, H. F.; SILVA, J. D. R.; MARQUES, M. O.; CAMILOTTI, F. Acúmulo de micronutrientes em colmos e palhada de cinco cultivares de cana-de-açúcar de ciclo precoce. **Nucleus**, Ituverava, v. 8, n. 1, p. 375-384, 2011.
- TAVARES, O. C. H.; LIMA, E.; ZONTA, E. Crescimento e produtividade da cana planta cultivada em diferentes sistemas de preparo do solo e de colheita. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 32, n. 1, p. 61-68, 2010.
- TRIVELIN, P. C. O.; VICTÓRIA, R. L.; RODRIGUES, J. C. S. Aproveitamento por soqueira de cana-de-açúcar de final de safra do nitrogênio da aquanômia <sup>15</sup>N e uréia <sup>15</sup>N aplicado ao solo em complemento à vinhaça. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 30, n. 12, p. 1375-1385, 1995.
- UCHÔA, S. C. P.; JÚNIOR, H. O. A.; ALVES, J. M. A.; MELO, V. F.; FERREIRA, G. B. Resposta de seis variedades de cana-de-açúcar a doses de potássio em ecossistema de cerrado de Roraima. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 40, n. 4, p. 505-5013, 2009.
- VITTI, A. C.; CANATARELLA, H.; TRIVELIN, P. C. O.; ROSSETTO, R. Nitrogênio. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A.

(Ed.). **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agronômico, 2008. 882 p.

VOLKWEISS, S. J.; TEDESCO, M. J.; BOHNEN, H. **Levantamento dos teores de nutrientes das plantas em solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: UFRGS, 1983. 60 p.

## 5 ESTOQUE DE CARBONO E NITROGÊNIO NO SOLO EM ÁREAS DE CERRADO CULTIVADO COM CANA-DE-AÇÚCAR EM SISTEMA ORGÂNICO E CONVENCIONAL

### RESUMO

É grande a expansão da cultura da cana-de-açúcar no Brasil, principalmente na região Centro-Oeste onde se localiza a maior parte do bioma Cerrado. A expansão da cultura para novas áreas tem demandado estudos a respeito dos impactos sobre os estoques de carbono e nitrogênio no solo. O sistema de cultivo orgânico da cana-de-açúcar é uma alternativa altamente rentável para a produção dessa cultura, adaptado para um nicho do mercado. Além da produção de alimento livre de agrotóxicos, há também o envolvimento do aspecto social deste sistema de produção. É necessário, entretanto, uma melhor avaliação deste sistema do ponto de vista ambiental. Sistemas de produção agrícolas sustentáveis devem ser caracterizados, entre outros aspectos, por balanço de carbono positivo e por eficiência energética melhor que sistemas convencionais. Para um balanço positivo de carbono o sistema de produção deve promover a acumulação de carbono e nitrogênio no solo, e assim, sua introdução contribui para o aumento dos estoques de carbono e nitrogênio no solo. Assim, neste trabalho, objetivou-se avaliar as mudanças nos estoques de carbono e nitrogênio, em solo cultivado com cana em cultivo orgânico em área que anteriormente era cultivada no sistema convencional. O estudo foi realizado em áreas de Latossolo Vermelho, textura argilosa, em Goianésia, GO. Foram consideradas duas áreas com cana em cultivo orgânico, uma com 10 anos (Org.10) e outra com 2 anos de cultivo (Org.2), e também uma área de cana cultivada em sistema convencional, representando o início do cultivo orgânico (Org.0) e mais duas áreas cultivadas em sistema orgânico, uma com dois anos de cultivo onde aconteceu um incêndio acidental no ano da amostragem (Org.2Q) e outra com dez anos, sendo que a cultura está com doze anos, pois desde que foi plantada não houve reforma (Org.10SR). Os estoques de carbono foram estimados para as camadas 0-5, 5-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm. Houve diferença significativa para os estoques de carbono e nitrogênio para todas as camadas estudadas. Para o intervalo de 0-30 cm de profundidade os estoques de carbono foram de 39,34 Mg ha<sup>-1</sup>, 51,95 Mg ha<sup>-1</sup>, e 70,559 Mg ha<sup>-1</sup> para as áreas Org.0, Org.2 e Org.10, respectivamente. Para esta mesma camada os estoques de nitrogênio foram 5,048 Mg ha<sup>-1</sup>, 3,486 Mg ha<sup>-1</sup> e 5,070 Mg ha<sup>-1</sup>, para as mesmas áreas respectivamente.

*Palavras-chave:* densidade do solo, agricultura orgânica, agroecologia, matéria orgânica.

## ABSTRACT

## CARBON AND NITROGEN STOCKS IN SOIL OF CERRADO AREAS CULTIVATED WITH SUGARCANE IN ORGANIC AND CONVENTIONAL SYSTEMS

Sugarcane is progressively expanding in the Brazilian Midwest which is dominated mainly by savannah vegetation. The organic cultivation system is a highly profitable alternative for its production, adapted to a market niche. Besides the production of food free of pesticides, there is also the involvement of the social aspect of this production system. It is necessary, however, to have a better assessment of effect of organic cultivation from an environmental point of view. Sustainable agricultural production systems should be characterized, among other things, by a positive carbon balance and better energy efficiency than conventional systems. For a positive carbon balance, a production system should promote the accumulation of carbon and nitrogen in the soil, and thus, with its introduction, contribute to its the increase in soil carbon and nitrogen stocks. Thus, this study aimed to evaluate the changes in carbon and nitrogen stocks in soil cultivated with sugarcane under organic cultivation in an area that was previously cultivated in the conventional system. The study was conducted in production areas, on clayey Oxisol, in Goianésia, Goiás State, Brazil. We considered two areas under sugarcane production in organic cultivation. One with 10 years (Org.10) and another with 2 years of cultivation (Org.2), and also an area of sugarcane grown in the conventional system, representing the beginning of organic farming (Org.0). Additionally, an area cultivated in organic system for two years but affected by accidental fire in the last year (Org.2Q) and another of ten years of organic cultivation but without periodical replanting of the cane (Org.10SR). Carbon stocks were estimated for the 0-5, 5-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-60, 60-80 and 80-100 cm layers. Significant difference was observed for the carbon and nitrogen stocks in all the studied layers. For the 0-30 cm soil layer the carbon stocks were 39.34 Mg ha<sup>-1</sup>, 51.95 Mg ha<sup>-1</sup>, and 70.559 Mg ha<sup>-1</sup> for Org.0, Org.2 and Org.10 respectively. For this same layer the nitrogen stocks were 5.048 Mg ha<sup>-1</sup>, 3.486 Mg ha<sup>-1</sup> and 5.070 Mg ha<sup>-1</sup>, respectively for the same areas.

*Key words:* bulk density, organic agriculture, agroecology, organic matter.

## 5.1 INTRODUÇÃO

Embora a quantidade de carbono na biosfera terrestre seja muito pequena quando comparado ao que é encontrado na litosfera, nos oceanos e nos fósseis, esse reservatório é de grande importância, por conter a maior parte do carbono circundante no planeta, pois antes de atingir os sedimentos oceânicos, o carbono circula pelos componentes da biosfera. Cerca de 30% do carbono dos solos mundiais encontram-se nos solos dos trópicos, onde existe grande pressão sobre as terras cultivadas e florestas nativas. O cultivo intensivo do solo causa drástica redução nos teores de carbono no solo, e conseqüentemente queda da produtividade e degradação do solo. Como o solo desempenha função muito importante no ciclo do carbono, pois assume função crucial como mediador de processos globais que regulam a circulação dos elementos na biosfera, as possibilidades de manejá-lo adequadamente para torná-lo dreno de carbono da atmosfera e não fonte são atualmente muito enfatizadas (Moreira & Siqueira, 2006).

Estudos têm mostrado que a prática da agricultura tem causado grandes perdas de carbono no solo (Carneiro et al., 2008). Essas perdas geralmente ocorrem na forma de volatilização, gerando gases com grande potencial de aquecimento global, como o CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O e, também na forma de lixiviação e devido aos processos erosivos (Paula & Valle, 2007), resultando em contaminação do lençol freático e eutrofização dos mananciais. Todas essas perdas além de contaminar o meio ambiente, resultam em grandes prejuízos econômicos, pois, compromete a fertilidade e a capacidade produtiva dos solos. Entretanto, dependendo do manejo adotado no cultivo, o solo pode acumular matéria orgânica e, contribuir para a redução das emissões de CO<sub>2</sub> para a atmosfera (Barreto et al., 2009). Sistemas de produção conservacionistas, tais como o sistema de plantio direto, sistema de cultivo mínimo foram mais eficazes do que o sistema de cultivo convencional, em armazenar carbono no solo evitando o seu retorno à atmosfera, (Perez et al., 2004; Duarte-Júnior & Coelho, 2008).

Na literatura encontra-se grande número de trabalhos envolvendo o estudo de acúmulo de carbono em solos sob vegetação natural, reflorestada, pastagens, e em solos cultivados em diferentes sistemas, tais como no sistema de plantio direto (Freitas et al., 2000; Bayer et al., 2004; Figueiredo et al., 2008; Figueiredo, 2008) no sistema de cultivo mínimo (Lovato et al., 2004).

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar. O cultivo da cana no

país continua em expansão, principalmente na região Centro-Oeste, onde predomina o bioma Cerrado. Segundo o levantamento feito pela Companhia Nacional de Abastecimento (Conab, 2013) para a safra 2013/2014 a estimativa de produção foi de 653 milhões de toneladas em uma área 8.893.000 hectares. O levantamento mostra também que a cultura da cana-de-açúcar ainda continua em expansão e o crescimento foi de 4,8% em relação à safra anterior. A expansão da cultura da cana-de-açúcar na região do Cerrado trouxe preocupações com o meio ambiente o que levou a busca por um sistema de produção que seja mais sustentável.

Para a cana-de-açúcar há estudos que focam na emissão de GEE e balanço de C do cultivo tradicional (com queima e coleta verde mecânica), comprovando que a coleta com queima resulta significativamente em mais perda de C (Canellas et al., 2007; Panosso et al., 2011). Contudo, esses dados são raros para o sistema de cultivo orgânico.

O sistema de cultivo orgânico aparece como uma alternativa com forte potencial em acumular carbono e nitrogênio no solo e, portanto, contribuir para a mitigação de emissão de gases de efeito estufa pelos sistemas agrícolas. Além disso, esse sistema de produção de cana-de-açúcar ganha cada vez maior importância econômica, especialmente na produção e exportação de açúcar orgânico. Além dos benefícios da produção orgânica na saúde humana é também relevante avaliar seus efeitos para o meio ambiente, nesse caso com enfoque no balanço de carbono do sistema, complementando com estudos que auxiliam no entendimento dos processos de acumulação de C.

O objetivo geral deste trabalho foi avaliar o efeito do sistema de cultivo orgânico da cana-de-açúcar, em relação ao sistema convencional, sobre a densidade do solo e os teores e estoques de carbono e nitrogênio no solo.

As hipóteses desse estudo são: no sistema de cultivo orgânico da cana-de-açúcar o estoque de carbono e nitrogênio no solo é maior do que no sistema de cultivo convencional; a densidade de solo é menor no sistema de cultivo orgânico.

## 5.2 MATERIAL E MÉTODOS

### 5.2.1 Localização das áreas de estudo

O estudo foi conduzido em canaviais pertencentes à empresa Jalles Machado S.A., localizada no município de Goianésia, a 15°10'S de latitude e 49°15'W

de longitude e 640 m de altitude. O clima é classificado, segundo Köppen, como tropical de savana, quente e úmido, com inverno seco e verão chuvoso (Aw), e média pluvial anual de 1.500 mm. Os solos predominantes na região são do tipo Latossolo com relevo suave ondulado.

O solo das áreas estudadas foi caracterizado como Latossolo Vermelho distrófico (Embrapa, 2006). Cada unidade experimental (parcela) foi constituída por um quadrado de 100 m x 100 m. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com cinco repetições e seis tratamentos. Foram avaliadas quatro áreas para representar uma cronossequência de cultivo orgânico: Org.0 – área cultivada em sistema convencional, representando o início do sistema de cultivo orgânico; Org.2 – área cultivada há dois anos no sistema orgânico; Org.10 – área cultivada há dez anos no sistema orgânico. Avaliaram-se também duas situações diferentes que podem ocorrer em qualquer sistema de produção: uma área onde ocorreu um incêndio acidental, Org.2Q – área cultivada há dois anos no sistema orgânico com um incêndio acidental no ano da amostragem e outra área onde o canavial foi plantado há doze anos, e desde 1998 não foi reformada, sendo cultivada há dez anos no sistema orgânico – Org.10SR.

### **5.2.2 Descrição e histórico das áreas de estudo**

As áreas estudadas estavam sob as mesmas condições topográficas e edafoclimáticas. Foram semelhantes entre si com relação ao relevo ( $< 10^\circ$ ), clima e vegetação original, diferindo apenas em relação ao tipo de manejo e duração do cultivo orgânico. De modo que, todas as áreas avaliadas estão sob as mesmas condições topográficas e edafoclimáticas, diferindo apenas no uso do solo. Os dados da textura do solo da densidade de partículas (Dp) estão descritos no Anexo A.

Org.0 – área cultivada com cana-de-açúcar em sistema convencional há dez anos, com colheita mecanizada (sem queima). A área é cultivada com cana-de-açúcar desde 2001. O canavial que existe na área atualmente foi plantado em 15/04/2008 e em 2010 foi realizado o segundo corte da cana. O teor médio de argila da camada 0-20 cm é de  $451 \text{ g kg}^{-1}$ . Esta área foi utilizada como referência.

Org.2 – área cultivada há dois anos com cana-de-açúcar em sistema orgânico, esta área foi matriculada como orgânica em julho de 2008. O canavial foi plantado em 15/05/2006 e em 04/08/2010 foi realizado o terceiro corte da cana. O teor médio de argila

da camada 0-20 cm é de 538 g kg<sup>-1</sup>.

Org.2Q – área cultivada há dois anos com cana-de-açúcar em sistema orgânico, esta área foi matriculada como orgânica em julho de 2008. O canavial foi plantado em 15/05/2006 e em 04/08/2010 foi realizado o terceiro corte da cana. O teor médio de argila da camada 0-20 cm é de 490 g kg<sup>-1</sup>. Esta área sofreu um incêndio acidental cinco meses antes da amostragem do solo.

Org.10 – área cultivada com cana-de-açúcar em sistema orgânico há dez anos. Esta área foi matriculada como orgânica em outubro de 2000. O canavial foi plantado em 15/06/2009 e em 10/07/2010 foi realizado o primeiro corte da cana. O teor médio de argila da camada 0-20 cm é de 505 g kg<sup>-1</sup>.

Org.10SR – área cultivada com cana-de-açúcar em sistema orgânico há dez anos. Foi matriculada como orgânica em março de 2000. A última reforma e plantio do canavial ocorreram em 15/04/1998. Anualmente foi realizado um corte do canavial, de modo que em 12/07/2010 foi realizado o décimo segundo corte da cana. O teor médio de argila da camada 0-20 cm é de 521 g kg<sup>-1</sup>.

As áreas cultivadas em sistema orgânico foram implantadas em áreas que antes eram cultivadas com cana-de-açúcar em sistema de cultivo convencional. Antes do plantio da cana as áreas eram cultivadas com pastagens, em sistema extensivo por mais de 20 anos. A descrição da mudança de uso do solo das áreas de estudo está descritas no Anexo D.

Os procedimentos adotados para o preparo do solo, na época de reforma e plantio do canavial foram os seguintes, bem como a adubação das soqueiras estão descritos no Anexo E.

O controle de plantas daninhas no sistema de cultivo convencional foi feita com herbicida (Diuron + Hexazinona na dose de 2,0 kg ha<sup>-1</sup>. No sistema de cultivo orgânico, não é permitido o uso de herbicidas e, o controle das plantas daninhas foi feita por meio da capina manual.

Tanto no sistema de cultivo orgânico como no sistema convencional, a colheita da cana foi mecanizada. No sistema de colheita crua mecanizada, as folhas, bainhas, ponteiro, além de quantidade variável de colmo são cortados, triturados e lançados sobre o solo, formando uma cobertura de resíduo vegetal denominada palhada.

Foram coletadas também amostras de solo em uma área de cerrado nativo (CN), próximo às áreas de estudo para fazer a correção da massa aparente de solo, quando

foi determinado o estoque de carbono e nitrogênio. Os teores de carbono e nitrogênio e a densidade do solo da área de Cerrado Nativo estão descritos no Anexo G.

### **5.2.3 Amostragem do solo**

A amostragem de solo foi realizada considerando um delineamento inteiramente casualizado, com cinco repetições e cinco tratamentos. Cada unidade experimental (parcela) foi constituída por um quadrado de 100 m x 100 m. Cada hectare equivale a uma repetição. A coleta das amostras de solo foi feita em dezembro de 2010.

Para determinação da densidade aparente do solo foi aberta uma trincheira de 150 x 150 x 100 cm em cada parcela, totalizando cinco trincheiras por área. Em cada trincheira, foram retiradas três amostras em cada intervalo de profundidade (no meio do intervalo), utilizando três das paredes da trincheira, nas quais foram coletadas amostras indeformadas nas camadas 0-5, 5-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm de profundidade, de modo que uma amostra foi coletada na entrelinha de cultivo e duas na linha, resultando em três amostras para cada camada de solo. Em cada área (tratamento) foram coletadas 120 amostras indeformadas. As amostras foram coletadas com anéis de aço inox, de parede fina, de 3 cm de diâmetro e 3 cm de comprimento.

Para a determinação dos teores totais de carbono e nitrogênio do solo, em cada parcela, foram coletadas 32 amostras simples, para formar uma amostra composta, nas camadas 0-5, 5-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm de profundidade. As amostras de solo foram coletadas utilizando-se um trado calador. Nas camadas 40-60, 60-80 e 80-100 cm foram coletadas cinco amostras simples/composta dentro de cada trincheira. Durante as coletas cuidados especiais foram tomados para evitar a contaminação das amostras das camadas mais inferiores com solo das camadas mais superficiais.

### **5.2.4 Avaliação dos teores de carbono e nitrogênio**

No laboratório as amostras de solo foram secas ao ar, homogeneizadas, moídas e peneiradas a 2 mm para a obtenção da Terra Fina Seca ao Ar (TFSA). Uma porção das amostras de TFSA foi moída no moinho de bolas durante 12 horas e passadas na peneira de 100 mesh. As porções das amostras que não passaram na peneira de 100 mesh foram tamisadas em gral de porcelana até que toda amostra passasse na peneira, para evitar

fracionamento do solo, nesta etapa da avaliação.

O carbono orgânico total e o nitrogênio total foram determinados pelo método de combustão a seco. Pesou-se aproximadamente 8 mg de cada amostra, utilizando uma microbalança, com precisão de quatro casas decimais. Em seguida as amostras foram acondicionadas em cápsulas de estanho e analisadas em um auto-analisador de C e N a 925°C (Perkin Elmer CHNS/O 2400 Série II) do Laboratório de Análise Agroambiental da Embrapa Arroz e Feijão, em Santo Antônio de Goiás, GO.

### 5.2.5 Cálculo da densidade do solo

A densidade aparente do solo foi calculada pelo método do cilindro volumétrico, descrito por Embrapa (1997), conforme a equação:

$$Densidade (g\ cm^{-3}) = \frac{massa\ de\ solo\ (g)}{volume\ do\ cilindro\ (cm^{-3})}$$

### 5.2.6 Cálculo dos estoques de carbono e nitrogênio no solo

Os estoques de carbono e nitrogênio foram calculados usando os dados da densidade do solo apresentados na Tabela 5.2, para calcular a massa de solo equivalente para uma mesma profundidade e os valores médios (três repetições) da densidade do solo de uma área de Cerrado nativo que foi usada como referência.

Os estoques de carbono e nitrogênio foram determinados a partir dos teores de carbono e nitrogênio totais e da densidade aparente do perfil do solo. Como as camadas de solo que foram comparadas deveriam possuir a mesma massa de solo do tratamento empregado como referência. A massa de solo sob Cerrado nativo foi utilizada como tratamento referência para os cálculos dos estoques de carbono e nitrogênio.

Para o cálculo dos estoques de carbono e nitrogênio foi utilizado o método da massa equivalente (Sisti et al., 2004), conforme equação descrita abaixo:

$$Cs = \sum_{i=1}^{n-1} CTi + \left[ MTn - \left( \sum_{i=1}^n MTi - \sum_{i=1}^n MSi \right) \right] CTn$$

Em que:

$Cs$  – é o estoque total  $Mg\ ha^{-1}$ ;

$\sum_{i=1}^{n-1} CTi$  – é a soma do carbono/nitrogênio da primeira (superfície) até a

última camada do perfil do solo no tratamento avaliado ( $\text{Mg ha}^{-1}$ );

$\sum_{i=1}^n MTi$  – é a soma da massa do solo da primeira até a última camada no perfil do solo no tratamento avaliado ( $\text{Mg ha}^{-1}$ );

$\sum_{i=1}^n MSi$  – é a soma da massa do solo da primeira até a última camada no perfil do solo no tratamento referência ( $\text{Mg ha}^{-1}$ );

$MTn$  – é a massa do solo na última camada do perfil do solo no tratamento avaliado ( $\text{Mg ha}^{-1}$ );

$CTn$  – é a concentração do carbono/nitrogênio na última camada do perfil do tratamento avaliado ( $\text{Mg de carbono/nitrogênio por Mg}^{-1}$  de solo).

### 5.2.7 Análise estatística

O carbono, nitrogênio e a densidade do solo nas áreas de estudos e nas diferentes profundidades do solo foram estudadas por meio do esquema fatorial  $5 \times 8$ , correspondente a cinco diferentes tempos de cultivo (Org.0, Org.2, Org.2Q, Org.6, Org.10 e Org.10SR) e oito profundidades (0-5, 5-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm), e analisadas por meio de um delineamento inteiramente casualizado. Os resultados foram submetidos à análise de variância (Anova) e, quando o tempo de cultivo ou a profundidade, bem como a interação entre eles, foram significativos pelo teste F, a comparação das médias foi feita pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, usando-se o software R, versão 2.15.2.

## 5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.3.1 Densidade do solo

Os valores da densidade do solo ( $D_s$ ), teor de carbono e nitrogênio (Teor C e N), estoque de carbono e nitrogênio (Est. C e N) foram submetidos à análise de variância, onde foram constatados como significantes os efeitos simples (tratamentos e profundidade) e os efeitos da interação (tratamentos x profundidades). O valor de F, bem como o nível de significância podem ser observados na Tabela 5.1.

**Tabela 5.1.** Resumo da análise de variância para os valores da densidade do solo (Ds), teor de carbono e nitrogênio e estoques de carbono e nitrogênio, em áreas cultivadas com cana-de-açúcar em sistema de cultivo orgânico e convencional, em um Latossolo Vermelho, argiloso, Goianésia, GO.

F.V.	G.L.	Valor de F				
		Ds	Teor C	Teor N	Est C	Est N
Sistemas	4	72,239 ***	58,155 ***	40,338 ***	93,674 ***	37,976 ***
Profundidade	7	19,447 ***	140,993 ***	44,106 ***	473,821 ***	162,270 ***
Sist vs. Prof	28	3,365 ***	3,893 ***	1,879 **	-	-

F.V. – Fonte de variação; G.L – Grau de liberdade; Ds – Densidade do solo; Teor C – Teor de carbono no solo; Teor N – Teor de nitrogênio no solo; Est. C – Estoque de carbono total no solo; Est. N – Estoque de nitrogênio total no solo; \*\*\*, \*\*, significativo ao nível de 0,1 e 1% respectivamente, de probabilidade no teste F.

Houve efeito significativo dos sistemas de cultivo e também das profundidades sobre a densidade do solo (Ds) e a interação sistemas de cultivo vs. profundidade foi significativa (Tabela 5.1).

A Densidade do solo (Ds) diminuiu ao longo do uso do solo com o cultivo orgânico da cana-de-açúcar (Tabela 5.2). Em todas as camadas estudadas as áreas cultivadas em sistema orgânico apresentaram Ds menor do que a área Org.0. A redução na densidade do solo pode ter ocorrido em função do maior teor de matéria orgânica nas áreas cultivada em sistema orgânico. Segundo Assis & Lanças (2005), a matéria orgânica do solo favorece a diminuição da densidade do solo pela sua maior estruturação.

**Tabela 5.2.** Densidade do solo (Ds em  $g\ cm^{-3}$ ) nas diferentes profundidades em áreas de Latossolo Vermelho argiloso, cultivado com a cana-de-açúcar em sistema orgânico e convencional, em Goianésia – GO.

Profundidade (cm)	Tempo de cultivo orgânico					CV(%)
	Org.0	Org.2	Org.2Q	Org.10	Org.10SR	
	( $g\ cm^{-3}$ )					
0-5	1,67 aA	1,26 bBCD	1,26 bBC	1,22 bBC	1,31 bA	7,0
5-10	1,62 aA	1,36 bAB	1,34 bABC	1,19 bCD	1,35 bA	7,1
10-20	1,69 aA	1,41 bA	1,44 bA	1,41 bA	1,38 bA	5,5
20-30	1,64 aA	1,37 bAB	1,40 bAB	1,31 bAB	1,39 bA	7,8
30-40	1,60 aA	1,33 bABC	1,40 bAB	1,32 bAB	1,39 bA	5,6
40-60	1,41 aB	1,24 bCDE	1,28 abABC	1,18 bCD	1,45 aA	6,7
60-80	1,38 abB	1,16 cDE	1,24 bcBC	1,20 cCD	1,42 aA	5,6
80-100	1,33 abB	1,13 cE	1,21 bcC	1,10 cD	1,42 aA	6,1
CV (%)	5,89	4,32	6,49	4,08	9,52	-

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna e minúscula nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ). Letras maiúsculas comparam as profundidades dentro de cada área. Letras minúsculas comparam as áreas dentro de cada profundidade. Valores representam média de cinco repetições. Org.0 - área cultivada em sistema convencional, representando o início do sistema de cultivo orgânico; Org.2 - área cultivada há dois anos no sistema orgânico; Org.2Q - área cultivada há dois anos no sistema orgânico com uma queima acidental; Org.10 - área cultivada há dez anos no sistema orgânico; Org.10SR - área cultivada no sistema orgânico há dez anos e sem reforma do canavial durante esse período.

A compactação do solo resulta em problemas ambientais, agronômicos e econômicos como inundação, erosão, lixiviação de agrotóxicos, emissão de gases de efeito estufa e perda de rendimento das culturas agrícolas (Keller & Lamandé, 2010). A compactação aumenta a densidade do solo, a resistência mecânica à penetração e diminui o volume total de poros (Silva et al., 2009). Segundo Carvalho et al. (2009) a compactação do solo pelo uso de práticas inadequadas de manejo resultam diretamente no aumento da densidade do solo, diminuição do teor de umidade e modificação do movimento da água no solo. A cana-de-açúcar é uma das culturas mais afetadas pela alteração das condições físicas do solo, uma vez que, em decorrência da colheita mecanizada, a compactação pode promover reduções superiores a 50% no volume de macroporos do solo (Silva et al., 2011).

Braida et al. (2006) estudaram o efeito da matéria orgânica do solo, produzido por diferentes manejos de solo e resíduos orgânicos, sobre a curva de compactação de um Argissolo Vermelho-Amarelo e foi verificado que, o aumento do teor de matéria orgânica reduziu a densidade máxima obtida e, o solo tornou mais resistente à compactação. A matéria orgânica presente na vinhaça também pode contribuir para a redução da densidade do solo (Barros et al., 2013).

A área Org.0 é uma área onde a cana-de-açúcar é cultivada no sistema de cultivo convencional, com colheita mecanizada sem queima, e neste estudo foi usada como referência, pois representa o início do cultivo orgânico. Em todas as profundidades estudadas os valores da  $D_s$  na área Org.0 foram significativamente maiores do que nas áreas Org.2 e Org.10. Na área Org.0 os maiores valores para a  $D_s$  foram observados nas camadas mais superficiais, ou seja, nas camadas 0-5 cm até a camada 30-40 cm. Esse adensamento provavelmente ocorreu devido ao intenso tráfego de máquinas que envolvem operações com o preparo do solo e adubação, tratos culturais e também durante a colheita da cana. O intenso número de operações mecanizadas em lavouras de cana-de-açúcar resulta na compactação do solo, com efeitos danosos sobre sua qualidade física (Souza et al., 2012a). O tráfego intenso de máquinas é o principal responsável pelo aumento da densidade do solo (Silva et al., 2011).

O aumento da densidade do solo até 40 cm nos sistema de cultivo da cana-de-açúcar se deve ao tráfego de máquina pesadas durante o plantio e colheita da cultura. Vasconcelos (2002) estudando o desenvolvimento do sistema radicular e da parte aérea de socas de cana-de-açúcar sob dois sistemas de colheita, crua mecanizada e queimada manual, verificou que o elevado tráfego de máquinas e veículos de transbordo causou

aumento da densidade do solo até a profundidade de 40 cm. Souza et al. (2005) avaliando o efeito de sistema de colheita e manejo da cana crua com e sem incorporação da palhada e cana queimada nos atributos físicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico verificaram que os sistemas de manejo aumentaram a densidade do solo até a profundidade de 30 cm.

Analisando a Tabela 5.2 verificou-se que o efeito do cultivo da cana sobre a densidade do solo, independentemente do sistema ocorre até a camada de 30-40 cm. Nas áreas cultivadas em sistema orgânico houve redução da Ds nas camadas mais superficiais (da camada 0-5 cm até a camada 30-40 cm). Na camada 0-5 cm a Ds reduziu 24,5% e 26,9% nas áreas Org.2 e Org.10, respectivamente, em relação à área Org.0. Na camada 5-10 cm houve redução de 26,5% na área Org.10.

A área Org.10SR é uma área cultivada em sistema orgânico há dez anos e onde não ocorre reforma do canal há doze anos. Nesta área a densidade do solo não difere entre as camadas, ou seja, a densidade na camada de 0-5 cm não difere significativamente até a camada de 80-100 cm. Quando comparada com a área Org.10 até a camada 30-40 cm não há diferença entre elas, entretanto a partir da camada 40-60 cm até a camada 80-100 cm a área Org.10 SR apresentou valores maiores do que a área Org.10.

Em solos não perturbados é natural que a densidade aumente conforme aumenta a profundidade. Isso ocorre porque na superfície é onde se concentra o maior teor de matéria orgânica, a qual favorece a agregação das partículas, aumenta a porosidade e facilita a penetração das raízes. Segundo Dantas et al. (2010), o aumento da densidade do solo em função do aumento da profundidade pode ser atribuído ao adensamento dos horizontes em função da pressão exercida pelas camadas superiores sobre as subjacentes e também aos mecanismos de eluviação de argila que concorrem para a diminuição da porosidade.

Os dados da Tabela 5.2 mostram que entre as camadas de 0-5 cm até a camada de 20-30 cm, a densidade do solo variou de 1,62 g cm<sup>-3</sup> a 1,69 g cm<sup>-3</sup> na área Org.0; de 1,26 g cm<sup>-3</sup> a 1,41 g cm<sup>-3</sup> na área Org.2 e, de 1,31 g cm<sup>-3</sup> a 1,39 g cm<sup>-3</sup> na área Org.10. Esses valores são similares aos encontrados por (Assis & Lanças, 2005) que encontraram valores da densidade do solo de 1,39 g cm<sup>-3</sup>, 1,53 g cm<sup>-3</sup> e 1,56 g cm<sup>-3</sup> nas camadas 0-10, 10-20 e 20-30 cm, respectivamente de um Latossolo Vermelho cultivado com cana-de-açúcar.

Nas áreas orgânicas anualmente são aplicadas 60 mm de vinhaça, o que poderia estar atuando na redução da densidade do solo. Porém em estudo realizado por Camilotti et al. (2006) após quatro anos de aplicação de vinhaça no solo não verificaram alterações nos valores da densidade do solo.

### 5.3.2 Teor de carbono no perfil do solo

A Tabela 5.1 mostra que houve efeito significativo ( $p < 0,001$ ) dos sistemas de cultivo e também da profundidade sobre o teor de carbono no solo e a interação sistemas de cultivo vs. profundidade foi significativa também.

Em todas as áreas estudadas o teor de carbono no solo diminuiu com o aumento da profundidade (Tabela 5.3). Esse decréscimo é frequentemente evidenciado nos solos brasileiros (Souza et al., 2012b; Neves-Junior et al., 2013). Em todas as áreas, os maiores teores de carbono se localizaram próximo à superfície (Tabela 5.3). Na camada superficial (0-5 cm), a área Org.10 apresentou o maior valor com média de  $25,38 \text{ g kg}^{-1}$ , com redução significativa nas áreas Org.2 e Org.0 que obtiveram média de  $15,86 \text{ g kg}^{-1}$  e  $12,4 \text{ g kg}^{-1}$ , respectivamente. Na camada de 5-10 cm o efeito foi o mesmo da camada 0-5 cm, porém na área Org.10 houve redução significativa entre a profundidade 0-5 cm e 5-10 cm, enquanto nas demais áreas não houve redução significativa entre estas duas camadas. Os valores obtidos nas camadas 5-10 cm foram  $21,6 \text{ g kg}^{-1}$ ,  $14,74 \text{ g kg}^{-1}$ , e  $10,96 \text{ g kg}^{-1}$  nas áreas Org.10, Org.2 e Org.0, respectivamente.

**Tabela 5.3.** Teores de carbono no solo ( $\text{g kg}^{-1}$ ) nas respectivas camadas de solo em áreas cultivadas com cana-de-açúcar em sistema orgânico e convencional, na região de Goianésia – GO.

Profundidade (cm)	Tempo de cultivo orgânico					CV(%)
	Org.0	Org.2	Org.2Q	Org.10	Org.10SR	
	Teores de carbono total no solo ( $\text{g kg}^{-1}$ )					
0-5	12,40 cA	18,86 bcA	13,84 cA	25,38 aA	21,68 abA	20,4
0-10	10,96 cAB	14,74 bcAB	11,66 cAB	21,16 aB	18,50 abAB	21,7
0-20	10,08 cABC	14,24 bcB	11,52 cAB	19,00 aB	16,32 abABC	17,2
0-30	8,78 cBC	12,18 abC	10,10 bcBC	14,66 aC	11,68 bBCD	13,0
0-40	7,46 bCD	9,2 abD	7,26 bCD	11,38 aD	9,12 abCD	15,2
0-60	5,34 cDE	7,32 abE	6,14 bcDE	8,2 aE	6,64 abcD	15,0
0-80	4,74 bcDE	5,24 bcF	4,28 cDE	7,18 aE	5,76 abD	13,9
0-100	3,92 bcE	4,76 bF	3,66 cE	6,32 aE	4,12 bcD	12,1
CV(%)	19,6	7,27	17,5	10,7	33,2	-

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna e minúscula nas linhas não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ). Letras maiúsculas comparam cada área nas diferentes profundidades. Letras minúsculas comparam as áreas em cada profundidade. Valores representam média de cinco repetições. Org.0 - área cultivada em sistema convencional, representando o início do sistema de cultivo orgânico; Org.2 - área cultivada há dois anos no sistema orgânico; Org.2Q - área cultivada há dois anos no sistema orgânico com uma queima acidental; Org.10 - área cultivada há dez anos no sistema orgânico; Org.10SR - área cultivada no sistema orgânico há dez anos e sem reforma do canal durante esse período.

Segundo Sisti et al. (2004) a maior concentração de carbono na superfície do solo se deve provavelmente à adição de resíduos vegetais com baixa taxa de

decomposição. Thorburn et al. (2012) observaram que quando a palhada da cana é mantida sobre o solo os teores de carbono aumentam, mas este aumento se limita à profundidade de 20 cm a 50 cm. O acúmulo de carbono nas camadas mais profundas do solo é derivado do sistema radicular das culturas no sistema (Boddey et al., 2012).

A área Org.0 usada como referência neste trabalho, apresentou menor teor de carbono do que as demais áreas, em todas as camadas de solo estudadas. Nesta área os valores variaram de 12,4 g C kg<sup>-1</sup> de solo na camada superficial (0-5 cm) a 3,92 g C kg<sup>-1</sup> de solo na camada mais profunda (80-100 cm). Os teores de carbono de 12,4 g kg<sup>-1</sup>, 10,96 g kg<sup>-1</sup> e 10,08 g kg<sup>-1</sup> obtidos nas camadas 0-5 cm, 5-10 cm e 10-20 cm, respectivamente, não diferem significativamente entre si. No entanto, foram superiores aos valores 9,06 g kg<sup>-1</sup>, 7,97 g kg<sup>-1</sup> e 5,50 g kg<sup>-1</sup> encontrados por Barros et al. (2013), na região dos Tabuleiros Costeiros em áreas cultivadas com cana-de-açúcar com e sem aplicação de vinhaça, em um Argissolo Acinzentado distrófico.

O sistema de cultivo convencional se mostrou menos eficiente na conservação da matéria orgânica do solo do que o sistema de cultivo orgânico. Para que a agricultura se torne mais sustentável é necessário que se busquem sistemas de produção que conservem a matéria orgânica do solo. A adoção de sistemas de manejo mais conservacionista deve ser levada em consideração quanto ao seu efeito sobre os teores de matéria orgânica do solo. Pereira et al. (2013) verificaram que, o sistema de plantio direto comparado ao convencional é o melhor sistema que protege a matéria orgânica do solo, pois funciona à semelhança de um ambiente não perturbado.

O sistema de produção da cana-de-açúcar quando bem manejado pode trazer benefícios para o solo, tal como foi verificado por Rossi et al. (2013) estudando a abundância natural de <sup>13</sup>C e <sup>15</sup>N em uma cronossequência de canaviais com queima prévia da palhada e, uma área de cerrado nativo. Os autores concluíram que a área cultivada com cana-de-açúcar apresentou maior teor de carbono no solo do que a área de cerrado nativo.

A área Org.2 apresentou maior teor de carbono no solo em relação à área Org.0 nas camadas 20-30 cm e 40-60 cm, nas quais se obtiveram 12,18 g kg<sup>-1</sup> e 7,32 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente. Nessas camadas o aumento foi de 12,48% e 37,1%, respectivamente, após dois anos de cultivo orgânico. De maneira geral, na área Org.2 os teores de carbono também diminuíram conforme aumento da profundidade e variaram de 15,86 g C kg<sup>-1</sup> de solo na camada superficial (0-5 cm) a 4,76 g C kg<sup>-1</sup> de solo na camada mais profunda (80-100 cm). Os maiores teores foram encontrados nas camadas de 0-5 cm e 5-10 cm as

quais não diferiram significativamente entre si.

A área que estava a mais tempo cultivada em sistema orgânico – Org.10 foi a que apresentou os maiores teores de carbono no solo. Sendo significativamente superior à área referência (Org.0), em todas as camadas estudadas e foi também superior à área Org.2, exceto nas camadas 20-30 cm, 30-40 cm e 40-60 cm onde estatisticamente foram semelhantes. De maneira geral, os teores de carbono diminuíram conforme aumento da profundidade e variaram de 25,38 g C kg<sup>-1</sup> de solo na camada superficial (0-5 cm) a 6,32 g C kg<sup>-1</sup> de solo na camada mais profunda (80-100 cm). Os maiores teores foram encontrados na camada superficial (0-5 cm) diferindo significativamente das demais.

A matéria orgânica presente na vinhaça pode ter contribuído para o aumento dos teores de C no solo nas áreas cultivadas no sistema orgânico. Porém, em áreas de cultivo convencional da cana-de-açúcar Camilotti et al. (2006) verificaram que após quatro anos de aplicação de vinhaça em quantidade suficiente para fornecer 100% e 200% de todo o potássio requerido pela cana-de-açúcar não houve alterações nos teores de carbono do solo. Resende et al. (2006) também não verificaram efeito da aplicação de vinhaça sobre o carbono no solo. Os autores instalaram um experimento em plantações de cana-de-açúcar no estado do Pernambuco e avaliaram o efeito da aplicação de vinhaça e ureia sobre os estoques de carbono no solo. Os autores verificaram que, em 16 anos não houve efeito significativo da aplicação de vinhaça nem da adição de ureia sobre os estoques de carbono no solo.

A área Org.10SR apresentou teor de carbono no solo igual à área Org.10, exceto nas camadas 20-30 cm e 80-100 cm, onde a área Org.10 foi superior. Esperava-se que na área onde a cana-de-açúcar foi plantada há 12 anos (Org.10SR) apresentasse maior teor de carbono no solo do que a área Org.10 em todas as camadas de solo, em virtude de alterações na taxa de decomposição, pois o revolvimento do solo, durante a reforma do canal, aumenta o contato dos resíduos vegetais com o solo. Segundo Viana et al. (2011) a utilização e preparo intensos do solo, com revolvimento da camada superficial, favorecem a exposição da fração lábil da matéria orgânica do solo a agentes oxidantes, causando sua mineralização. As maiores taxas de decomposição da matéria orgânica do solo observadas em áreas cultivadas ocorrem devido às perturbações físicas do solo, que implicam rompimento dos macroagregados expondo a matéria orgânica aos processos microbianos (Zinn et al., 2005). O revolvimento do solo aumenta a superfície de contato do solo com o ar, que faz com que haja exposição da matéria orgânica do solo aos

microrganismos decompositores, o que favorece a sua oxidação e decomposição, contribuindo significativamente para o decréscimo de seu teor ao longo dos anos (Goés et al., 2005).

Assim como aconteceu nas outras áreas estudadas, na área Org.10SR os teores de carbono diminuíram em profundidade e variaram de 21,68 g C kg<sup>-1</sup> de solo na camada superficial (0-5 cm) a 4,12 g C kg<sup>-1</sup> de solo na camada mais profunda (80-100). Os maiores teores foram encontrados nas camadas de 0-5 cm, 5-10 cm e 10-20 cm as quais não diferiram significativamente entre si, diferindo da área Org.10 onde o maior teor de carbono foi encontrado na camada superficial do solo sendo significativamente superior às camadas adjacentes.

Com relação às duas áreas cultivadas há dois anos no sistema orgânico Org.2 e Org.2Q não foi verificada diferença significativa nos teores de carbono no solo, com exceção da camada 80-100 cm. Isso mostra que uma queima que ocorreu acidentalmente na área Org.2Q não reduziu significativamente o carbono no solo em relação à área Org.2.

O uso do solo em sistemas de produção agrícola modifica tanto a entrada como a saída de carbono para a atmosfera, em função da produção diferenciada de resíduos, número de cultivo, das espécies vegetais, da adubação, dos procedimentos de colheita, do preparo do solo e do manejo de restos culturais (Pereira et al., 2013).

### **5.3.3 Teor de nitrogênio no perfil do solo**

O efeito de sistemas de cultivo e profundidade foi altamente significativo ( $p < 0,001$ ) e a interação sistemas vs. profundidade foi significativo ao nível de ( $p < 0,05$ ) para o teor de nitrogênio no solo (Tabela 5.1).

A área Org.0 apresentou a maior concentração de nitrogênio no solo considerando todo o perfil do solo estudado (Tabela 5.4). Nessa área não houve diferença significativa entre as camadas de solo. Nas camadas superficiais 0-5 cm, 5-10 cm e 10-20 cm os teores obtidos foram de 1,50 g kg<sup>-1</sup>, 1,36 g kg<sup>-1</sup> e 1,36 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente. Esses valores são similares aos valores 1,39 g kg<sup>-1</sup>, 1,45 g kg<sup>-1</sup> e 1,37 g kg<sup>-1</sup> obtidos por Luca et al. (2008) em um Latossolo Vermelho cultivado com cana-de-açúcar sem queima da palhada.

**Tabela 5.4.** Teores de nitrogênio no solo ( $\text{g kg}^{-1}$ ) nas respectivas camadas de solo em áreas cultivadas com cana-de-açúcar em sistema orgânico e convencional, na região de Goianésia – GO.

Profundidade (cm)	Tempo de cultivo orgânico					CV(%)
	Org.0	Org.2	Org.2Q	Org.10	Org.10SR	
	Teores de nitrogênio total no solo ( $\text{g kg}^{-1}$ )					
0-5	1,50 abcA	1,04 cA	0,92cA	1,76 aA	1,68 abA	25,9
0-10	1,36 abA	1,00 abA	0,80 bA	1,50 aB	1,48 aAB	27,5
0-20	1,34 aA	0,86 aAB	0,82 aA	1,38 aB	1,30 aABC	25,9
0-30	1,22 aA	0,82 abBC	0,72 bAB	1,08 abC	1,00 abBCD	23,2
0-40	1,12 aA	0,66 bcCD	0,52 cBC	0,88 abC	0,78 bcCDE	21,6
0-60	0,96 aA	0,54 bDE	0,44 bC	0,64 bD	0,60 bDE	24,6
0-80	1,18 aA	0,46 bE	0,32 bC	0,56 bD	0,56 bDE	27,4
0-100	1,00 aA	0,38 bE	0,30 bC	0,48 bD	0,42 bE	44,3
CV(%)	37,9	11,8	17,8	10,9	29,0	-

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna e minúscula nas linhas não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ). Letras maiúsculas comparam cada área nas diferentes profundidades. Letras minúsculas comparam as áreas em cada profundidade. Valores representam média de cinco repetições. Org.0 - área cultivada em sistema convencional, representando o início do sistema de cultivo orgânico; Org.2 - área cultivada há dois anos no sistema orgânico; Org.2Q - área cultivada há dois anos no sistema orgânico com uma queima acidental; Org.10 - área cultivada há dez anos no sistema orgânico; Org.10SR - área cultivada no sistema orgânico há dez anos e sem reforma do canavial durante esse período.

Os dados mostram que os teores de nitrogênio da área Org.0 nas camadas superficiais (0-5 cm até 20-30 cm) não diferem daquelas da área Org.2. Também não diferem dos valores encontrados na área Org.10 até a camada de 30-40 cm. No entanto, nas camadas mais profundas o teor de nitrogênio na área Org.0 foi significativamente superior às demais áreas. A distribuição do nitrogênio no perfil do solo da área Org.0 foi diferente daquele observado nas outras áreas estudadas, visto que nesta área o teor de nitrogênio não diminui com o aumento da profundidade, indicando uma possível lixiviação de nitrogênio no solo.

Segundo Boddey et al. (2012), o nitrogênio do fertilizante sintético é mais susceptível às perdas imediatas promovidas por processos como a lixiviação do que aquele nitrogênio oriundo de adubações verdes com leguminosas que se associam eficientemente a bactérias fixadoras de nitrogênio atmosférico promovendo a fixação biológica do nitrogênio. O nitrato livre na solução do solo ocorre com elevada frequência. Como esses íons não são adsorvidos pelos componentes das frações do solo são facilmente deslocados e, podem ser absorvidos pelas raízes e translocados até as folhas ou podem ser lixiviados no solo, até os mananciais subterrâneos (Jadoski et al., 2010).

A eficiência da adubação nitrogenada, feita com adubos sintéticos altamente solúveis, ainda é muito baixa. Em um levantamento realizado por Cantarella (2007), os dados mostram que a eficiência do uso desse nitrogênio pelas culturas é em torno de 50%.

Esse é um aspecto preocupante, pois essa baixa eficiência no uso desses fertilizantes, além de não resultar na produtividade esperada, aumenta os custos de produção e se torna insustentável, visto que se gasta elevada quantidade de energia fóssil no processo químico para produção do fertilizante. Além dos aspectos agronômicos e econômicos tem-se também o aspecto ambiental, uma vez que o nitrogênio não absorvido pela planta é perdido para outros compartimentos do ambiente onde pode contaminar águas superficiais e subterrâneas, bem como ser transferido para a atmosfera e contribuir para o aquecimento global (Cantarella et al., 2008).

O teor de nitrogênio da área Org.2 foi inferior ao da área Org.0 nas camadas mais profundas, 30-40 cm, 40-60 cm, 60-80 cm e 80-100 cm. Nestas camadas os valores obtidos na área Org.2 foram de 0,66 g kg<sup>-1</sup>, 0,54 g kg<sup>-1</sup>, 0,46 g kg<sup>-1</sup> e 0,38 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente e, na área Org.0 foi de 1,12 g kg<sup>-1</sup>, 0,96 g kg<sup>-1</sup>, 1,18 g kg<sup>-1</sup>, e 1,0 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente. Nas camadas superficiais, a diferença entre essas duas áreas não foi significativa.

Com relação à área Org.10, os teores de nitrogênio nas camadas superficiais (da camada 0-5 cm até a 30-40 cm) não diferem significativamente da área Org.0. Mas, nas camadas mais profundas 40-60 cm, 60-80 cm e 80-100 cm, os teores observados na área Org.0 foram maiores. Nestas camadas foram registrados os seguintes valores para a área Org.10: 0,64 g kg<sup>-1</sup>, 0,56 g kg<sup>-1</sup> e 0,48 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente.

Os dados da área Org.2 e Org.10 mostram que, devido ao não uso de fontes de nitrogênio sintético nessas áreas houve uma diminuição no teor do nitrogênio em profundidade. Nas áreas orgânicas, a maior concentração do nitrogênio foi nas camadas mais superficiais do solo, justo onde se concentra o maior número de raízes. Esse é um fator positivo, pois o nitrogênio é um elemento extremamente móvel no solo, sendo facilmente perdido por lixiviação, como verificado na área Org.0.

Alcântara et al. (2000) estudando o desempenho de duas leguminosas utilizadas como adubo verde na recuperação da fertilidade de um Latossolo Vermelho-Escuro verificaram que nas parcelas onde houve incorporação da biomassa foram encontrados maiores teores de nitrogênio na camada superficial do solo (0-5 cm).

Analisando estes dados pode-se inferir que no sistema de cultivo orgânico a dinâmica do nitrogênio no solo é diferenciada daquela observada no sistema de cultivo convencional. Nas áreas de cultivo orgânico há grande massa de

microrganismos com intensa atividade biológica (Barbosa, 2010) que, influenciada pelas práticas de manejo regula a disponibilidade no nitrogênio no solo de forma mais sincronizada com a demanda da planta, evitando assim que ocorram perdas deste nutriente por lixiviação ou volatilização.

Os atuais movimentos para uso reduzido de insumos e o aumento de sistemas alternativos de produção, tem renovado o interesse pelo uso de adubação verde com leguminosas, como fonte de nitrogênio (Stone et al., 1999). Os resíduos dos adubos verde são uma excelente opção para melhorar o nível de matéria orgânica do solo. Segundo Pavan & Chaves (1998) a massa de resíduo vegetal incorporada ao solo ajuda a reduzir a lixiviação de nitrato no solo.

Com relação às áreas cultivadas há dois anos no sistema orgânico, Org.2 e Org.2Q, não foi verificada diferença significativa entre elas. Assim como também não houve diferença no conteúdo de nitrogênio do solo nas áreas Org.10 e Org.10SR. O que diferencia estas duas áreas é apenas a idade das plantas, visto que na área Org.10SR o canavial está com doze anos de idade.

### **5.3.4 Estoque de carbono no perfil do solo**

O teste F foi altamente significativo ( $p < 0,001$ ) para o efeito de sistemas de cultivo, bem como para as profundidades avaliadas para analisar o estoque de carbono no solo (Tabela 5.1).

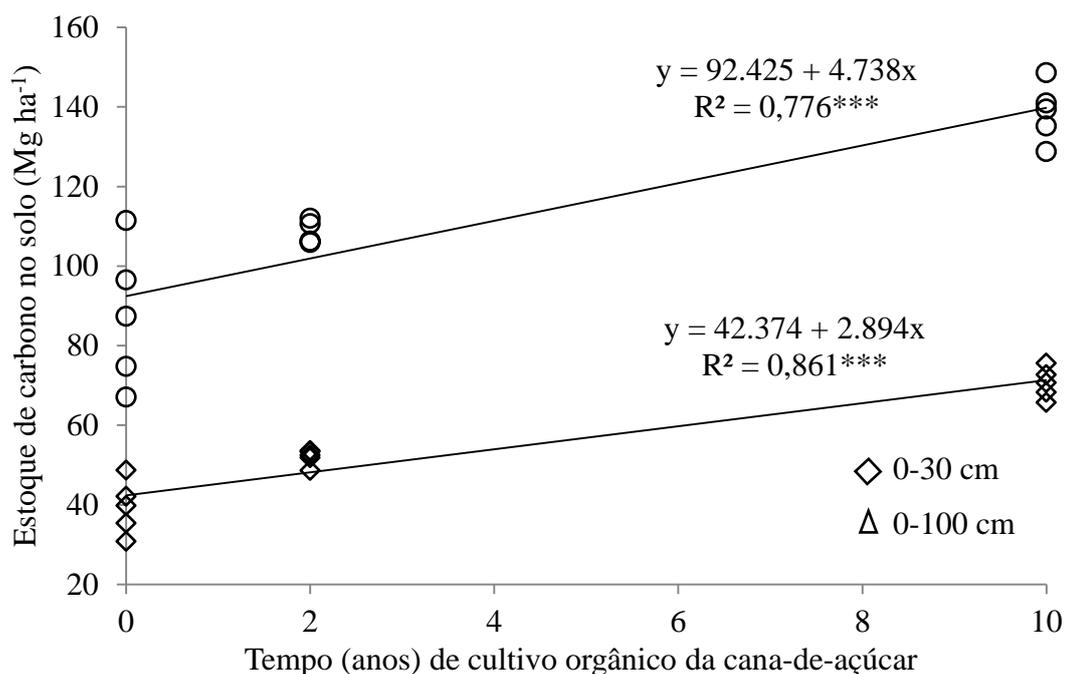
A área Org.0 foi a que apresentou o menor estoque de carbono, considerando o estoque acumulado a partir da profundidade de 0-5 cm até a profundidade de 0-100 cm (Tabela 5.5). Na camada 0-10 cm o estoque de carbono foi de 13,024 Mg ha<sup>-1</sup>. Esse valor foi superior ao valor de 10,03 Mg ha<sup>-1</sup> encontrado por Souza et al. (2012b) em um Latossolo Vermelho cultivado com cana-de-açúcar na região de Guariba, São Paulo. O estoque de carbono na camada de 0-20 cm foi de 26,694 Mg ha<sup>-1</sup> este valor foi inferior ao valor de 59,36 Mg ha<sup>-1</sup> verificado por Canellas et al. (2007) em um Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar por longo tempo. Porém, na camada de 0-30 cm o estoque de carbono foi de 39,341 Mg ha<sup>-1</sup>, também superior ao valor de 33,82 Mg ha<sup>-1</sup>, observado por Chaves & Farias (2008) em um Argissolo Acinzentado Distrófico cultivado com cana-de-açúcar, na região de Capim, estado da Paraíba.

**Tabela 5.5.** Estoque de carbono total no solo em áreas de Latossolo Vermelho cultivada com cana-de-açúcar em sistema de cultivo orgânico e convencional, na região de Goianésia, GO.

Profundidade (cm)	Tempo de cultivo orgânico					CV(%)
	Org.0	Org.2	Org.2Q	Org.10	Org.10SR	
	Estoque de carbono total no solo (Mg ha <sup>-1</sup> )					
0-5	6,599 c	8,441 bc	7,366 c	13,508 a	11,538 ab	20,4
0-10	13,024 c	16,633 bc	13,979 c	25,400 a	21,952 ab	18,1
0-20	26,694 c	35,352 bc	29,156 c	50,463 a	43,789 ab	16,8
0-30	39,341 c	51,953 bc	42,803 c	70,559 a	60,240 ab	14,5
0-40	50,942 c	65,502 bc	53,945 c	86,549 a	73,447 ab	13,2
0-60	67,384 c	84,375 bc	69,438 c	107,536 a	91,259 ab	12,1
0-80	78,963 c	97,195 bc	80,173 c	124,002 a	104,790 ab	12,0
0-100	87,409 c	108,172 bc	88,993 c	138,556 a	117,196 ab	12,9

Estoques de Carbono total no solo (Mg ha<sup>-1</sup>) nas respectivas camadas de solo em áreas cultivadas com cana-de-açúcar. Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ). Org.0 - área cultivada em sistema convencional, representando o início do sistema de cultivo orgânico; Org.2 - área cultivada há dois anos no sistema orgânico; Org.2Q - área cultivada há dois anos no sistema orgânico com uma queima acidental; Org.10 - área cultivada há dez anos no sistema orgânico; Org.10SR - área cultivada no sistema orgânico há dez anos e sem reforma do canavial durante esse período.

A área que é cultivada em sistema orgânico há mais tempo (Org.10) apresentou os maiores estoques de carbono no solo não diferindo da área Org.0, em todos os níveis de profundidades estudados (Tabela 5.5). Verificando os estoques de C na camada de 0-30 cm, conforme demandado pelo IPCC (IPCC Guidelines, 2006), para a avaliação de acumulação de C no solo, pode ser confirmada que o cultivo orgânico da cana-de-açúcar favoreceu a acumulação de C total no solo. Sisti et al. (2004), entretanto, indicaram que essa profundidade nem sempre é suficiente para detectar diferenças entre sistemas de manejo do solo em relação em relação ao estoque de carbono acumulado. Os autores avaliaram estoques de carbono em sistema de cultivo convencional comparando com sistema de plantio direto e observaram que os resultados foram mais conclusivos quando os estoques comparados para a camada de 100 cm de profundidade. Na camada de 0-100 cm houve aumento de 23,75% no estoque de carbono na área Org.2 quando comparado com a área Org.0. O aumento foi ainda maior, 58,51%, na área Org.10 em relação à área Org.0. Verifica-se também que há uma tendência de crescimento linear no estoque de carbono em função do tempo de cultivo orgânico. Esse efeito foi verificado tanto para a camada 0-30 cm quanto para a camada 0-100 cm, conforme se verifica na Figura 5.1.



**Figura 5.1.** Estoque de carbono no solo em função de tempo de cultivo orgânico da cana-de-açúcar nas camadas 0-30 e 0-100 cm de profundidade.

Com relação à área Org.10 verificou-se que o estoque de carbono não diferiu da área Org.10SR. É esperado que o revolvimento do solo durante a reforma do canavial favoreça a oxidação da matéria orgânica, reduzindo os estoques de carbono no solo. Entretanto, os dados obtidos neste estudo não confirmaram esta hipótese, mostrando que o revolvimento do solo durante as reformas do canavial não provocou redução nos estoques de carbono. Isso se deve provavelmente, ao fato de haver maior produção de biomassa acompanhada de maior reciclagem da matéria orgânica na área Org.10, comparado à área Org.10SR, o que pode ter compensado o efeito das perdas de carbono que provavelmente ocorre durante a reforma do canavial nessa área. O revolvimento do solo com arado, grade e subsolador estimulam a degradação da matéria orgânica do solo e a liberação do carbono do solo na forma de CO<sub>2</sub> (Boddey et al., 2012).

A adição de vinhaça na área orgânica poderia ser um dos fatores responsáveis pelo aumento dos estoques de carbono nessa área. Mas, apesar disso alguns trabalhos relatam que não houve efeito da aplicação de vinhaça sobre o estoque de carbono no solo. Canellas et al. (2007) verificaram que a adição de vinhaça durante 35 anos ao canavial o aumento da matéria orgânica armazenada não foi estatisticamente significativo. Os autores sugerem que o material orgânico adicionado ao solo evolui muito rápido. Sendo

decomposto pela biota do solo, sendo perdido para a atmosfera na forma de CO<sub>2</sub>.

Os resultados obtidos sugerem que as alterações no estoque de carbono e nitrogênio no solo são grandes e não se concentram na camada superficial do solo. Visto que, aumentos significativos no estoque de carbono no solo ocorreram em todo o perfil de solo estudado. Os dados obtidos neste estudo mostraram que as alterações significativas nos estoques de carbono total ocorreram em todas as camadas estudadas, ou seja, até 100 cm de profundidade, indicando que a dificuldade de se aumentar o teor de matéria orgânica no solo foi superada com a adoção do sistema de cultivo orgânico na fazenda estudada.

A queima acidental que ocorreu na área Org.2Q também não provocou alteração no estoque de carbono no solo, conforme se verifica na Tabela 5.5, onde se observa que os valores obtidos na área Org.2 não diferem significativamente daqueles observados na área queimada, Org.2Q. Rossi et al. (2013) estudando as alterações químicas de uma cronossequência de canaviais com queima prévia da palhada concluíram que os estoques de carbono na profundidade de 0-10 cm foi menor nas áreas sujeitas à queima por um e cinco anos. Contudo, nas camadas mais profundas, até 60 cm, os maiores estoques de carbono foram encontrados na área sujeita à queima por apenas um ano.

Resende et al. (2006) instalaram um experimento em plantações de cana-de-açúcar no estado do Pernambuco para avaliar o efeito de longo prazo da aplicação de vinhaça e ureia sobre o balanço de nitrogênio e sobre os estoques de carbono no solo. Os autores verificaram que, em 16 anos não houve efeito significativo da aplicação de vinhaça nem da adição de ureia sobre os estoques de carbono no solo.

O carbono é um dos principais componentes da matéria orgânica do solo, e os seus estoques irão variar em função das taxas de adição, por resíduos vegetais e, ou, animais, e de perdas, dentre elas, as decorrentes da erosão e da oxidação pelos microrganismos do solo (Pereira et al., 2013).

### **5.3.5 Estoque de nitrogênio no perfil do solo**

Considerando a camada de 0-30 cm de profundidade o maior estoque de nitrogênio, 5,070 Mg ha<sup>-1</sup>, foi observado na área Org.10 não diferindo de estoque de 5,048 Mg ha<sup>-1</sup> obtidos nas áreas Org.0 e Org.10SR e 3,486 Mg ha<sup>-1</sup> registrado na área Org.2 (Tabela 5.6). Analisando a camada de 0-100 cm de profundidade, o maior estoque de

nitrogênio, 13,385 Mg ha<sup>-1</sup>, foi observado na área Org.0 que também não diferiu dos valores de 10,322 Mg ha<sup>-1</sup> e 10,050 Mg ha<sup>-1</sup> obtidos nas áreas Org.10 e Org.10SR, respectivamente.

**Tabela 5.6.** Estoque de nitrogênio total do solo em áreas de Latossolo Vermelho cultivado com cana-de-açúcar em sistema orgânico e convencional, na região de Goianésia, GO.

Profundidade (cm)	Tempo de cultivo orgânico					CV (%)
	Org.0	Org.2	Org.2Q	Org.10	Org.10SR	
	Estoque de nitrogênio total do solo (Mg ha <sup>-1</sup> )					
0-5	0,798 abc	0,553 bc	0,490 c	0,937 a	0,894 ab	25,9
0-10	1,584 abc	1,105 bc	0,941 c	1,778 a	1,723 ab	24,7
0-20	3,346 ab	2,369 ab	2,016 b	3,592 a	3,464 a	24,4
0-30	5,048 a	3,486 ab	2,988 b	5,070 a	5,048 ab	24,1
0-40	6,662 a	4,437 ab	3,785 b	6,294 a	5,984 ab	23,7
0-60	9,267 a	5,818 bc	4,905 c	7,929 ab	7,552 abc	22,4
0-80	11,423 a	6,909 b	5,696 b	9,213 ab	8,865 ab	22,1
0-100	13,385 a	7,802 b	6,391 b	10,322 ab	10,050 ab	24,2

Estoques de nitrogênio total no solo. Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ). Valores representam média de cinco repetições. Org.0 - área cultivada em sistema convencional, representando o início do sistema de cultivo orgânico; Org.2 - área cultivada há dois anos no sistema orgânico; Org.2Q - área cultivada há dois anos no sistema orgânico com uma queima acidental; Org.10 - área cultivada há dez anos no sistema orgânico; Org.10SR - área cultivada no sistema orgânico há dez anos e sem reforma do canavial durante esse período.

Comparando as áreas Org.10 e Org.10SR os resultados mostraram o mesmo padrão verificado para o carbono, não havendo diferença entre elas, mostrando que o revolvimento do solo por ocasião das reformas não provocou alteração no estoque de nitrogênio no solo.

De acordo com os dados verificados na Tabela 5.6 e considerando que a taxa anual de mineralização do nitrogênio total do solo varia entre 2% a 5% (Moreira & Siqueira, 2006) tem-se de 133 kg de N ha<sup>-1</sup> a 333 kg de N ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> disponibilizado na área cultivada em sistema convencional (Org.0), de 88 kg de N ha<sup>-1</sup> a 221 kg de N ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> disponibilizado na área Org.2 e, de 125 kg de N ha<sup>-1</sup> a 314 kg de N ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> disponibilizado na área Org.10, o que pode ser considerável suficiente no atendimento à demanda da cana-de-açúcar crescendo nessas áreas.

Os resíduos culturais da cana-de-açúcar, a palhada, contribuem para aumentar os estoques de nitrogênio no solo. Segundo Vitti et al. (2008) em um ciclo da cultura apenas 10% do nitrogênio contido nos restos culturais (palhada) é mineralizado e será utilizado no ciclo posterior da cultura, o restante fica estocado no solo.

## 5.4 CONCLUSÕES

Da superfície até a camada 40-60 cm de profundidade a densidade do solo nas áreas de cultivo orgânico da cana-de-açúcar é menor do que na área de cultivo convencional.

Na camada 0-30 cm de profundidade, o estoque de carbono no solo na área cultivada há dez anos no sistema orgânico (Org.10) foi 79% superior ao estoque obtido na área de cultivo convencional (Org.0). E na camada 0-100 cm de profundidade O estoque de carbono obtido na área Org.10 foi 58% maior do que o da área Org.0.

Não foi observado efeito do cultivo orgânico da cana-de-açúcar em aumentar os estoques de nitrogênio no solo.

## 5.5 REFERÊNCIAS

- ALCÂNTARA, F. A.; NETO, A. E. F.; PAULA, M. B.; MESQUITA, H. A.; MUNIZ, J. A. Adubação verde na recuperação da fertilidade de um Latossolo Vermelho-Escuro degradado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 2, p. 277-288, 2000.
- ASSIS, R. L.; LANÇAS, K. P. Avaliação da compressibilidade de um Nitossolo Vermelho distroférico sob sistema plantio direto, preparo convencional e mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 4, p. 507-514, 2005.
- BARBOSA, L. A. **Impactos de sistemas de cultivo orgânico e convencional da cana-de-açúcar, nos atributos do solo**. 2010. 80 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia)– Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, Brasília, 2010.
- BARRETO, R. C.; MADARI, B. E.; MADDOCK, J. E. L.; MACHADO, P. L. O. A.; TORRES, E.; FRANCHINI, J.; COSTA, A. R. The impact of soil management on aggregation, carbon stabilization and carbon loss as CO<sub>2</sub> in the surface layer of a Rhodic Ferralsol in Southern Brazil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 132, n. 3-4, p. 243-251, 2009.
- BARROS, J. D. S.; CHAVES, L. H. G.; CHAVES, I. D. B.; FARIAS, C. H. A.; PEREIRA, W. E. Estoque de carbono e nitrogênio em sistemas de manejo do solo, nos tabuleiros costeiros paraibanos. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 26, n. 1, p. 35-42, 2013.
- BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 7, p. 677-683, 2004.
- BODDEY, R. M.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; JANTALIA, C. P.; MARTIN-NETO, L.; MADARI, B. E.; MILORI, D. M. B. P.; MACHADO, P. L. O. D. A. Estoques de carbono nos solos do Brasil - quantidade e mecanismos de acúmulo e preservação. In:

- LIMA, M. A.; BODDEY, R. M.; ALVES, B. J. R.; MACHADO, P. L. O. D. A.; URQUIAGA, S. (Ed.). **Estoques de carbono e emissões de gases de efeito estufa na agropecuária brasileira**. 1. ed. Brasília: Embrapa, 2012. 347 p.
- 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 por ensaio proctor. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 4, p. 605-614, 2006.
- CAMILOTTI, F.; ANDRIOLI, I.; MARQUES, M. O.; SILVA, A. R. D.; TASSO-JÚNIOR, L. C.; NOBILE5, F. O. D. Atributos de um Latossolo cultivado com cana-de-açúcar após aplicações de lodo de esgoto e vinhaça. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, n. 3, p. 738-747, 2006.
- CANELLAS, L. P.; BALDOTTO, M. A.; BUSATO, J. G.; MARCIANO, C. R.; MENEZES, S. C.; SILVA, N. M. D.; RUMJANEK, V. M.; VELLOSO, A. C. X.; SIMÕES, M. L.; MARTIN-NETO, L. Estoque e qualidade da matéria orgânica de um solo cultivado com cana-de-açúcar por longo tempo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 2, p. 331-340, 2007.
- CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R. F.; ALVARES, V. V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. G.; NEVES, J. C. L. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. 1017 p.
- CANTARELLA, H.; ANDRADE, C. A.; MATOS-JUNIOR, D. D. Matéria orgânica do solo e disponibilidade de N para as plantas. In: SANTOS, G. D. A.; SILVA, L. S. D.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. D. O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais & subtropicais**. 2008. 636 p.
- CARNEIRO, M. A. C.; MELO, L. B. C.; ASSIS, P. C. R.; PEREIRA, H. S.; PAULINO, H. B.; SILVEIRA-NETO, A. N. Atributos bioquímicos em dois solos de cerrado sob diferentes sistemas de manejo e uso. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 38, n. 4, p. 276-283, 2008.
- CARVALHO, L. A.; NETO, V. J. M.; SILVA, L. F.; PEREIRA, J. G.; NUNES, W. A. G. A.; CHAVES, C. H. C. Resistência mecânica do solo à penetração (RMP) sob cultivo de cana-de-açúcar, no município de Rio Brillhante-MS. **Revista Agrarian**, Dourados, v. 1, n. 2, p. 7-22, 2009.
- CHAVES, L. H. G.; FARIAS, C. H. A. Variabilidade espacial do estoque de carbono nos tabuleiros costeiros da Paraíba: solo cultivado com cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 3, n. 1, p. 20-25, 2008.
- COMPANIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento de safra brasileira: cana-de-açúcar**. Primeiro levantamento - Abr. 2013, p. 19, 2013.
- DANTAS, V. B.; MORAIS, F. A.; PEREIRA, J. O.; CALLEGARI, R. A.; GÓES, G. B. Comportamento físico de um Latossolo Vermelho distroférico sob diferentes doses de palha de aveia. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Mossoró, v. 5, n. 5, p. 6-11, 2010.

DUARTE-JÚNIOR, J. B.; COELHO, F. C. A cana-de-açúcar em sistema de plantio direto comparado ao sistema convencional com e sem adubação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 6, p. 576–583, 2008.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Manual de métodos de análises de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

FIGUEIREDO, C. C.; RAMOS, M. L. G.; TOSTES, R. Propriedades físicas e matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob sistemas de manejo e cerrado nativo. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 24, n. 3, p. 24-30, 2008.

FIGUEIREDO, P. Breve história da cana-de-açúcar e do papel do Instituto Agrônomo no seu estabelecimento no Brasil. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. (Ed.). **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2008. 882 p.

FREITAS, P. L.; BLANCANEAUX, P.; GAVINELLI, E.; LARROUY, M. C. L.; FELLER, C. Nível e natureza do estoque orgânico de Latossolos sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 1, p. 157-170, 2000.

GOÉS, G. B.; GREGGIO, T. C.; CENTUTION, J. F.; BEUTLER, A. N.; ANDRIOLI, I. Efeito do cultivo da cana-de-açúcar na estabilidade de agregados e na condutividade hidráulica do solo. **Irriga**, Botucatu, v. 10, n. 2, p. 116-122, 2005.

JADOSKI, S. O.; SAITO, L. R.; PRADO, C.; LOPES, E. C.; SALES, L. L. S. R. Características da lixiviação de nitrato em áreas de agricultura intensiva. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, Santa Cruz Guarapuava, v. 3, n. 1, p. 193-200, 2010.

KELLER, T.; LAMANDÉ, M. Challenges in the development of analytical soil compaction models. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 111, n. 1, p. 54-64, 2010.

LOVATO, T.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F. Adição de carbono e nitrogênio e sua relação com os estoques no solo e com o rendimento do milho em sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 1, p. 175-187, 2004.

LUCA, E. F.; 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**, Viçosa, v. 32, n. 2, p. 789-800, 2008.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e Bioquímica do Solo**. 2. ed. Lavras, Editora UFLA, 2006. 729 p.

NEVES-JUNIOR, A. F.; SILVA, A. P.; NORONHA, N. C.; CERRI, C. C. Sistemas de manejo do solo na recuperação de uma pastagem degradada em Rondônia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, n. 1, p. 232-241, 2013.

PANOSSO, A. R.; MARQUES, J.; MILORI, D.; FERRAUDO, A. S.; BARBIERI, D. M.; PEREIRA, G. T.; LA SCALA, N. Soil CO<sub>2</sub> emission and its relation to soil properties in sugarcane areas under slash-and-burn and green harvest. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 111, n. 2, p. 190-196, 2011.

PAULA, T. A.; VALLE, C. M. Quantificação do estoque de carbono no solo e a mitigação da mudança climática. In: CONGRESSO DE PESQUISA E INOVAÇÃO DA REDE NORTE NORDESTE DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA, (s.n.), 2007, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: Rede Norte Nordeste de Educação Tecnológica, 2007. 1 CD-ROM.

PAVAN, M. A.; CHAVES, J. C. D. **A importância da matéria orgânica nos sistemas agrícolas**. Londrina: IAPAR (Circular Técnica, 98), 1998.

PEREIRA, M. F. S.; JÚNIOR, J. N.; SÁ, J. R.; LINHARES, P. C. F.; NETO, F. B.; PINTO, J. R. S. Ciclagem do carbono do solo nos sistemas de plantio direto e convencional. **Revista Agropecuária Científica no Semiárido**, Campina Grande, v. 9, n. 2, p. 21-32, 2013.

PEREZ, K. S. S.; RAMOS, M. L. G.; MCMANUS, C. Carbono da biomassa microbiana em solo cultivado com soja sob diferentes sistemas de manejo nos Cerrados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 6, p. 567-573, 2004.

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

ROSSI, C. Q.; PEREIRA, M. G.; LOSS, A.; GAZOLLA, P. R.; PERIN, A.; ANJOS, L. H. C. Changes in soil C and N distribution assessed by natural <sup>13</sup>C and <sup>15</sup>N abundance in a chronosequence of sugarcane crops managed with pre-harvest burning in a Cerrado area of Goiás, Brazil. **Agriculture Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 170, n. 1, p. 36-44, 2013.

SILVA, A. R.; JUNIOR, M. S. D.; LEITE, F. P. Avaliação da intensidade de tráfego e carga de um forwarder sobre a compactação de um Latossolo Vermelho-Amarelo. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 35, n. 3, p. 547-554, 2011.

SILVA, R. B.; LANÇAS, K. P.; MIRANDA, E. E. V.; SILVA, F. A. M.; BAILO, F. H. R. Estimation and evaluation of dynamic properties as indicators of changes on soil structure in sugarcane fields of Sao Paulo State – Brazil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 103, n. 2, p. 265-270, 2009.

SISTI, C. P. J.; SANTOS, H. P.; KOHHANN, R.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 76, n. 1, p. 39-58, 2004.

SOUZA, G. S.; SOUZA, Z. M.; SILVA, R. B.; ARAÚJO, F. S.; BARBOSA, R. S. Compressibilidade do solo e sistema radicular da cana-de-açúcar em manejo com e sem controle de tráfego. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, n. 4, p. 603-612, 2012a.

SOUZA, H. A.; MARCELO, A. V.; CENTURION, J. F. Carbono orgânico e agregação de um Latossolo Vermelho com colheita mecanizada de cana-de-açúcar. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 43, n. 4, p. 658-663, 2012b.

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

STONE, L. F.; FAGERIA, N. K.; SANTOS, A. B. **Maximização da eficiência de produção das culturas**. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999. 294 p.

THORBURN, P. J.; MEIER, E. A.; COLLINS, K.; ROBERTSON, F. A. Changes in soil carbon sequestration, fractionation and soil fertility in response to sugarcane residue retention are site-specific. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 120, n. 1, p. 99-111, 2012.

VASCONCELOS, A. C. M. **Desenvolvimento do sistema radicular da parte aérea de socas de cana-de-açúcar sob dois sistemas de colheita: crua mecanizada e queimada manual**. 2002. 140 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2002.

VIANA, E. T.; BATISTA, M. A.; TORMENA, C. A.; COSTA, A. C. S.; INOUE, T. T. Atributos físicos e carbono orgânico em Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 6, p. 2105-2114, 2011.

VITTI, A. C.; TRIVELIN, P. C. O.; CANTARELLA, H.; FRANCO, H. C. J.; FARONI, C. E.; OTTO, R.; TRIVELIN, M. O.; TOVAJAR, J. G. Mineralização da palhada e crescimento de raízes de cana-de-açúcar relacionadas com a adubação nitrogenada de plantio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. Especial, p. 2757-2762, 2008.

ZINN, Y. L.; LAL, R.; RESCK, D. V. S. Changes in soil organic carbon stocks under agriculture in Brazil. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 84, n. 1, p. 28-40, 2005.

## **6 CONCLUSÕES GERAIS**

De maneira geral, a conversão do sistema de cultivo convencional da cana-de-açúcar para o sistema de cultivo orgânico, promoveu melhorias no ambiente de produção e mostrou que, as técnicas empregadas no cultivo orgânico da cana-de-açúcar, são mais eficientes do que aquelas usadas no cultivo convencional.

O cultivo orgânico da cana-de-açúcar aumentou os níveis de fertilidade do solo, com efeito, mais acentuado após dez anos de cultivo, refletindo no aumento da produtividade ao longo de sucessivos anos de cultivo. Sendo este maior do que no sistema de cultivo convencional. Logo, a extração de nutrientes do solo foi maior nas áreas orgânicas, as quais requerem manejo especial da adubação para evitar o empobrecimento dos solos.

Quanto ao perfilhamento e produtividade do canavial, verificou-se que no início da conversão para o sistema orgânico, após dois anos, houve redução do perfilhamento, mas sem comprometer a produtividade final do canavial. Após seis anos o perfilhamento foi restabelecido.

Com relação ao teor de nutrientes nas plantas, o efeito do cultivo orgânico foi verificado após seis anos de cultivo, onde foi as plantas apresentaram maior absorção do que no sistema de cultivo convencional. Foi verificada deficiência nas plantas de cálcio, magnésio, cobre e ferro em todas as áreas cultivadas, sendo necessária a consideração de complementação, principalmente de micronutrientes.

O sistema de cultivo orgânico da cana-de-açúcar trouxe resultados positivos para o solo, reduzindo os impactos ambientais no sistema de produção. A densidade do solo reduziu-se sensivelmente nas camadas superficiais. Nesse sistema de produção não há lixiviação de nitrogênio no solo, e os estoques de carbono aumentaram consideravelmente em relação ao cultivo convencional.

## ANEXOS

<b>Anexo A.</b>	Resultado das análises físicas das amostras de solos das áreas estudadas, em oito profundidades (média de cinco repetições). .....	124
<b>Anexo B.</b>	Análise da composição química da matéria seca da cama-de-frango usada em canaviais da Usina Jalles Machado, em Goianésia – GO.....	126
<b>Anexo C.</b>	Composição química de vinhaça coletada na Usina Jalles Machado, Goianésia-GO. ....	127
<b>Anexo D.</b>	Linha do tempo das áreas estudadas indicando a mudança de uso da terra de áreas de cerrado que foram convertidas em pastagem, depois em cultivo da cana-de-açúcar em sistema convencional e orgânico. ....	128
<b>Anexo E.</b>	Histórico das principais operações realizadas nas áreas estudadas durante o cultivo da cana-de-açúcar. ....	129
<b>Anexo F.</b>	Análise da composição química da matéria seca de torta de filtro. Fonte: Oliveira, 2012. ....	131
<b>Anexo G.</b>	Teores de carbono (C), nitrogênio (N) e densidade do solo (Ds) na área de Cerrado Nativo. ....	132

**Anexo A.** Resultado das análises físicas das amostras de solos das áreas estudadas, em oito profundidades (média de cinco repetições).

Áreas	Profundidade (cm)	Argila (g kg <sup>-1</sup> )	Silte (g kg <sup>-1</sup> )	Areia (g kg <sup>-1</sup> )	DP (g cm <sup>-3</sup> )
Org.0	0-5	450	180	370	2,53
	5-10	450	156	394	2,63
	10-20	454	168	378	2,63
	20-30	450	172	378	2,53
	30-40	458	188	354	2,53
	40-60	466	168	366	2,63
	60-80	494	176	330	2,63
	80-100	506	172	322	2,63
Org.2	0-5	538	204	258	2,56
	5-10	542	216	242	2,56
	10-20	534	196	270	2,56
	20-30	534	200	266	2,56
	30-40	546	200	254	2,53
	40-60	538	200	262	2,60
	60-80	574	200	226	2,60
	80-100	590	184	226	2,60
Org.2Q	0-5	486	220	294	2,53
	5-10	498	192	310	2,63
	10-20	486	204	310	2,53
	20-30	498	196	306	2,63
	30-40	510	200	290	2,53
	40-60	510	196	294	2,63
	60-80	502	176	322	2,63
	80-100	502	188	310	2,63
Org.6	0-5	345	128	526	2,53
	5-10	346	116	538	2,53
	10-20	354	112	534	2,56
	20-30	366	112	522	2,56
	30-40	371	99	530	2,63
	40-60	371	99	530	2,60
	60-80	391	95	514	2,63
	80-100	375	115	510	2,63
Org.10	0-5	499	215	286	2,53
	5-10	487	199	314	2,53
	10-20	531	179	290	2,63
	20-30	591	143	266	2,63
	30-40	611	111	278	2,60
	40-60	631	115	254	2,63
	60-80	631	95	274	2,63
	80-100	639	91	270	2,63

Continua...

**Anexo A.** Continuação.

Áreas	Profundidade (cm)	Argila (g kg <sup>-1</sup> )	Silte (g kg <sup>-1</sup> )	Areia (g kg <sup>-1</sup> )	DP (g cm <sup>-3</sup> )
Org.10SR	0-5	502	252	246	2,53
	5-10	522	263	242	2,53
	10-20	542	228	230	2,53
	20-30	546	252	202	2,60
	30-40	547	264	189	2,63
	40-60	567	252	181	2,63
	60-80	579	260	161	2,63
	80-100	567	284	149	2,63
CN*	0-5	607	187	206	2,53
	5-10	661	167	173	2,56
	10-20	674	167	159	2,53
	20-30	714	87	199	2,63
	30-40	704	110	186	2,56
	40-60	721	100	179	2,63
	60-80	720	113	166	2,63
	80-100	727	100	173	2,63

DP - densidade de partículas; Org.0 - área cultivada em sistema convencional, representando o início do sistema de cultivo orgânico; Org.2 - área cultivada há dois anos no sistema orgânico; Org.2Q - área cultivada há dois anos no sistema orgânico com uma queima acidental; Org.6 - área cultivada há seis anos no sistema orgânico; Org.10 - área cultivada há dez anos no sistema orgânico; Org.10SR - área cultivada no sistema orgânico há dez anos e sem reforma do canavial durante esse período. CN – área de cerrado nativo, localizada próximo às áreas de estudo. Foi utilizada como tratamento referência para os cálculos dos estoques de carbono e nitrogênio; \*Média de três repetições.

**Anexo B.** Análise da composição química da matéria seca da cama-de-frango usada em canaviais da Usina Jalles Machado, em Goianésia – GO.

Elemento determinado	Valor
Nitrogênio ( $\text{g kg}^{-1}$ )	29,3
$\text{P}_2\text{O}_5$ total ( $\text{g kg}^{-1}$ )	34,3
$\text{K}_2\text{O}$ ( $\text{g kg}^{-1}$ )	2,9
Cálcio ( $\text{g kg}^{-1}$ )	58,0
Magnésio ( $\text{g kg}^{-1}$ )	15,7
Enxofre ( $\text{g kg}^{-1}$ )	1,7
Flúor ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	23,3
Cobre ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	80,0
Ferro ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	3566,7
Manganês ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	653,3
Zinco ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	613,3
Molibdênio ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	43,3
Cobalto ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	43,3
Boro ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	306,7
Matéria orgânica ( $\text{g kg}^{-1}$ )	473,3
Umidade ( $\text{g kg}^{-1}$ )	206,7
Matéria mineral ( $\text{g kg}^{-1}$ )	220,0
pH	6,85
Relação C/N	13,2

Valores representam média de três amostras de cama-de-frango.

**Anexo C.** Composição química de vinhaça coletada na Usina Jalles Machado, Goianésia-GO.

Elementos na vinhaça	Valores
Amônio (mg L <sup>-1</sup> )	1,646
Nitrato (mg L <sup>-1</sup> )	5,54
Acidez (mg CaCO <sub>3</sub> L <sup>-1</sup> )	1479,6
DQO (mg L <sup>-1</sup> )	11.200
Carbono (DQO) (mg L <sup>-1</sup> )	3.733
Fósforo total (mg L <sup>-1</sup> )	23,2
Cálcio (mg L <sup>-1</sup> )	24,8
Potássio (mg L <sup>-1</sup> )	1.199,4
Magnésio (mg L <sup>-1</sup> )	8,2
Cobre (mg L <sup>-1</sup> )	0,1
Zinco (mg L <sup>-1</sup> )	0,2
Ferro (mg L <sup>-1</sup> )	25,2
Manganês (mg L <sup>-1</sup> )	0,9
Nitrogênio total Kjeldahl (mg L <sup>-1</sup> )	117
Sólidos Totais (mg L <sup>-1</sup> )	8.485

DQO – Demanda Química por Oxigênio; Valores representam média de três amostras de vinhaça.

**Anexo D.** Linha do tempo das áreas estudadas indicando a mudança de uso da terra de áreas de cerrado que foram convertidas em pastagem, depois em cultivo da cana-de-açúcar em sistema convencional e orgânico.

Áreas	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Org.0	Pastagem				PCV	Cana convencional				RCV	Cana orgânica			
Org.2	Pastagem			PCV	Cana convencional				RCV	PC	Cana orgânica			
Org.2Q	Pastagem			PCV	Cana convencional				RCV	PC	Cana orgânica			
Org.6	Pastagem				PCV	PC	Cana convencional				RCV	Cana orgânica		
Org.10	Pastagem	PCV	PC	Cana convencional			RCV	Cana orgânica				RCV		
Org.10SR	Pastagem	PCV	PC	Cana orgânica										

PCV – Plantio do canavial; RCV – Reforma do canavial; PC – Período de conversão entre o sistema de cultivo convencional para o sistema de cultivo orgânico da cana-de-açúcar; Org.0 - área cultivada em sistema convencional, representando o início do sistema de cultivo orgânico; Org.2 – área cultivada há dois anos no sistema orgânico; Org.2Q – área cultivada há dois anos no sistema orgânico com uma queima acidental; Org.6 – área cultivada há seis anos no sistema orgânico; Org.10 – área cultivada há dez anos no sistema orgânico; Org.10SR – área cultivada no sistema orgânico há dez anos e sem reforma do canavial durante esse período.

Pastagem
  Cana convencional
  Cana orgânica

**Anexo E.** Histórico das principais operações realizadas nas áreas estudadas durante o cultivo da cana-de-açúcar.

Áreas	Principais operações realizadas durante o cultivo da cultura
Org.0	<p>I. 2001 – Plantio do canavial: calagem: aplicação de 1,5 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico com PRNT de 85%, sendo incorporado logo após a aplicação com grade aradora; A fosfatagem foi efetuada logo após a calagem. A fonte de fósforo utilizada foi o termofosfato magnesiano, na dose de 1000 kg ha<sup>-1</sup> do produto comercial, o qual adicionou ao solo 170 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 200 kg ha<sup>-1</sup> de cálcio, 70 kg ha<sup>-1</sup> de magnésio, 40 kg ha<sup>-1</sup> de enxofre, e 90 kg ha<sup>-1</sup> de silício. Após a aplicação o produto foi incorporado ao solo com grade aradora. Após a aplicação do fósforo o solo foi cultivado com crotalária por 60 dias, a qual foi tombada superficialmente com auxílio de uma grade. Após a colheita da crotalária promoveu-se a sulcação e o plantio da cana-de-açúcar. Foram aplicados 400 kg ha<sup>-1</sup> de 04-28-20 + 0,4 % de Zn no fundo do sulco de plantio.</p> <p>II. Em 2002, 2003, 2004 e 2005, 2007, 2008, 2009 a adubação das soqueiras consistiu da aplicação da fórmula 18-00-27 na linha de cultivo.</p> <p>III. 2006 – Reforma do canavial. Idem procedimento I.</p> <p>IV. Em 2010, ano da amostragem do solo, a adubação da soqueira consistiu da aplicação de 4,5 t ha<sup>-1</sup> de cama-de-frango. No Anexo B está descrito a composição química da cama-de-frango.</p>
Org.2	<p>V. 2000 – Plantio do canavial. Idem procedimento I.</p> <p>VI. Entre 2001 e 2005 a adubação das soqueiras consistiu da aplicação da fórmula 18-00-27 na linha de cultivo.</p> <p>VII. 2006 – Reforma do canavial. Calagem: aplicação de 1,5 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico com PRNT de 85%, sendo incorporado logo após a aplicação com grade aradora; Fosfatagem: aplicação de 1000 kg ha<sup>-1</sup> de Fosfato Natural de Itafós. O fosfato foi aplicado antes do plantio, a lanço em área total e incorporado com grade aradora. Após a aplicação do fósforo o solo foi cultivado com crotalária por 60 dias, a qual foi tombada superficialmente com auxílio de uma grade. Após a colheita da crotalária promoveu-se a sulcação e o plantio da cana-de-açúcar. Foram aplicados 30 t ha<sup>-1</sup> de torta de filtro no sulco de plantio. A composição química da torta de filtro consta no Anexo F.</p> <p>VIII. Entre 2007 e 2010 a adubação da soqueira consistiu da aplicação de 8 de composto orgânico de torta de filtro e cinzas e, da aplicação de 600 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de vinhaça. Composição química da vinhaça está descrita no Anexo C.</p>
Org.2Q	IX. Idem aos procedimentos realizados na área Org.2.

Continua...

**Anexo E.** Continuação.

Áreas	Principais operações realizadas durante o cultivo da cultura
Org.6	X. 2002 – Plantio do canavial. Idem ao procedimento I. XI. Entre 2003 e 2007 a adubação da soqueira. Idem ao procedimento VIII. XII. 2008 – Reforma de canavial. Idem ao procedimento VII. XIII. 2009 e 2010 – Adubação da soqueira: Idem ao procedimento VIII.
Org.10	XIV. 1998 – Plantio do canavial. Idem ao procedimento I. XV. Entre 1999 e 2002 – Adubação da soqueira. Idem ao procedimento VIII. XVI. Em 2003 e 2009 – Reforma do canavial. Idem ao procedimento VII. XVII. Entre 2004 e 2007 e no ano de 2010, a adubação da soqueira seguiu os mesmos procedimentos do item VIII.
Org.10SR	XVIII. 1998 – Plantio do canavial. Idem ao procedimento I. XIX. Entre 1998 e 2010 a adubação da soqueira seguiu os mesmos procedimentos do item VIII.

Org.0 - área cultivada em sistema convencional, representando o início do sistema de cultivo orgânico; Org.2 – área cultivada há dois anos no sistema orgânico; Org.2Q – área cultivada há dois anos no sistema orgânico com uma queima acidental; Org.6 – área cultivada há seis anos no sistema orgânico; Org.10 – área cultivada há dez anos no sistema orgânico; Org.10SR – área cultivada no sistema orgânico há dez anos e sem reforma do canavial durante esse período.

**Anexo F.** Análise da composição química da matéria seca de torta de filtro. Fonte: Oliveira, 2012.

N total	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
-----g kg <sup>-1</sup> -----					-----mg kg <sup>-1</sup> -----					
9,0	9,4	1,4	34,1	9,8	6,6	8,0	22,6	5.426,0	785,0	110,0

OLIVEIRA, L. **Fosfatos reativo e solúvel associado a torta de filtro na adubação da cana planta**. 2012. 54 f. (Mestre)–Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação - Mestrado em Agronomia, Universidade do Oeste Paulista, Presidente Prudente - SP, 2012.

**Anexo G.** Teores de carbono (C), nitrogênio (N) e densidade do solo (Ds) na área de Cerrado Nativo.

Profundidade (cm)	g C kg <sup>-1</sup> de solo	g N kg <sup>-1</sup> de solo	Ds em g cm <sup>-3</sup>
0-5	37,93	2,60	1,07
0-10	26,77	1,97	1,10
0-20	18,97	1,33	1,31
0-30	14,77	1,03	1,30
0-40	11,80	0,83	1,34
0-60	7,97	0,57	1,24
0-80	6,27	0,47	1,14
0-100	6,00	0,50	1,14