

LETÍCIA BARBARESCO VITORINO

**MICRONUTRIENTES E METAIS PESADOS NO SOLO E NA CANA-DE-
AÇÚCAR FERTILIZADA COM DEJETOS ORGÂNICOS E ADUBO MINERAL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de
Uberlândia como parte das exigências do Programa de
Pós-Graduação em Agronomia - Mestrado, área de
concentração em Solos, para a obtenção do título de
“Mestre”.

Orientadora
Professora Dr^a. Regina Maria Quintão Lana

**UBERLÂNDIA
MINAS GERAIS - BRASIL
2009**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

V845m Vitorino, Letícia Barbaresco, 1984-
Micronutrientes e metais pesados no solo e na cana-de-açúcar fertilizada com dejetos orgânicos e adubo mineral / Letícia Barbaresco Vitorino. - 2009.
69 f. : il.

Orientadora: Regina Maria Quintão Lana.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Agronomia.

Inclui bibliografia.

1. Cana-de-açúcar - Adubação - Teses. 2. Cana-de-açúcar - Nutrição - Teses. 3. Micronutrientes - Teses. I. Lana, Regina Maria Quintão. II. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. III. Título.

CDU: 633.61:631.81

This document was created with Win2PDF available at <http://www.win2pdf.com>.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.
This page will not be added after purchasing Win2PDF.

LETÍCIA BARBARESCO VITORINO

**MICRONUTRIENTES E METAIS PESADOS NO SOLO E NA CANA-DE-
AÇÚCAR FERTILIZADA COM DEJETOS ORGÂNICOS E ADUBO MINERAL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de
Uberlândia como parte das exigências do Programa de
Pós-Graduação em Agronomia - Mestrado, área de
concentração em Solos, para a obtenção do título de
“Mestre”.

APROVADA em 04 de setembro de 2009.

Prof. Dr. Beno Wendling

UFU

Prof. Dr. Elias Nascentes Borges

UFU

Prof. Dr^a Adriane de Andrade Silva

PESQUISADORA

Prof. Dr^a. Regina Maria Quintão Lana
ICIAG-UFU
(Orientadora)

**UBERLÂNDIA
MINAS GERAIS - BRASIL
2009**

*A todos aqueles que em qualquer momento
se colocaram disponíveis,
para que hoje, juntos e felizes, pudéssemos
participar de novas conquistas, nossa gratidão.
A nossa amizade àqueles que nos quiseram bem.
O nosso perdão àqueles que por motivo
alheio a nossa vontade,
não nos compreenderam.
As nossas desculpas se houveram momentos
que não nos fora possível mudar.
A nossa compreensão pela coragem que
tivemos para mudar aqueles que pudemos.
Nossos agradecimentos àqueles que confiaram
na honestidade do nosso trabalho.
Tentamos fazer o melhor.
Obrigada!*

(Madre Tereza de Calcutá)

*Aos meus pais, Adalcides e Marluce, pelo amor,
incentivo, apoio e compreensão durante toda a minha vida;
A meu irmão Vinícius, que apesar da distância está sempre no meu coração;
A minha querida amiga Daniela Freitas Rezende que me deu muita força pra concluir o
mestrado ...*

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

A Deus, primeiramente, por ter me dado a vida e ter guiado e protegido todo o meu percurso.

Aos meus queridos pais Adelcides Vitorino Ribeiro e Marluce Barbaresco Vitorino pelo amor, carinho, incentivo e confiança.

Ao meu irmão Vinícius Barbaresco Vitorino agradeço pelo apoio. Aos meus familiares a minha gratidão.

Em especial às amigas, Daniela Freitas Rezende, Letícia Magalhães Teixeira e Priscila Monteiro Sousa, pela amizade dedicada, atenção e companheirismo durante todo o curso.

À Universidade Federal de Uberlândia, pela oportunidade e pelo suporte para realização do curso.

À professora Dr^a. Regina Maria Quintão Lana orientadora, agradeço do fundo do coração pela dedicação, paciência e amizade.

Aos amigos que construí durante este curso, em especial ao aluno de doutorado Luís Augusto Domingues Silva, pois estes sempre estarão guardados na minha memória e no meu coração.

Ao professor Dr. Gilberto Fernandes Corrêa e sua esposa Fátima, o meu muito obrigado pelo carinho, atenção, paciência e amizade durante os momentos mais difíceis da minha vida.

Ao professor Dr. Ednaldo Carvalho Guimarães, pela importante colaboração e dedicação na análise dos dados deste trabalho.

À Adriane de Andrade Silva pela disponibilidade de me socorrer nas interpretações estatísticas do trabalho.

Aos professores Dr. Beno Wendling, Dr. Elias Nascentes Borges e Dr^a. Adriane de Andrade Silva, pela disponibilidade em participar da banca examinadora deste trabalho.

Em memória a Eduardo Borba pela grande contribuição na instalação do trabalho e parceria durante a execução do projeto a campo a qual foi interrompida precocemente.

Aos professores do curso de Pós-graduação em Agronomia da UFU pelos conhecimentos transmitidos. Aos técnicos de laboratório de análises de solo, Manoel, Eduardo, Marinho, Gilda e Andréia pela ajuda e paciência durante a minha permanência no laboratório. E também aos técnicos do Lamas, Lafer, Lasem, o meu muito obrigada.

Obrigada também a Mestre Juliana do Nascimento Gomides e ao Dr. Elias Nascentes Borges pela contribuição no trabalho.

A todos os estagiários do Labas e do Lamas que me ajudaram para que esse trabalho pudesse ser realizado, e não poderia esquecer, em especial, ao engenheiro agrônomo Paulo Gonçalves Rabelo que contribuiu muito nas coletas de campo e em laboratório, este foi muito importante pois, além de me ajudar, ensinou-me com sua experiência de campo.

Muito obrigada a todos que acreditaram em mim e aos que não acreditaram, pois estes principalmente me deram mais força para lutar e provar que sou capaz.

Enfim, a todos que me ajudaram e contribuíram para minha formação, direta ou indiretamente.

MUITO OBRIGADA! MUITO OBRIGADA!

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	i
LISTA DE FIGURAS	iii
RESUMO	iv
ABSTRACT	v
1 INTRODUÇÃO.....	01
2 REFERENCIAL TEÓRICO	03
2.1 A cultura da cana-de-açúcar	03
2.1.1 Descrição da planta	03
2.1.2 Clima e Solo	04
2.1.3 Exigências nutricionais	05
2.2 Micronutrientes	06
2.2.1 Cobre	08
2.2.2 Ferro	09
2.2.3 Manganês	10
2.2.4 Zinco	11
2.3 Metais pesados	12
2.3.1 Chumbo	15
2.3.2 Cádmio	15
2.3.3 Níquel e Cromo	16
2.4 Resíduos orgânicos	16
3 MATERIAL E MÉTODOS	21
3.1 Localização da área experimental	21
3.2 Clima da Região	21
3.3 Caracterização físico-química do solo na área experimental	22
3.4 Caracterização do resíduo utilizado	23
3.5 Tratamentos e delineamento estatístico	27
3.6 Coleta de amostras e análises realizadas	28
3.7 Análises químicas laboratoriais	29
3.7.1 Análises foliares e colmos	29
3.7.2 Análises de solo	30
3.8 Análises estatísticas	30
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
4.1 Análises foliares	31
4.1.1 Micronutrientes	31
4.1.2 Metais pesados	35
4.2 Análises de colmo	38
4.2.1 Micronutrientes	38
4.2.2 Metais pesados	41
4.3 Análises de Solo	45
4.3.1 Micronutrientes	45
4.3.2 Metais pesados	53
5 CONCLUSÕES	60
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61
ANEXO	68

LISTA DE TABELAS

TABELA		Página
1	Classes de interpretação da disponibilidade para os micronutrientes	07
2	Extração e Exportação de micronutrientes para a produção de 100 t de colmos	07
3	Faixas de teores adequados de micronutrientes na cana-de-açúcar	08
4	Faixas de concentrações típicas de metais pesados em fertilizantes fosfatados e calcários	13
5	Concentração crítica de alguns metais pesados em plantas e na dieta de animais	14
6	Caracterização física do solo da área experimental, amostrado nas profundidades de 0 – 25 a 25 – 50, em abril de 2007	22
7	Caracterização química do solo da área experimental, amostrado nas profundidades de 0 – 25 a 25 – 50, em fevereiro de 2007	23
8	Caracterização química e físico-química da cama de frango utilizada no experimento em Uberlândia, MG	24
9	Caracterização química e físico-química da cama de peru utilizada no experimento em Uberlândia, MG	25
10	Caracterização química e físico-química do esterco bovino utilizada no experimento em Uberlândia, MG	26
11	Caracterização química e físico-química do fertilizante orgânico Valoriza – S ¹ (compostado) utilizada no experimento em Uberlândia, MG	27
12	Teores foliares de cobre, ferro, manganês e zinco em mg kg ⁻¹ , na cultura da cana-de-açúcar submetida a diferentes adubos com e sem aplicação de gesso agrícola	33

(Continua...)

(Continua...)

13	Teores foliares de níquel, cromo, cádmio e chumbo em mg kg^{-1} , na cultura da cana-de-açúcar submetida a diferentes adubos com e sem aplicação de gesso agrícola	37
14	Teores de cobre, ferro, manganês e zinco em mg kg^{-1} no colmo, na cultura da cana-de-açúcar submetida a diferentes adubos com e sem aplicação de gesso agrícola	40
15	Teores de níquel, cromo, cádmio e chumbo em mg kg^{-1} no colmo, na cultura da cana-de-açúcar submetida a diferentes adubos com e sem aplicação de gesso agrícola	44
16	Teores de cobre (mg dm^{-3}) no solo submetido a diferentes adubos com e sem aplicação de gesso agrícola nas profundidades de 0-15, 15-30, 30-45 e 45-60 cm	46
17	Teores de ferro (mg dm^{-3}) no solo submetido a diferentes adubos com e sem aplicação de gesso agrícola nas profundidades de 0-15, 15-30, 30-45 e 45-60 cm	48
18	Teores de manganês (mg dm^{-3}) no solo submetido a diferentes adubos com e sem aplicação de gesso agrícola nas profundidades de 0-15, 15-30, 30-45 e 45-60 cm	50
19	Teores de zinco (mg dm^{-3}) no solo submetido a diferentes adubos com e sem aplicação de gesso agrícola nas profundidades de 0-15, 15-30, 30-45 e 45-60 cm	52
20	Teores de níquel (mg dm^{-3}) no solo submetido a diferentes adubos com e sem aplicação de gesso agrícola nas profundidades de 0-15, 15-30, 30-45 e 45-60 cm	55
21	Teores de chumbo (mg dm^{-3}) no solo submetido a diferentes adubos com e sem aplicação de gesso agrícola nas profundidades de 0-15, 15-30, 30-45 e 45-60 cm	57

LISTA DE FIGURAS

FIGURA		Página
1	Temperatura média mensal no período de janeiro a dezembro nos anos de 2007 e 2008 para a região de Uberlândia, MG	21
2	Distribuição da precipitação pluviométrica média mensal no período de janeiro a dezembro nos anos de 2007 e 2008 para a região de Uberlândia, MG	22

RESUMO

VITORINO, Letícia Barbaresco Vitorino. **Micronutrientes e metais pesados no solo e na cana-de-açúcar fertilizada com dejetos orgânicos e adubo mineral.** 2009. 69 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/ Solos) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.¹

A cultura da cana-de-açúcar possibilita a produção de fontes alternativas de energia. Com o aumento do preço dos fertilizantes minerais, está havendo interesse pelo aproveitamento mais racional de resíduos agropecuários e mesmo dos urbanos e industriais. A utilização inadequado de resíduos orgânicos pode levar a adição de metais pesados no solo e na planta. Assim, esta pesquisa teve como objetivo avaliar a movimentação de micronutrientes e metais pesados no solo e na cultura de cana-de-açúcar na região de Uberlândia- MG, quando fertilizada com adubo químico e diferentes dejetos orgânicos, em quatro profundidades e duas épocas de avaliação da cana. A área da pesquisa localizou-se na Fazenda da Cia Mineira de Açúcar e Álcool do Triângulo Mineiro Ltda, município de Uberlândia-MG. O delineamento experimental foi em blocos casualizados (DBC), em esquema fatorial de parcelas subdivididas no espaço, em 5x2x4, correspondendo a cinco tipos de adubo: cama de frango (CF), cama de peru (CP), adubo compostado (AC), esterco bovino (EB) e a testemunha, constituída por fertilizante mineral para a cultura, o MAP, todos combinados com a presença e/ou a ausência de gesso agrícola, previamente misturados ao adubo e aplicados no sulco de plantio da cana-de-açúcar; analisado em quatro profundidades e em duas épocas distintas do ano, período das chuvas e seco. Amostras de solo retiradas em fevereiro e em julho, nas profundidades de 0-15, 15-30, 30-45 e 45-60 cm, foram avaliadas o teor de micronutrientes e metais pesados. Também foram avaliados esses elementos na folha e no colmo da cana-de-açúcar. As análises químicas do solo foram realizadas conforme metodologia descrita pela Embrapa (1997) e as análises foliares e de colmo conforme Bataglia (1983). Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias dos fatores comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 0,05 de significância. Os menores teores de Cu foram observados na época um (seca), ao contrário do Fe que foi na época dois (chuvosa). Os altos teores de Fe nas folhas podem ser explicados pelo alto teor de Fe no solo. O valor médio de Mn na folha é de 159 mg kg⁻¹ e encontra-se dentro da faixa de suficiência pela cultura. Os teores de Ni, Cd e Cr não houve diferenças entre épocas em todos os tratamentos. Os teores dos micronutrientes e dos metais pesados avaliados no colmo, encontraram-se menores na época da seca. Os teores foliares dos micronutrientes apresentaram-se abaixo da faixa considerável ideal para cana-de-açúcar, com exceção do Fe. Em relação ao colmo, os teores de micronutrientes apresentaram concentração dentro da faixa ideal para a cultura, e os metais pesados não ultrapassaram o limite crítico. A concentração dos micronutrientes no solo esteve abaixo da faixa recomendável, exceto o Zn. Não foram detectados Cd e Cr no solo, e Ni e Pb encontram-se abaixo do limite crítico de contaminação. O gesso não influenciou nos teores de micronutrientes e metais pesados no solo e na parte aérea da planta.

Palavras-chave: *Saccharum officinarum* (L.), resíduos orgânicos, substâncias tóxicas, elementos essenciais.

¹Orientadora: Regina Maria Quintão Lana – UFU.

ABSTRACT

VITORINO, LETÍCIA BARBARESCO. **Micronutrients and heavy metals in the soil and in sugarcane fertilized with organic waste and mineral fertilizer.** 2009. 69 f. Dissertation (Master's Degree in Agriculture/Soils) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.¹

Sugarcane culture allows the production of alternative energy sources. Due to increasing mineral fertilizer prices, renewed interest for the rational use of agricultural residues na even urban and industrial ones is observed. Inadequate use of organic residues can add heavy metals to soils and plants. Thus, this study evaluated the movement of micronutrients and heavy metals in the soil and in sugarcane in the region of Uberlândia-MG, after fertilization with chemical fertilizer and organic waste, at different depths and cane growth periods. The study area as the farm of Cia Mineira de Açúcar e Álcool do Triângulo Mineiro Ltda, county of Uberlândia–MG. The experimental design was randomized blocks, in a 5x2x4 factorial, with split plots in time, corresponding to five fertilizer types: chicken bedding (CF), turkey bedding (CP), composted manure (AC), cattle manure (EB) and the control, consisting of the mineral fertilizer for the crop, monoammonium phosphate (MAP), all combined with the presence or lack of agricultural gypsum, previously mixed to the fertilizer and applied in the sugarcane planting furrow; analyzed at four depths and at two distinct times of the year, rainy and dry seasons. Soil samples were collected on February and July, at the depths 0-15, 15-30, 30-45 and 45-60 cm, and the concentration of micronutrients and heavy metals was evaluated. Also, these elements were evaluated in sugarcane stalk and leaves. The soil chemical analyses were done as described by Embrapa (1997) while leaf and stalk ones followed Bataglia's (1983). The results obtained were submitted to analysis of variance and the averages of the factors compared by the Tukey test at 0.05 significance. The smallest levels of Cu were observed in time 2 (dry season), opposite to Fe which was in time 1 (rainy season). The high Fe levels in the leaves can be explained by the high Fe contents in the soil. The average Mn value in the leaves is 159 mg kg⁻¹ and is within the adequate range for the crop. The leaf contents of Ni, Cd and Cr did not present differences between the sampling times for all treatments. The micronutrient contents and those of heavy metals in the stalks were smaller in time 2. Micronutrient leaf contents were below the adequate range for sugarcane, except for Fe. In contrast, micronutrient stalk contents were in the ideal range for the crop, while the heavy metals did not exceed the critical limit. The micronutrient concentrations in the soil were below the adequate range, except for Zn. No Cd and Cr were detected in the soil, while Ni and Pb were below the critical contamination limit. Agricultural gypsum did not affect the levels of micronutrients or heavy metals in the soil or in the sugarcane.

Keywords: *Saccharum officinarum* (L.), organic residues, toxic substances, essential elements.

¹ Supervisor: Regina Maria Quintão Lana – UFU.

1 INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar ocupa posição de destaque na economia do Brasil, sendo utilizada na produção de açúcar e de álcool.

A área cultivada com cana no Brasil situa-se próximo a 6,5 milhões de hectares (OLIVEIRA et al., 2007). A cana-de-açúcar tem um amplo leque de possibilidades de utilização, além da produção de açúcar e álcool, tem sido muito utilizada por pequenos e médios produtores rurais para a fabricação de cachaça, rapadura e açúcar mascavo, bem como para a alimentação de ruminantes.

A maior parte da expansão desta cultura está ocorrendo em solos de baixa fertilidade natural, caracterizados pela elevada acidez e pelos baixos teores dos nutrientes, dentre os quais os micronutrientes. Neste contexto, a aplicação de micronutrientes na cana tem uma grande importância para a obtenção de altas produtividades. Além disso, com o cultivo sucessivo dos solos e a não reposição dos micronutrientes em quantidades adequadas proporciona redução nos seus teores disponíveis no solo às plantas comprometendo a produtividade e lucratividade da cultura.

As deficiências de cobre, ferro, manganês e zinco são generalizadas nos solos de textura média a arenosa localizados no Estado de São Paulo e na grande maioria dos solos dos Estados de Goiás, Mato Grosso, Tocantins, Maranhão, Oeste da Bahia, e Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, no estado de Minas Gerais.

A reação dos micronutrientes com o solo é informação básica para a compreensão de como eles podem tornar-se disponíveis para as plantas, contribuindo para a nutrição ou resultando em toxicidade.

O acúmulo de metais pesados pela planta depende da própria planta e de fatores do solo como pH, teor de matéria orgânica, concentração do metal e fatores relativos ao manejo e ambientais, tais como umidade, uso de corretivos e fertilizantes, temperatura, etc.

Outro fator importante a ser considerado na adição de metais pesados no solo e na planta é a utilização inadequada de dejetos orgânicos. Antigamente os resíduos das atividades do homem (dejetos animais e agrícolas) tinham uma composição passível de serem reciclados naturalmente, sem danos ao meio ambiente e à saúde humana. Com o crescimento populacional e a formação de grandes cidades, surge a necessidade da produção alimentícia em grande escala e o aparecimento das mais diversificadas indústrias. A partir de então, tem-se um aumento exorbitante na produção de resíduos, bem como alterações na composição destes, tornando-os um complexo de produtos orgânicos e

inorgânicos, considerados danosos ao meio ambiente. Os efluentes industriais, na maioria dos casos, contêm metais pesados (Cd, Cr, Pb, Ni, Cu e outros) e compostos orgânicos (incluindo pesticidas) que podem entrar gradualmente e acumular-se na cadeia trófica animal com graves consequências para a saúde humana. No entanto, estes inconvenientes podem, muitas vezes, serem atenuados pelo emprego de tratamentos específicos.

Com o aumento do preço dos fertilizantes minerais, cresce o interesse pelo aproveitamento mais racional de resíduos agropecuários e mesmo dos urbanos e industriais. Estes resíduos podem ser considerados fertilizantes orgânicos e são obtidos a baixo custo podendo representar uma alternativa ao uso de fertilizantes minerais e quando associados, têm produzido ótimas safras. A utilização de dejetos orgânicos, devido a suas características físicas, químicas e biológicas, é possível transformá-los da condição de poluidores em produtos condicionadores dos aspectos físicos do solo e fornecedores de nutrientes às plantas, com redução do uso de adubos minerais, contribuindo com a sustentabilidade ambiental.

Esta pesquisa teve como objetivo avaliar a dinâmica de micronutrientes e metais pesados no solo e na cultura de cana-de-açúcar na região de Uberlândia- MG, quando fertilizado com adubo mineral e dejetos orgânicos, em diferentes profundidades e épocas de crescimento da cana.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1- A cultura da cana-de-açúcar

O Brasil, nos séculos XVI e XVII, teve no açúcar da cana a sua principal riqueza, quando a lavoura, a indústria e o comércio do açúcar alcançaram importantes avanços. Já no século XIX e XX a agroindústria teve altos e baixos, devido a inúmeros problemas e/ou com a concorrência de outras culturas ou mercados (FERNANDES, 1984).

A cultura da cana-de-açúcar assume posição de destaque no setor agroindustrial do Brasil por se tratar de uma cultura que, além de um bom retorno econômico, possibilita a produção de fontes alternativas de energia, portanto esta cultura vem se expandindo no nosso país, sendo hoje o maior produtor de cana do mundo (SEGATO et al., 2006).

A cadeia de produção da cana-de-açúcar movimentou em 1999/00, no Brasil, um volume de recursos de R\$ 12,7 bilhões. Na safra 2000/01, São Paulo produziu 148 milhões de toneladas de matéria-prima, 9,6 milhões de toneladas de açúcar e 6,4 milhões de m³ de álcool (CENTEC, 2004).

O destino da produção de açúcar está distribuído em 65% para consumo direto e 35% para consumo industrial, sendo este último dividido entre refrigerante (40%), chocolates, balas e biscoitos (31,5%), alimentos (10%), sorvetes (5%), panificação (5%), vinhos (3%), outros (4%) e frutas (1,5%). Já o álcool, destinado para combustível puro e mistura da gasolina, consome 90% da produção, o restante é destinado para a indústria química, farmacêutica, de bebidas, exportação e outros fins (SEGATO et al., 2006).

2.1.1. Descrição da planta

Em plantios comerciais, a cana-de-açúcar é propagada assexuadamente através de toletes de duas ou três gemas. Cada gema desenvolve-se em colmo primário, que por sua vez dá origem a colmos secundários, dos quais brotam colmos terciários, e assim sucessivamente. Esse processo é denominado perfilhamento. O perfilhamento ocorre na parte subterrânea, e, no caso da cana, esse processo é limitado, levando a planta a uma touceira, embora existam algumas exceções, como é o caso de algumas variedades da espécie *Saccharum spontaneum*, cujo perfilhamento, como na maioria das gramíneas, é um processo constante, ilimitado (CASAGRANDE, 1991).

O perfilhamento da cana-de-açúcar é bastante afetado pelos seguintes fatores: luz, temperatura, umidade, nutrientes, espaçamento entre linhas, profundidade de plantio, acamamento, doenças, pragas, plantas daninhas, variedades, época de plantio, poda (IAA/PLANALSUCAR, 1983).

O colmo é composto de nós e entrenós (internódios). Em cada nó há uma gema que é disposta alternadamente em torno do colmo. As gemas são protegidas pela bainha da folha, que é firmemente presa ao internódio. As folhas mais velhas, ao caírem, deixam uma cicatriz em torno do colmo conhecida cicatriz foliar. Logo acima dessa cicatriz, na região de inserção da gema, situa-se a chamada zona radicular, que é uma faixa do colmo que contém os primórdios radiculares. Abaixo dessa cicatriz encontra-se uma zona de concentração de cera denominada zona cerosa (FERNANDES, 1984).

A forma e a aparência do colmo mudam muito de acordo com a variedade. Há uma grande diversidade de cor, comprimento, diâmetro e forma dos internódios; tamanho e forma das gemas; forma, tamanho e coloração das folhas. Variações que, em conjunto, permitem reconhecer e identificar as variedades (IAA/PLANALSUCAR, 1983).

As folhas da cana são alternadas, opostas e presas aos nós dos colmos. Os bordos da lâmina são geralmente serrilhados e as bainhas frequentemente providas de pelos finos, o que, em algumas variedades, torna o manejo desagradável. (FERNANDES, 1984).

A cana-de-açúcar, sob determinadas condições de fotoperiodismo, temperatura e umidade, floresce emitindo uma panícula ou flecha. Embora seja uma característica desejável sob o ponto de vista dos melhoristas, trata-se de um fenômeno indesejável em áreas comerciais, uma vez que provoca perdas de sacarose nos colmos. Artificialmente o florescimento pode ser controlado através do manejo de água e de nutrientes, bem como através de variações na época de plantio e corte (CASAGRANDE, 1991). O fruto é seco do tipo cariopse e com semente de endosperma abundante (PARANHOS, 1987).

A cana possui características de planta perene; após o corte da cana-planta, obtém-se a primeira soca, que se forma a partir da brotação do caule subterrâneo. Posteriormente, obtém-se a segunda soca ou ressoça e assim por diante (CENTEC, 2004).

2.1.2. Clima e Solo

Atualmente, a cana-de-açúcar é cultivada em todas as regiões tropicais e subtropicais, onde o clima apresenta duas estações distintas, uma quente e outra úmida, para proporcionar a germinação, perfilhamento e desenvolvimento vegetativo, seguido de

outra fria e seca, para promover a maturação e conseqüente acúmulo de sacarose nos colmos (SEGATO et al., 2006).

A cana-de-açúcar desenvolve-se em todos os estados do Brasil. As épocas de plantio variam de uma região para outra e de acordo com o manejo. Solos profundos, pesados, bem estruturados, férteis e com boa capacidade de retenção são os ideais para a cana-de-açúcar, mas que, devido à sua rusticidade, desenvolve-se satisfatoriamente também em solos arenosos e menos férteis, como os de cerrado. Solos rasos, isto é, com camada impermeável superficial ou mal drenada, não devem ser indicados para a cana-de-açúcar (FERNANDES, 1984).

Tendo a cana-de-açúcar um sistema radicular profundo, um ciclo vegetativo econômico de quatro anos e meio ou mais e uma intensa mecanização que se processa durante esse longo tempo de permanência da cultura no terreno, o preparo do solo deve ser profundo e esmerado. Convém salientar que as unidades sucroalcooleiras não seguem uma linha uniforme de preparo do solo, tendo cada uma seu sistema próprio, variação essa que ocorre em função do tipo de solo predominante e da disponibilidade de máquinas e implementos (FERNANDES, 1984).

2.1.3. Exigências nutricionais

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 natural por hectare, cerca de 100 toneladas de colmos industrializáveis, o acúmulo de nutrientes na parte aérea da planta é da ordem de 150, 40, 180, 90, 50 e 40 kg de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) respectivamente. No caso dos micronutrientes ferro (Fé), manganês (Mn), zinco (Zn), cobre (Cu), e boro (B), os acúmulos na biomassa da parte aérea, também para uma produção de 120 toneladas, são em torno de 8,0; 3,0; 0,6; 0,4; e 0,3 kg, respectivamente (OLIVEIRA et al., 2007).

Deve-se conhecer a capacidade de fornecimento de nutrientes pelo solo, para, se necessário, complementá-la com adubações e, se constatada a presença de elementos em níveis tóxicos, reduzir seus efeitos pela calagem e gessagem. Normalmente, avaliam-se a disponibilidade de nutrientes e a presença de elementos em níveis tóxicos no solo pela análise química da camada arável. É também de grande valia o histórico da área, sobretudo as adubações realizadas e se houve ou não ocorrência de sintomas de deficiência ou de

toxidez nos cultivos anteriores. Usualmente, coletam-se amostras de solo das camadas de 0 a 20 cm de profundidade utilizadas para calcular a adubação e calagem e de 20 a 40 cm para os cálculos de necessidade de gessagem (CENTEC, 2004).

Para a cana de açúcar há a necessidade de considerar duas situações distintas, adubação para cana-planta e para soqueiras, sendo que, em ambas, a quantificação será determinada pela análise do solo.

Para cana-planta, o fertilizante deverá ser aplicado no fundo do sulco de plantio, após a sua abertura, ou por meio de adubadeiras conjugadas aos sulcadores em operação dupla. Para soqueira, a adubação deve ser feita durante os primeiros tratos culturais, em ambos os lados da linha de cana; quando aplicada superficialmente, deve ser bem misturada com a terra ou alocada até a profundidade de 15 cm.

2.2. Micronutrientes

Os micronutrientes têm um papel fundamental no desenvolvimento e na produtividade da cana-de-açúcar por atuarem nos processos enzimáticos das plantas. Durante coletas de dados de ocorrência de deficiências nutricionais é possível observar a presença constante de doenças secundárias, e até raras, nas plantas que podem estar associadas com a “fome oculta” de micronutrientes (FERREIRA; CRUZ, 1991).

Os principais motivos que despertaram o maior interesse pela utilização de fertilizantes contendo micronutrientes no Brasil foram: a) o início da ocupação da região dos cerrados, formada por solos deficientes em micronutrientes, por natureza; b) o aumento da produtividade de inúmeras culturas com maior remoção e exportação de todos os nutrientes; c) a incorporação inadequada de calcário ou a utilização de doses elevadas acelerando o aparecimento de deficiências induzidas; d) o aumento na proporção de produção e utilização de fertilizantes NPK de alta concentração, reduzindo o conteúdo incidental de micronutrientes nesses produtos; e) o aprimoramento da análise de solos e análise foliar como instrumentos de diagnose de deficiências de micronutrientes.

O conhecimento das curvas de absorção dos nutrientes, durante o desenvolvimento da cana-de-açúcar, permite estabelecer as necessidades nutricionais nas diferentes idades, possibilitando dessa forma a aplicação dos fertilizantes nas épocas de maior exigência da cultura. Em grande parte das áreas cultivadas com cana no Brasil tem ocorrido suprimento adequado de micronutrientes pelo solo, dispensando, portanto, o seu uso nas adubações minerais. Entretanto, a implantação de canaviais em áreas menos férteis ou marginais,

associada à adubação com fertilizantes concentrados e ao plantio de variedades de alta produtividade, que cada vez mais aumentam a absorção e exportação de nutrientes, tem causado deficiência de micronutrientes em diversas lavouras de cana-de-açúcar, havendo, nesses casos, a necessidade de fornecer os micronutrientes pela adubação (OLIVEIRA et al., 2007).

Para interpretar a disponibilidade de micronutrientes, mesmo sendo frequente a deficiência de Zn e, ou, de B em várias culturas. Com a finalidade de apresentar a quinta aproximação de interpretação incluem-se classes de fertilidade para Zn, Mn, Fe e Cu, extraídos com Mehlich-1, e para B, extraído com água quente (Tabela 1) (CFSEMG, 1999).

TABELA 1. Classes de interpretação da disponibilidade para os micronutrientes (CFSEMG, 1999)

Micronutrientes	Classificação				
	Muito baixo	Baixo	Médio ^{1/}	Bom	Alto
	-----(mg dm^{-3})-----				
Zinco disponível (Zn) ^{2/}	$\leq 0,4$	0,5 – 0,9	1,0 – 1,5	1,6 – 2,2	$> 2,2$
Manganês disponível (Mn) ^{2/}	≤ 2	3 – 5	6 – 8	9 – 12	> 12
Ferro disponível (Fe) ^{2/}	≤ 8	9 - 18	19 - 30	31 – 45	> 45
Cobre disponível (Cu) ^{2/}	$\leq 0,3$	0,4 – 0,7	0,8 – 1,2	1,3 – 1,8	$> 1,8$
Boro disponível (B) ^{3/}	$\leq 0,15$	0,16 – 0,35	0,36 – 0,6	0,61 – 0,9	$> 0,9$

^{1/} O limite superior desta classe indica o nível crítico. ^{2/} Método Mehlich-1. ^{3/} Método água quente.

As quantidades de micronutrientes extraídas e exportadas pela cultura da cana-de-açúcar estão apresentadas na Tabela 2.

TABELA 2. Extração e exportação de micronutrientes para a produção de 100 t de colmos (ORLANDO FILHO, 1993)

Parte da Planta	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Mo
	----- $\text{g } 100 \text{ t}^{-1}$ -----					
Colmos	149	234	1393	1052	369	1,00
Folhas	86	105	5525	1420	223	
Total	235	339	7318	2470	592	1,00

Existem diversas ferramentas que podem e devem ser utilizadas para a avaliação da disponibilidade dos micronutrientes para a cultura da cana-de-açúcar destacando-se análise de solo, análise foliar, diagnose visual e histórico da área. Existem tabelas regionais de

recomendações de calagem e de adubação para a cana baseadas nos teores dos nutrientes do solo (IAA/PLANALSUCAR, 1983).

Na análise foliar a planta funciona como extratora dos teores disponíveis dos nutrientes do solo e deve ser utilizada para ajustes nas adubações de solo e foliares na cana-de-açúcar. A diagnose foliar e o histórico da área podem ser utilizados como complemento às informações obtidas nas análises de solo e foliar (OLIVEIRA et al., 2007).

Após o encaminhamento das amostras ao laboratório e de posse dos resultados das análises, deve-se proceder à interpretação dos teores de micronutrientes nas folhas. Raij e colaboradores (1996) sugerem as faixas de teores adequados de micronutrientes em cana-de-açúcar apresentados na Tabela 3.

TABELA 3. Faixas de teores adequados de micronutrientes na cana-de-açúcar (RAIJ et al., 1996)

B	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn
-----mg kg ⁻¹ -----					
10-30	6-15	40-250	25-250	0,05-0,2	10-50

O fornecimento de micronutrientes para a cultura da cana pode ser realizado de várias maneiras, dentre elas, as que têm proporcionado os melhores resultados são: cana-planta (tratamento dos toletes e uma adubação foliar complementar) e na cana-soca, a realização de uma adubação foliar no início da brotação com exceção do boro que também deve ser fornecido via herbicida. Além disso, a utilização de bioestimulantes (aminoácidos) no tratamento dos toletes da cana e/ou via foliar na cana-planta e cana-soca tem proporcionado bons resultados (AMORIM; BRANDÃO, 2006).

2.2.1. Cobre

O cobre é absorvido da solução do solo como Cu²⁺; existem controvérsias se o mesmo também é absorvido na forma de quelado. Considera-se o cobre como um elemento pouco móvel no floema, portanto, os sintomas de deficiência aparecem primeiro nas folhas mais novas. Mas, a redistribuição é dependente do nível de cobre no tecido, ou seja, não se dá quando há deficiência, podendo ocorrer quando o teor é elevado. O Cu pode ser translocado da folha e dirigir-se para os frutos. A principal função do cobre no

metabolismo vegetal é como ativador ou componente de enzimas que participam de reações de oxi-redução (TAIZ; ZEIGER; SANTARÉM, 2004).

Quando há deficiência do cobre, as plantas apresentam como sintomas mais característicos o encurtamento dos entrenós, folhas verticiladas, formando o sintoma de leque e a presença de manchas verdes na folha. As folhas ficam finas e flácidas, tendendo a tombar para um só lado se houver vento predominante. Os colmos ficam flácidos, com pouca fibra perceptível ao corte. Segundo Ferreira e Cruz (1991), normalmente, ocorre um ataque exagerado de antraquinose maculada, causada pelo fungo *Elsinoe sacchari*. Este fato auxilia o diagnóstico de “fome oculta”, pois a ocorrência exagerada da doença recomenda o exame mais detalhado dos sintomas e a análise da folha e do solo da área suspeita.

Alguns fatores afetam a disponibilidade deste micronutriente, como: a) maior disponibilidade na faixa de pH 5,0 a 6,5; b) solos orgânicos são os mais prováveis de apresentarem deficiência de cobre. Tais solos, geralmente, apresentam abundância desse micronutriente, mas formam complexos tão estáveis com a matéria orgânica que somente pequenas quantidades são disponíveis para a cultura; c) solos arenosos com baixos teores de matéria orgânica podem tornar-se deficientes em cobre em função de perdas por lixiviação; d) solos argilosos apresentam menores probabilidades de apresentarem deficiência desse elemento; e) presença excessiva de íons metálicos, como ferro, manganês e alumínio, reduz a disponibilidade de cobre para as plantas. Esse efeito é independente do tipo de solo (LOPES, 1999).

2.2.2. Ferro

O conteúdo total de ferro nos solos varia de 1 a 17,5%, o que o torna macroelemento, no solo, apesar de ser micronutriente para as plantas. O ferro do solo origina-se da decomposição de minerais ferro-magnesianos, das piritas e de outros minerais primários. É absorvido pelas plantas nas formas iônicas de Fe^{2+} e Fe^{3+} , sendo que o Fe^{2+} é a preferida. As funções desse mineral são extremamente importantes, pois participa do transporte de elétrons nos processos de fotossíntese, de fosforilação oxidativa (respiração) e fixação biológica de nitrogênio atmosférico. O Fe é pouco redistribuído na planta, portanto os sintomas de carência manifestam-se inicialmente nas folhas mais novas. Pode-se encontrar teor de Fe-total alto em folhas deficientes do elemento. Dados deste tipo

sugerem que parte do nutriente esteja em forma inativa, como Fe^{3+} ou precipitado pelo fósforo (JOSINO; COUTINHO; PESSOA, 2005).

Por ser pouco móvel na planta, os sintomas aparecem primeiro nas folhas mais novas, as quais amarelecem devido à menor síntese de clorofila, enquanto apenas as nervuras podem ficar verdes durante algum tempo, destacando-se como um reticulado fino (rede verde fina nas nervuras sobre fundo amarelo). Com a evolução, as folhas podem sofrer um branqueamento (FAQUIN, 2005). Pode ocorrer em cana-planta ou soca, com enraizamento superficial, no período em que os brotos estão sendo alimentados pelas raízes da soca ou do colmo-mãe (mudas). No geral, ocorre em reboleiras, em solos arenosos de menor fertilidade, e tende a desaparecer após seis meses de crescimento da planta. As folhas afetadas apresentam clorose internerval que se alastra por toda a extensão da lâmina foliar e atinge até a nervura central. Não se observa decréscimo de alongamento do palmito (FERREIRA; CRUZ, 1991).

Devem ser levadas em conta algumas características dos solos que interferem na eficiência agrônômica deste micronutriente (NOVAIS et al., 2007):

- a maior disponibilidade ocorre na faixa de pH 4,0 a 6,0;
- a deficiência de Fe, na maioria das vezes, é causada por desequilíbrio em relação a outros micronutrientes, tais como: Mn, Cu e Mo;
- outros fatores que podem levar à deficiência de Fe são o excesso de P no solo e na planta, pH elevado, baixas temperaturas e altos teores de bicarbonato.

2.2.3. Manganês

Devido à predominância da acidez nos solos das regiões tropicais e subtropicais, o que favorece a disponibilidade do Mn, é muito freqüente a toxidez do que a deficiência do micronutriente nas plantas. A supercalagem ou calagem superficial (plantio direto) podem induzir a deficiência de Mn (FAQUIN, 2005).

A absorção desse nutriente ocorre na forma de Mn^{2+} . O manganês desempenha papel importante em muitas reações do ciclo de Krebs e, devido à posição central deste na respiração, a carência do elemento repercute em outras sequências metabólicas. Age como ativador das enzimas desidrogenases e descarboxilases na respiração e como forma de ponte entre o ATP e enzimas quinases, transferidoras de grupos. Outras enzimas como ATPase, oxidase do AIA e a enzima málica, também requerem Mn para sua ativação. Exerce ainda uma atuação indireta na síntese de proteínas e na multiplicação celular,

através da ativação da polimerase do RNA. Na fotossíntese, o Mn participa como doador de elétrons para a fotossíntese II, na síntese da clorofila, formação e funcionamento dos cloroplastos (IAA/PLANALSUCAR, 1983).

O manganês é pouco móvel nas plantas e, assim, a deficiência manifesta-se primeiro nas folhas mais novas (RAIJ, 1991). As plantas afetadas apresentam clorose internerval convergente para a nervura central. As áreas cloróticas podem evoluir para estrias necróticas. A clorose tende a atingir apenas parte do limbo foliar, localizando-se no ápice ou na base da folha, e a lâmina foliar tende a ser mais estreita.

Possíveis antagonismos e sinergismos fisiológicos podem interferir na eficiência do micronutriente (LOPES, 1999): a) maior disponibilidade na faixa de pH 5,0 a 6,5; b) solos orgânicos pela formação de complexos muito estáveis entre matéria orgânica e manganês, tendem a apresentar problemas de deficiência; c) a umidade do solo também afeta a disponibilidade de manganês; d) solos arenosos, com baixa CTC e sujeitos a altos índices pluviométricos são os mais propensos a apresentar problemas de deficiência desse micronutriente; e) excesso de cálcio, magnésio e ferro pode, também, causar deficiências de manganês.

2.2.4. Zinco

Nos solos das regiões tropicais uma alta proporção do Zn se encontra em formas adsorvidas na argila e na matéria orgânica. Ao lado do B, o Zn é o micronutriente que mais frequentemente promove deficiências nas culturas nos solos das regiões tropicais. O Zn é absorvido pelas plantas na forma Zn^{2+} . É ainda motivo de controvérsia se o Zn^{2+} é absorvido pelas plantas por processo passivo ou ativo, embora muitos trabalhos atestem que a absorção do elemento é tipicamente metabólica (FAQUIN, 2005).

O zinco potencializa a produção do hormônio de crescimento (auxina), sintetase do triptofano e metabolismo de triptamina. O zinco é constituinte do álcool desidrogenase, desidrogenase glutâmica, anidrase carbônica, etc. Este elemento se concentra nas zonas de crescimento devido à maior concentração auxínica (TAIZ; ZEIGER; SANTARÉM, 2004).

Em cana-de-açúcar, as mudas provenientes e plantadas em solos deficientes em zinco, ao germinarem dão origem a plantas com pequeno alongamento do palmito, com tendência das folhas saírem todas do vértice foliar na mesma altura, formando o sintoma de “leque”. Nos casos graves, as plantas deficientes são visivelmente menores do que aquelas sem deficiência, e as folhas mais velhas apresentam manchas vermelhas na parte inferior e

podem mostrar início de clorose internerval em associação com essas manchas vermelhas (TOKESHI, 1991).

Em plantas com mais de seis meses observa-se ligeiro encurtamento nos entrenós, clorose internerval e amarelecimento mais acentuado da margem para a nervura central, quando junto a ela normalmente a lâmina se mantém verde. Nos níveis de deficiência “oculta” é frequente o aparecimento de um ataque elevado da doença estria parda, causado pelo fungo *Helminthosporium stenospilum*. Pode-se observar redução do crescimento dos internódios e paralisação do crescimento do topo. Formam-se estrias cloróticas na lâmina foliar, convalescendo e formando uma faixa larga de tecido clorótico de cada lado da nervura central, mas não se estendendo à margem da folha, exceto em casos severos de deficiência (FERREIRA; CRUZ, 1991).

Fatores que afetam a disponibilidade do zinco, segundo Novais e colaboradores (2007): a) a maior disponibilidade ocorre na faixa de pH 5,0 a 6,5; b) alguns solos, quando recebem doses de corretivos para elevar o pH acima de 6,0, podem desenvolver sérias deficiências de Zn, principalmente quando arenosos; c) o uso de altas doses de fertilizantes fosfatados, em cultivos de várias espécies de plantas, já mostrou os efeitos da interação antagônica entre o Zn e o P que se complica, ainda mais, em valores de pH próximos à neutralidade.

2.3 – Metais pesados

Os metais pesados podem ser definidos como um grupo de metais, semimetais e não-metais que possuem densidade atômica maior que 5 kg dm^{-3} e que estão associados à poluição ambiental e toxicidade aos seres vivos. Alguns metais pesados, incluindo Cu, Zn, e Mn, são micronutrientes requeridos em ampla variedade de processos fisiológicos; no entanto, podem ser tóxicos em concentrações elevadas. Além disso, metais pesados como Cd, Pb e Hg não possuem nenhuma função conhecida para as plantas e são altamente tóxicos (FERNANDES, 2006).

Os metais pesados são, provavelmente, os mais antigos tóxicos conhecidos para os seres humanos. A utilização desses metais, pelo homem, pode ocasionar danos à saúde humana devido ao seu transporte através do ar, solo, água e alimentos. Os requerimentos para as diferentes espécies de organismos variam substancialmente, mas as faixas ótimas de concentração são geralmente estreitas e muito próximas dos teores tóxicos. Os desequilíbrios muito severos no aporte dos elementos podem causar a morte, enquanto

desequilíbrios menos severos contribuem com a manifestação de patologias de diversas ordens, incluindo o retardo do crescimento (FERREIRA et al., 2001).

Qualquer elemento pode torna-se tóxico para as plantas quando presente em elevadas concentrações. Faquin (2005) classifica elemento tóxico, essenciais ou não, quando são prejudiciais à planta. Um elemento essencial é tóxico, dependendo da sua concentração no meio. O excesso de um determinado elemento químico no solo pode ter diferentes origens, citando o próprio material de origem, resíduos urbanos (domésticos e industriais), poluição ambiental, adubos orgânicos e químicos. Os adubos minerais também possuem pequenas quantidades de metais pesados. As rochas fosfatadas geralmente contêm cádmio e outros elementos, que irão contaminar os adubos fosfatados. Na Tabela 4 pode-se observar as faixas de concentrações típicas de metais pesados em fertilizantes fosfatados e calcários. Com as repetidas aplicações desses fertilizantes, os metais pesados neles contidos podem acumular-se no solo (FERREIRA et al., 2001).

TABELA 4. Faixas de concentrações típicas de metais pesados em fertilizantes fosfatados e calcários

Produtos	Cd	Pb	Ni	Cu	Zn
	----- mg dm ⁻³ -----				
Fertilizantes fosfatados	0,1 - 170	7 - 225	7 - 30	1 - 300	50 - 1450
Calcários	0,04 - 0,1	20 - 1250	10 - 20	5 - 125	10 - 450

Cerca de 400 espécies de plantas são descritas como hiperacumuladoras de metais pesados, sendo definidas como plantas que podem acumular mais de 1 g kg⁻¹ do seu peso de tecido seco em Ni, Co ou Pb; mais de 10 g kg⁻¹ em Zn; e 0,1 g kg⁻¹ em Cd (FERNANDES, 2006). Entretanto, a acumulação de metais pesados pela planta depende da própria planta e de fatores do solo como pH, teor de matéria orgânica, concentração do metal e fatores relativos ao manejo e ambientais, tais como umidade, uso de corretivos e fertilizantes, temperatura etc (FERREIRA et al., 2001).

O excesso de metais pesados em plantas pode provocar danos fisiológicos, como: mudança na permeabilidade da membrana celular; reações de grupos tiólicos com cátions metálicos; afinidade com grupos fosfato do ADP e ATP; e inativação de enzimas e, ou, proteínas funcionais. Esses danos fisiológicos provocam na planta uma série de distúrbios, causando redução no crescimento, inibição da fotossíntese e respiração, degeneração das

principais organelas celulares e, em muitos casos, morte das plantas (FERNANDES, 2006).

Para as plantas e animais, Mengel e Kirkby (1987) apresentam a Tabela 5 com a concentração crítica para alguns metais pesados. Os níveis maiores são considerados tóxicos.

O cádmio é o metal pesado mais preocupante, pois pode afetar a saúde humana. Outros metais pesados de possível significância são arsênio, cromo, chumbo, mercúrio, níquel, alumínio, iodo, flúor, selênio e bromo (FERREIRA et al., 2001).

Na maior parte dos casos, os efeitos tóxicos de micronutrientes em animais são dependentes das doses. Diferentes doses podem causar efeitos não detectáveis, terapêuticos, tóxicos ou letais. Embora a dose seja uma preocupação primária, a quantidade total de um elemento tóxico ingerido raramente é conhecida. Por exemplo, o chumbo causa nos animais, falta de apetite, perda de peso, depressão, rigidez das juntas e anemia (FERREIRA et al., 2001).

TABELA 5. Concentração crítica de metais pesados em plantas e na dieta de animais

Elemento	Plantas	Animais
	----- mg kg ⁻¹ na matéria seca -----	
Cd	5 - 10	0,5 - 1
Hg	2 - 5	1
Ti	20 - 30	5
Co	10 - 20	10 - 50
Cr	1 - 2	50 - 3000
Cu	15 - 20	30 - 100
Ni	20 - 30	50 - 60
Pb	10 - 20	10 - 30
Zn	150 - 200	500

Fonte: Mengel e Kirkby (1987).

A grande maioria dos resíduos urbanos é fonte de nutrientes e matéria orgânica e, se corretamente empregados, podem atuar como fertilizantes ou condicionadores dos solos. Esta prática além do benefício para a fertilidade e estrutura do solo poderia minimizar a

ocorrência dos descartes de resíduos prejudiciais ao meio ambiente como incineração, deposição em aterros e descarga em rios e oceanos (MARQUES et al., 1998).

O uso de fontes alternativas de nutrientes às plantas, tais como lodos de tratamento biológico, compostos de lixo urbano e diferentes tipos de resíduos industriais e resíduos agropecuários, tem sido apresentado como uma opção para o seu descarte. A preocupação com o uso agrícola desses materiais é, entre outras, com a disseminação de elementos metálicos indesejáveis, ou mesmo micronutrientes em doses excessivas.

2.3.1. Chumbo

O Pb é um dos maiores poluentes do meio, sendo muito tóxico para o homem. Nos solos, a concentração de Pb varia geralmente, de 2 a 200 ppm. A maior fonte do elemento para o ecossistema é o Pb-tetraetilo originado da combustão de combustíveis obtidos do petróleo, correspondendo a cerca de 80% do Pb adicionado, embora, outras fontes também são aplicadas ao solo, mas em menores quantidades, como o lodo de esgoto, rochas e adubos fosfatados e calcários. O Pb concentra-se na superfície do solo. O chumbo na forma iônica, o Pb^{2+} , é pouco móvel no solo; as formas orgânicas como o Pb-tetraetilo, trietilo e dietilo, são extremamente móveis e chegam rapidamente às raízes das plantas. Segundo Faquin (2005), a elevação do pH diminui a disponibilidade e a absorção do metal pelas plantas. Portanto, a calagem é uma prática adequada para reduzir os problemas de toxidez com Pb, quando existentes.

O efeito tóxico de Pb para as plantas pode resultar na diminuição do crescimento, mas este efeito não tem sido observado a campo e sim em estudos em solução nutritiva. O Pb absorvido se acumula nas paredes celulares, o que deve contribuir para diminuir seu efeito tóxico para a planta e seu transporte para os frutos.

O chumbo é largamente disseminado no ambiente e trabalhadores de fundições e indústrias de acumuladores e de tintas correm grande risco por causa da exposição. As crianças são mais susceptíveis pela ingestão de tintas à base de chumbo. Os sintomas incluem palidez, linha de chumbo gengival, anemia e sintomas neurológicos (FERREIRA et al., 2001).

2.3.2. Cádmio

No solo, em condições normais, raramente aparecem concentrações de Cd que podem promover toxidez às plantas. Embora presente nos adubos fosfatados, a maior fonte de contaminação dos solos com o Cd se dá pela aplicação de lodo de esgoto e resíduos industriais (FAQUIN, 2005).

O elemento é absorvido pelas raízes na forma de Cd^{2+} e o aumento do pH reduz a sua disponibilidade e a absorção. Na prática, a calagem é uma prática recomendável para minimizar problemas de toxidez de Cd. A presença de Zn na solução restringe drasticamente a absorção de Cd pelas raízes. Nem todo o Cd absorvido é transportado para a parte aérea das plantas, mas quando isso ocorre o Cd é provavelmente transportado como complexo Cd-fitoquelatina no xilema, e o processo pode ser promovido pela transpiração (FERREIRA et al., 2001). A principal causa da toxidez pelo Cd parece ser devida à sua combinação com os grupos tiólicos (SH) de enzimas e proteínas, provocando desarranjos no metabolismo (FAQUIN, 2005).

2.3.3. Níquel e Cromo

Cromo e níquel ocorrem, naturalmente, em teores elevados, em solos derivados de rochas ultrabásicas ou serpentina e, eventualmente, são adicionados ao solo como resíduos de indústrias, na forma de lixo ou lodo de esgoto (RAIJ, 1991).

O níquel é absorvido como Ni^{2+} , é transportado no xilema como complexos ou quelados orgânicos aniônicos. O Ni entra na composição da enzima uréase que catalisa a decomposição hidrolítica da uréia no tecido vegetal e no animal. O sintoma de toxidez nas gramíneas consiste em clorose ao longo das nervuras, podendo a folha toda ficar esbranquiçada e mostrar necrose nas margens. Nas dicotiledôneas há uma clorose internerval parecida com a deficiência de Mn (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997).

Nos solos, a maior parte do cromo não está na forma disponível, visto encontrar-se presente em compostos insolúveis de óxidos combinados com Fe e Al ou fortemente ligado às argilas. Trabalhos têm mostrado uma inibição no crescimento de plantas em concentrações mais altas (5 a 15 ppm) aparecem sintomas visuais de intoxicação em plantas que geralmente compreende um mau desenvolvimento de raízes, no estrangulamento e na coloração vermelho pardacenta das folhas (FAQUIN, 2005).

2.4 – Resíduos orgânicos

A falta de aplicação dos resultados de pesquisas para a sociedade sobre a destinação adequada dos dejetos tem provocado danos incalculáveis ao meio ambiente, pois estes em excesso causam toxidez, porém os resíduos são fontes de nutrientes que, se adequadamente pesquisados, poderão reduzir os custos da produção agropecuária, e recuperar a degradação dos solos advindos do uso intensivo.

Resíduos e materiais fertilizantes alternativos têm seu uso agrícola fundamentado no aproveitamento de uma fonte de nutrientes, em geral de baixa concentração e de baixo custo, o que poderá levar à aplicação de doses relativamente elevadas, para favorecer a opção de descarte no solo. Não por acaso, a questão básica que permeia estudos de aplicação desses materiais é a determinação da dose máxima que pode ser empregada como fonte de nutrientes, sem consequências indesejáveis para o ambiente (FERREIRA et al., 2001).

De um modo geral, a adubação orgânica visa à melhoria da eficácia da adubação mineral, mas está mais para condicionadora do solo. Assim, o uso de materiais orgânicos, como condicionadores do solo e fontes de nutrientes para as plantas, adquire grande importância quando se busca a maximização de produções econômicas e ainda a manutenção da capacidade produtora dos solos. A matéria orgânica obtida a baixo custo é competitiva com os fertilizantes minerais e quando a eles associada, tem produzido ótimas safras.

Na composição do adubo orgânico, encontram-se todos os nutrientes necessários às plantas, como nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre e mais os micronutrientes, estando os catiônicos metálicos na vantajosa forma de quelados. O fertilizante orgânico é um condicionador do solo, pois a matéria orgânica complexa o alumínio, ferro, manganês, e outros elementos que podem se tornar tóxicos quando em excesso. Como condicionador do solo, o adubo orgânico age pela ação de certos componentes como os ácidos uronídeos, que têm forte ação cimentante e são responsáveis pela formação de agregados e pela estruturação do solo (KIEHL, 1985).

Dentre os materiais empregados na adubação orgânica, tem-se: esterco de animais; camas de estábulos ou cocheiras; restos de culturas; tortas de oleaginosas; compostos, preparados na própria fazenda e os provenientes de tratamento do lixo urbano; adubação verde etc. O importante, quando do uso desses materiais, é que os mesmos sejam incorporados ao solo em estado de completa fermentação, isto é, transformados em húmus.

O esterco é formado pelos excrementos sólidos e líquidos dos animais, misturados ou não com materiais usados para cama, como as palhas e capins. Sua composição é muito

variável. Os esterco são bons fornecedores de nutrientes, tendo todo o potássio e fósforo praticamente disponíveis ou tão disponíveis quanto outras fontes de adubo mineral. A aplicação contínua de esterco é uma alternativa muito válida em substituição ao uso de fertilizantes minerais, quando existe em quantidade suficiente e seu transporte é fácil. Deve-se alertar, entretanto, que quando usado constantemente no mesmo lugar em altas doses, o esterco poderá causar alguns inconvenientes como alguns agentes patogênicos podem ser disseminados; disseminação de plantas daninhas por sementes que passam inalteradas pelo trato digestivo dos animais; pode haver efeito de salinidade ou mesmo toxicidade de amônio (MIYASAKA, 1984).

O composto orgânico é o produto de fermentação de todos os resíduos vegetais que são possíveis acumularem na fazenda. É comum adicionarem na preparação do composto substâncias minerais como cinzas e adubos fosfatados pouco solúveis. Sua função de fornecedor de nutrientes, como de quase todos os outros resíduos, depende basicamente da sua composição, qual tipo de material foi empregado em seu preparo, por exemplo, o esterco bovino, cama de aves etc. Se for um material pobre, o composto terá um valor fertilizante baixo; se, ao contrário, for rico, o valor fertilizante será alto e o composto poderá suprir, de forma adequada, diversos nutrientes às plantas. O composto fornece nitrogênio vagarosamente às plantas, o que constitui uma vantagem, pois evita a perda deste elemento por lixiviação. Deve-se destacar também que o efeito do composto como agente condicionador do solo, melhorando suas características físicas, como a retenção de água, plasticidade, porosidade, etc., talvez seja mais importante que seu efeito fertilizante (MIYASAKA, 1984).

A metodologia da compostagem consiste no seguinte: partir de matérias-primas que contenham um balanço da relação carbono/nitrogênio favorável ao metabolismo dos organismos que vão efetuar sua biodigestão, em torno de 30:1 (KONZEN, 2003); facilitar a digestão dessa matéria-prima dispondo-a em local adequado, de acordo com o tipo de fermentação desejada, se aeróbia ou anaeróbia, controlando a umidade, a aeração, a temperatura e os demais fatores, conforme o caso requerer (KIEHL, 1985).

Face às características dos esterco e dos compostos, infere-se que, na utilização desses resíduos como fornecedores de nutrientes para a cana-de-açúcar, sejam necessárias quantidades elevadas dos materiais ou complementação dos mesmos como fertilizantes minerais.

Segundo Oliveira e colaboradores (1986) a adição de fosfatos e sulfato de cálcio (gesso agrícola) é recomendada nas condições tropicais como forma de minimizar as

perdas de nitrogênio e acelerar a decomposição do material orgânico. Diversas pesquisas têm mostrado que a decomposição dos dejetos no solo é caracterizada por uma fase rápida seguida de uma fase lenta.

Para a utilização de dejetos orgânicos, torna-se necessário conhecer o volume e a composição dos dejetos produzidos pelos diversos sistemas ou núcleos de produção. A criação de frango de corte produz em média quatro toneladas de cama por ano para cada 1.000 aves (KONZEN, 2003).

A cama de frango é o material utilizado para forrar o piso de uma instalação avícola e que recebe excrementos, restos de ração e penas durante o crescimento das aves. Os materiais mais utilizados são sabugo de milho triturado, maravalha e casca de arroz. De maneira geral, os resíduos orgânicos não podem ser descartados aleatoriamente no ambiente, porque possuem uma demanda bioquímica de oxigênio (DBO) alta (superior a 5 mg L^{-1}), reduzindo a quantidade de oxigênio dos mananciais a valores inferiores às necessidades da fauna aquática (MENEZES et al., 2004).

As camas de aviário são fontes de nutrientes e também um contaminante potencial para águas superficiais e subsuperficiais. Segundo Matos e colaboradores (1998) os dejetos da criação de animais em sistemas para produção de carne, até a década de 70, não constituíam maiores problemas para os criadores e a sociedade, pois a concentração de animais nas propriedades era pequena. O confinamento e a intensificação da produção trouxeram como consequência o aumento do volume de dejetos produzidos por unidade de área. Esses resíduos continuam a serem lançados em cursos d'água, estocados e/ou descarregados a céu aberto, sem tratamento prévio, transformando-se em fonte poluidora e constituindo fator de risco para a saúde humana e animal.

O efeito residual da cama de frango é um fator a ser considerado na sua aplicação, em virtude da complexação de nutrientes à matéria orgânica, sendo a liberação lenta de acordo com a mineralização da cama de frango. Selbach e Sá (2004) estudando o uso de cama de frango em rotação de culturas observou que as frações dos nutrientes que não são liberadas na primeira cultura (6 meses), constitui o efeito residual que pode ser observado até na terceira cultura ou 18 meses após aplicação em culturas perenes e consideram que aproximadamente 50% do N; 80% do P e 100% do K contido na cama de frango é liberado no primeiro cultivo; 20% do N; 20% do P no segundo cultivo; e 10% de N no terceiro cultivo e o restante do nitrogênio é perdido por processos como a volatilização, lixiviação e desnitrificação.

No Brasil, a produção de perus foi implementada na região Sul e mais recentemente está avançando para o Cerrado com grande participação da região do Triângulo Mineiro. Comparativamente é difícil manter a relação entre o peru com qualquer outra ave, principalmente pelo número de dias em que as aves são criadas entre outras particularidades como a exigências nutricional e a conversão alimentar (SILVA, 2005).

Os requerimentos nutricionais do peru são, segundo o National Research Poultry (1984), para perus de 8 a 11 semanas é de 2.900 Kcal EM; 0,85% de Ca; 0,42% de P disponível; 0,5% de K; 600 mg de Mg; 60 mg de Mn; 40 mg Zn; 60 de Fe; 6 de Cu. Os frangos de corte são terminados em menos de 40 dias e os perus em aproximadamente 150 dias, porém observa-se que, segundo o National Research Council (1984), para frangos de 0 a 21 dias, a necessidade é 50% inferior em Ca e P disponível e ambos necessitam da mesma energia metabolizável (EM).

A menor conversão alimentar dos perus em relação aos frangos de corte é um dos motivos para o maior teor de nutrientes em sua cama. Segundo Frame e Anderson (2004), na região de Utah – USA estima-se a produção de 24.700 toneladas de cama de peru anualmente, com destinação preferencial para as culturas comerciais de milho e pastagem. Estes pesquisadores também citam a variação do teor de nutrientes entre a cama inicial (16,78 a 27,22 g kg⁻¹ de N; 10,43 a 19,50 g kg⁻¹ de P₂O₅) e a de terminação de perus (29,03 a 33,11 g kg⁻¹ de N; 30,39 a 34,02 g kg⁻¹ de P₂O₅ e 15,42 a 17,24 g kg⁻¹ de K₂O).

Selbach e Sá (2004) apresentaram os teores de nutrientes de cama de peru (2 lotes) de 5,0 g kg⁻¹ de N; 4,0 g kg⁻¹ de P₂O₅; 4 g kg⁻¹ de K₂O; 3,7 g kg⁻¹ de Ca; 0,8 g kg⁻¹ de Mg.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 – Localização da área experimental

O experimento foi conduzido no ano agrícola 2007/2008, em área pertencente à Cia Mineira de Açúcar e Álcool do Triângulo Mineiro Ltda (CMAA), localizada na BR 497, km 28, Fazenda Lago Azul, município de Uberlândia/MG possuindo as seguintes coordenadas geográficas: 19° 04' 06.39" latitude Sul e 48° 33' 59.86" longitude Oeste, altitude de 720 m.

3.2 – Clima da região

O clima predominante de acordo com a classificação de Köppen, é do tipo Aw, caracterizado como tropical chuvoso, megatérmico, típico de savanas, com inverno seco. A temperatura média e precipitação pluviométrica mensal para a região de Uberlândia no período de janeiro de 2007 a dezembro de 2008, segundo dados meteorológicos coletados pelo Laboratório de Climatologia e Recursos Hídricos (LCRH) do Instituto da Geografia da Universidade Federal de Uberlândia, estão apresentados nas Figuras 1 e 2. Observa-se que a temperatura média do mês mais frio foi superior à 15 °C e a precipitação do mês mais seco variou entre 37,5 a 0,0 mm de um ano para o outro.

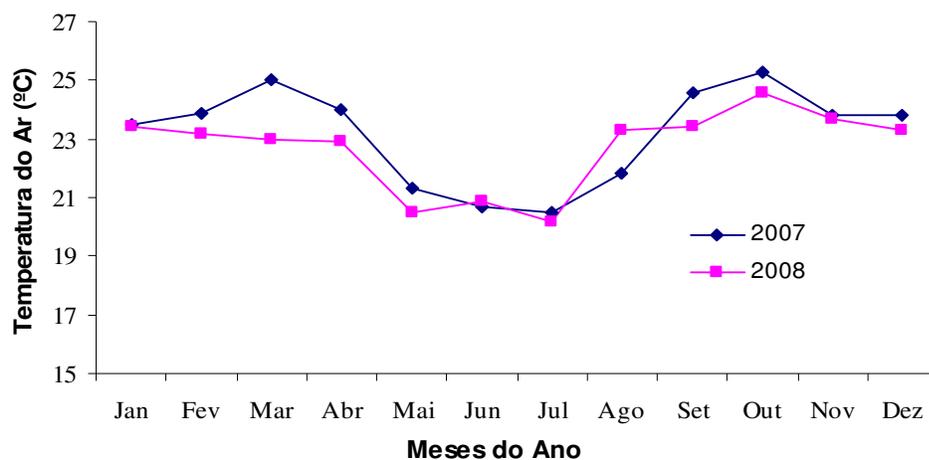


FIGURA 1. Temperatura média mensal no período de janeiro a dezembro nos anos de 2007 e 2008, para a região de Uberlândia, MG.

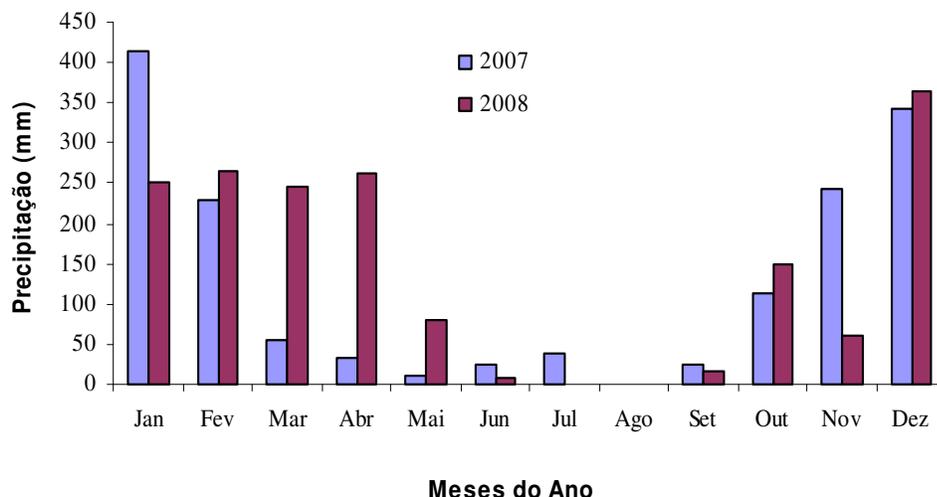


FIGURA 2. Distribuição da precipitação pluviométrica média mensal no período de janeiro a dezembro nos anos de 2007 e 2008, para a região de Uberlândia, MG.

3.3 - Caracterização físico-química do solo na área experimental

O estudo foi conduzido em área instalada com a cultura da cana-de-açúcar, anteriormente a vegetação predominante era uma pastagem degradada de braquiária (*Brachiaria decumbens* sp.).

A unidade de solo é o Latossolo Vermelho distrófico (LVd), A moderado, textura média, fase cerradão tropical subcaducifólio e relevo suave ondulado (EMBRAPA, 1999). Esta unidade de solo é formada na região pelo retrabalhamento de sedimentos do arenito de Bauru e representa cerca de 60% da região do Triângulo Mineiro.

Antes da implantação do experimento (abril de 2007), foram coletadas amostras de solo, na área experimental da fazenda no município de Uberlândia-MG, para a caracterização físico-química do mesmo (Tabelas 6 e 7).

TABELA 6. Caracterização física do solo da área experimental, amostrado nas profundidades de 0-25 e 25-50 cm, em abril de 2007

Prof.	AF	AG	Silte	Argila	ADA	Dp	Ds	DMG	Clas. Text. ¹
cm	g kg ⁻¹			kg dm ⁻³			mm		
0-25	351	344	67	238	200,4	2,78	1,62	0,65	F.A.A ²
25-50	373	372	46	209	197,2	2,74	1,64	0,42	F.A.A

Prof = Profundidade; AF = Areia Fina; AG = Areia Grossa; ADA = Argila Dispersa em Água; Dp = Densidade de Partícula pelo método do anel de Koppek; Ds = Densidade do Solo pelo método do anel volumétrico; DMG = Diâmetro Mediano Geométrico de agregado. Areia, Silte e Argila pelo método NaOH 0,1 mol l⁻¹, (EMBRAPA, 1997).¹Classificação textural de acordo com Ferreira & Dias Júnior (2001).²F.A.A = Franco-argilo-arenosa.

TABELA 7. Caracterização química do solo da área experimental, amostrado nas profundidades de 0-25 e 25-50 cm, em fevereiro de 2007

Prof.	pH H ₂ O	P	K	Al	Ca	Mg	H+Al	SB	t	T	V	m	MO
cm		.. mg dm ⁻³ ..		.....			cmol _c dm ⁻³ .....				..... % .....		dag kg ⁻¹
0-25	5.7	6.9	18.0	0.0	1.1	0.2	1.8	1.4	1.4	3.2	43.0	0.0	2.1
25-50	5.2	0.7	15.0	0.2	0.5	0.1	2.0	0.6	0.8	2.6	24.0	24.0	0.8

Prof = profundidade; P, K = (HCl 0,05 mol L⁻¹ + H₂SO₄ 0,0125 mol L⁻¹) P disponível (extrator Mehlich-1); Ca, Mg, Al, (KCl 1 mol L⁻¹); H+Al = (Solução Tampão – SMP a pH 7,5); SB = Soma de Bases; t = CTC efetiva; T = CTC a pH 7,0; V = Saturação por bases; m = Saturação por alumínio (EMBRAPA, 1997), M.O. = Método Colorimétrico.

O regime de umidade do solo de acordo com a Soil Taxonomy é “ustic”, com número de dias acumulado seco superior a 90 e inferior a 180 dias. A temperatura média do solo a 50 cm de profundidade está em torno de 22 °C, com diferença entre as temperaturas médias do verão e do inverno inferior a 5 °C, sendo classificado pela Soil Taxonomy como “Isohyperthermic”, (EMBRAPA, 1982).

3.4 - Caracterização dos resíduos utilizados

Foram utilizados resíduos orgânicos, denominados de cama de frango (Tabela 8), cama de peru (Tabela 9) e esterco bovino (Tabela 10). Utilizou-se também adubo compostado comercial (Tabela 11). As camas de aves e o esterco bovino passaram por um período de estabilização, para posterior aplicação no solo.

TABELA 8. Caracterização química e físico-química da cama de frango utilizada no experimento em Uberlândia, MG - 2009

Determinações	Base seca – 110°C	Umidade Natural
pH em CaCl ₂ 0,01 mol L ⁻¹	....	6,7
Densidade (g cm ⁻³)	....	0.588
Umidade Total (%)	....	45,34
Materiais Inertes (%)	....	7,07
Matéria orgânica total (%)	39,50	18,80
Carbono Total (%)	21,94	9,70
Carbono orgânico (%)	17,50	7,74
Resíduo Mineral Total (%)	61,24	29,14
Resíduo Mineral Solúvel (%)	31,38	13,88
Resíduo Mineral Insolúvel (%)	29,86	14,21
N total (%)	1,60	0,76
P total (%)	1,76	0,84
K total (%)	0,30	0,14
Ca total (%)	4,12	1,96
Mg total (%)	0,77	0,37
S total (%)	0,40	0,19
Cu total (mg kg ⁻¹)	500	238
Mn total (mg kg ⁻¹)	1009	480
Zn total (mg kg ⁻¹)	701	334
Fe total (mg kg ⁻¹)	12316	5861
B total (mg kg ⁻¹)	20	10
Na total (mg kg ⁻¹)	4960	2360
Relação C/N (C total e N total)	14/1	13/1

¹/Análises realizadas no LABAS-ICIAG-UFU; ²/ C total (oxidação da matéria orgânica com solução 0,17 mol L⁻¹ de dicromato de potássio e titulação do excesso de dicromato com solução de sulfato ferroso amoniacal 0,5 mol L⁻¹); ³/ N (método micro-kjeldhal); ⁴/ P (método do vanadato-molibdato); ⁵/ K, Ca e Mg (espectrofotometria de chama); ⁶/ S (método gravimétrico); ⁷/ Cu, Mn, Zn e Fe (espectrofotometria de absorção atômica).

TABELA 9. Caracterização química e físico-química da cama de peru utilizada no experimento em Uberlândia, MG – 2009

Determinações	Base seca – 110°C	Umidade Natural
pH em CaCl ₂ 0,01 mol L ⁻¹	....	8,2
Densidade (g cm ⁻³)	....	0.366
Umidade Total (%)	....	15.88
Materiais Inertes (%)	....	1.19
Matéria orgânica total (%)	58,10	48,19
Carbono Total (%)	32,28	26,45
Carbono orgânico (%)	29,53	24,20
Resíduo Mineral Total (%)	42,74	35,45
Resíduo Mineral Solúvel (%)	18,77	15,38
Resíduo Mineral Insolúvel (%)	23,97	19,88
N total (%)	2,24	1,86
P total (%)	1,94	1,61
K total (%)	3,31	2,74
Ca total (%)	2,75	2,28
Mg total (%)	0,70	0,58
S total (%)	0,48	0,40
Cu total (mg kg ⁻¹)	303	251
Mn total (mg kg ⁻¹)	637	528
Zn total (mg kg ⁻¹)	448	371
Fe total (mg kg ⁻¹)	6348	5265
B total (mg kg ⁻¹)	50	41
Na total (mg kg ⁻¹)	55088	45689
Relação C/N (C total e N total)	14/1	14/1

¹/Análises realizadas no LABAS-ICIAG-UFU; ²/ C total (oxidação da matéria orgânica com solução 0,17 mol L⁻¹ de dicromato de potássio e titulação do excesso de dicromato com solução de sulfato ferroso amoniacal 0,5 mol L⁻¹); ³/ N (método micro-kjeldhal); ⁴/ P (método do vanadato-molibdato); ⁵/ K, Ca e Mg (espectrofotometria de chama); ⁶/ S (método gravimétrico); ⁷/ Cu, Mn, Zn e Fe (espectrofotometria de absorção atômica).

TABELA 10. Caracterização química e físico-química do esterco bovino utilizada no experimento em Uberlândia, MG – 2009

Determinações	Base seca – 110°C	Umidade Natural
pH em CaCl ₂ 0,01 mol L ⁻¹	....	8,3
Densidade (g cm ⁻³)	....	0,526
Umidade Total (%)	....	56,03
Materiais Inertes (%)	....	0,39
Matéria orgânica total (%)	39,10	17,04
Carbono Total (%)	21,72	9,43
Carbono orgânico (%)	19,32	8,39
Resíduo Mineral Total (%)	61,36	26,74
Resíduo Mineral Solúvel (%)	12,19	5,29
Resíduo Mineral Insolúvel (%)	49,17	21,43
N total (%)	1,34	0,58
P total (%)	0,92	0,40
K total (%)	1,87	0,82
Ca total (%)	1,22	0,53
Mg total (%)	0,33	0,14
S total (%)	0,25	0,11
Cu total (mg kg ⁻¹)	39	17
Mn total (mg kg ⁻¹)	197	86
Zn total (mg kg ⁻¹)	135	59
Fe total (mg kg ⁻¹)	11452	4990
B total (mg kg ⁻¹)	50	22
Na total (mg kg ⁻¹)	16626	7245
Relação C/N (C total e N total)	16/1	16/1

¹/Análises realizadas no LABAS-ICIAG-UFU; ²/ C total (oxidação da matéria orgânica com solução 0,17 mol L⁻¹ de dicromato de potássio e titulação do excesso de dicromato com solução de sulfato ferroso amoniacal 0,5 mol L⁻¹); ³/ N (método micro-kjeldhal); ⁴/ P (método do vanadato-molibdato); ⁵/ K, Ca e Mg (espectrofotometria de chama); ⁶/ S (método gravimétrico); ⁷/ Cu, Mn, Zn e Fe (espectrofotometria de absorção atômica).

TABELA 11. Caracterização química e físico-química do Fertilizante Orgânico Valoriza-S¹ (Compostado) utilizado no experimento em Uberlândia, MG – 2009

Determinações	Umidade Natural
pH em CaCl ₂ 0,01mol L ⁻¹	7,8
Umidade Total (%)	30
Matéria orgânica total (%)	38
N total (%)	2,7
P total (%)	4,2
K total (%)	2,0
Ca total (%)	4,2
Mg total (%)	1,32
S total (%)	0,78
Cu total (mg kg ⁻¹)	81,50
Mn total (mg kg ⁻¹)	445
Zn total (mg kg ⁻¹)	476,75
Fe total (mg kg ⁻¹)	11000
B total (mg kg ⁻¹)	182
Na total (mg kg ⁻¹)	4400
Relação C/N (C total e N total)	12,75/1

¹/Análise disponibilizada pela Valoriza Fertilizantes.

3.5 - Tratamentos e delineamento estatístico

A área experimental total foi de 0,9 hectare, dividida em quatro blocos com 10 parcelas cada de 10 m x 15 m, perfazendo um total de 40 parcelas, separadas entre si por 1,5 m.

O preparo do solo consistiu em operações sucessivas de subsolagens, gradagens pesadas, grades niveladoras e abertura de sulcos de 50 cm de profundidade com sulcador. Inicialmente, toda a área agrícola recebeu para a correção da acidez do solo, de acordo com os resultados da análise de solo (Tabela 7) a aplicação de 3,50 t ha⁻¹ de calcário e 1,50 t ha⁻¹ de gesso agrícola a lanço na área total. A recomendação de calagem foi realizada visando atingir saturação por bases de 60 %, recomendada pela Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais (CFSEMG, 1999) para a cultura da cana-de-açúcar.

O plantio foi realizado com espaçamento entre linhas de 1,5 m, perfazendo um total de 10 linhas de plantio/parcela, sendo que a área-útil da parcela foi constituída de apenas 8 linhas, ficando 2 para a bordadura. A variedade de cana-de-açúcar plantada foi a RB 867515 de ciclo médio/tardia, denominada de “cana-de-ano e meio”, esta variedade foi escolhida de acordo com a época de plantio e as condições climáticas da região e também por possuir maior produtividade.

Aplicaram-se no sulco/parcela os adubos orgânicos e mineral nas seguintes quantidades: adubo químico (0,31 kg); cama de frango (7,2 kg); cama de peru (5,14 kg); esterco bovino (20,0 kg); adubo compostado (4,29 kg) e gesso agrícola (2,48 kg).

O controle de plantas infestantes foi feito com a aplicação do herbicida Glifosato na quantidade de 3,50 L ha⁻¹, em jato dirigido.

O delineamento da área experimental foi em blocos casualizados (DBC), em esquema fatorial de parcelas subdivididas no espaço em 5x2x4 (tipo de adubo, gesso agrícola e profundidade) com duas épocas distintas do ano para amostragens: uma no período das chuvas (fevereiro, cana com 9 meses) e a outra no período da seca (julho, cana com 14 meses). Os adubos utilizados foram quatro resíduos orgânicos: cama de frango (CF), cama de peru (CP), adubo compostado (AC), esterco bovino (EB) e uma testemunha com aplicação de adubo químico (AQ) constituída pelo fertilizante mineral MAP (fosfato monoamônico com 48% de P₂O₅ solúvel em H₂O) de recomendação tradicional para a cana. O experimento apresentava parcelas com a presença (+G) e a ausência de gesso agrícola (-G) que foram previamente incorporadas aos tratamentos (Anexo A).

A aplicação dos tratamentos ocorreu no mesmo dia do plantio, manualmente, no fundo do sulco de plantio e incorporadas com o auxílio de um rastelo, esta operação foi realizada em maio de 2007. A quantidade de dejetos orgânicos e adubo químico aplicado no sulco de plantio basearam-se na quantidade de P₂O₅ presente no adubo e na necessidade da cultura da cana-de-açúcar, segundo a CFSMG (1999) que é de 100 a 140 kg ha⁻¹. As mudas foram cobertas com até 14 cm de solo.

3.6. Coleta de amostras e análises realizadas

As amostras de solo foram coletadas na linha de plantio, nas profundidades de 0-15; 15-30; 30-45 e 45-60 cm, em duas épocas distintas: fevereiro (período chuvoso, cana com 9 meses) e julho (período seco, cana com 14 meses), visando detectar possíveis variações

nos atributos químicos do solo e na planta devido às mudanças climáticas. As amostragens de solo e da parte aérea foram realizadas ao acaso. A coleta do solo foi realizada com auxílio do trado do tipo holandês, no qual era feito toaleta a cada profundidade, para evitar possíveis contaminações. O solo foi colocado em saco plástico limpo, devidamente identificado e enviado ao laboratório.

A amostragem da parte aérea da cana-de-açúcar foi realizada nos mesmos períodos das amostras de solo. Foram coletadas 0,5 m linear ao acaso dentro da parcela útil, as quais foram separadas em folhas e colmos, devidamente identificadas sendo enviadas ao laboratório. Para verificar o peso de massa seca, as amostras de colmo e folha foram colocadas para secar em estufa de circulação forçada de ar a 65° C por 72 horas, até que o peso da massa se mantivesse constante.

As análises químicas para diagnosticar no solo (EMBRAPA, 1997) e na planta (BATAGLIA et al., 1983) os micronutrientes: ferro, zinco, manganês e cobre foram realizadas no Laboratório de Análise de Solo (LABAS) do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia (UFU); e para diagnosticar metais pesados: cádmio, cromo, níquel e chumbo, as análises foram feitas no Laboratório Brasileiro de Análise Agrícola, Monte Carmelo-MG.

3.7 – Análises químicas laboratoriais

3.7.1. Análises foliares e colmos

As amostras de folha e colmo foram encaminhadas para o laboratório, onde foram lavadas sequencialmente, com água destilada, solução 0,1 mol L⁻¹ de HCl e água deionizada. Após a lavagem, as amostras das folhas com nervuras foram secas e, posteriormente, moídas em moinho tipo Willey (peneira de 2 mm) e utilizadas para determinação dos micronutrientes (Zn, Cu, Fe e Mn) e metais pesados (Cd, Cr, Ni e Pb). Os colmos foram picotados, após a lavagem e secagem destes, foram triturados e moídos e levados para realização das análises, da mesma forma que as amostras de folhas. Em sequência a este procedimento, as amostras tanto de folhas quanto de colmos foram submetidas à digestão nítrico-perclórica, de acordo com a metodologia de Bataglia e colaboradores, (1983). Nos extratos, foram determinados Zn, Cu, Fe e Mn por espectrofotometria de absorção atômica com chama ar/acetileno, e Cd, Cr, Ni e Pb foram realizados por espectrômetro de plasma simultâneo – ICP/OES.

3.7.2. Análises de solo

As amostras de solo foram secas ao ar (TFSA) peneiradas (malha de 2 mm) e submetidas a extração com solução de DTPA (EMBRAPA, 1997). As determinações analíticas dos micronutrientes nos extratos de solo foram feitas por espectrofotometria de absorção atômica convencional com chama ar/acetileno, e os metais pesados por espectrômetro de plasma simultâneo – ICP/OES.

3.8 – Análises estatísticas

Os resultados constaram de análise de variância, sendo utilizado o teste de Tukey, a 5% de probabilidade, em esquema de parcela subdivididas no tempo, tendo como fatores da parcela os tipos de adubos com e sem gesso agrícola e suas interações, nas subparcelas nas profundidades (0-15; 15-30; 30-45 e 45-60 cm) e suas interações em duas épocas distintas (período chuvoso e seco).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 – Análises foliares

4.1.1 – Micronutrientes

Os teores de cobre, ferro, manganês e zinco foliares estão descritos na Tabela 12.

Em relação aos teores de cobre, pode-se observar que houve diferença entre épocas somente com a aplicação do adubo compostado com uso de gesso agrícola, e entre os tratamentos sem a aplicação de gesso houve diferença nos tratamentos com cama de frango, cama de peru e adubo compostado. Em todos os tratamentos em que se observou diferença ($P < 0,05$) os menores teores foram observados na época da seca, provavelmente devido ao transporte deste nutriente ser feito por difusão, o qual é controlado pelo fluxo de água no solo.

Apesar de alguns elementos (ferro e zinco) estarem fora da faixa considerada adequada para a cultura, do ponto de vista agrônômico, os valores de cobre foram os que mais se destacaram, pois estiveram muito abaixo dos valores de referência (Tabela 3) (RAIJ et al., 1996).

A baixa concentração do Cu nas folhas também é relatada por Mitchell e colaboradores (1978) e por Garcia e colaboradores (1979). Sua baixa disponibilidade na parte aérea da planta observada neste experimento mesmo com a adição de resíduos orgânicos, pode ser devido à translocação do Cu, em oposição à absorção pela planta.

Quando foram avaliadas as diferenças dos tratamentos dentro da mesma época, observou-se que dentro da época chuvosa e sem aplicação de gesso agrícola houve diferença entre os tratamentos (Tabela 12). Sobressaindo o tratamento com aplicação do adubo compostado que apresentou um teor de $4,5 \text{ mg kg}^{-1}$ de cobre. Apesar deste maior teor, não houve diferença ($P < 0,05$) do tratamento com aplicação de cama de frango e peru. Esse resultado não era esperado, pois o adubo compostado apresentava em sua composição $81,50 \text{ mg kg}^{-1}$ de Cu, enquanto a cama de frango e a cama de peru apresentavam 500 e 303 mg kg^{-1} de Cu, respectivamente, ou seja, essas fontes apresentavam 6 e 3,71 vezes mais Cu do que o adubo compostado. Provavelmente no período que o experimento foi conduzido a cama de frango e a cama de peru não mineralizaram o suficiente para liberar o Cu, encontrando-se este elemento no resíduo, portanto em forma não disponível no solo, e o composto apresentou-se com o Cu mais mineralizado.

Segundo Raij e colaboradores (1996) os teores de cobre adequados para a cana-de-açúcar são de 6 a 15 mg kg⁻¹, ou seja, em todos os tratamentos os teores estão menores do que o adequado, tornando-se ainda mais críticos quando são observados os teores na época da seca. Sendo assim, as fontes aplicadas não foram eficientes no suprimento de Cu para a cultura sendo necessária a suplementação deste elemento quando recomendada a adubação.

Pode-se observar que somente no tratamento com adubação química o teor de ferro apresentou diferença (P<0,05) entre a aplicação ou não de gesso agrícola (Tabela 12). De maneira geral, já se esperava que ocorresse pouca variação com a aplicação de gesso, em virtude que os elementos estudados não estavam presentes nesta fonte, embora esta fonte ser descrita como translocadora de cátions no perfil do solo.

Mesmo com as concentrações de ferro nas folhas, em média, na época chuvosa estarem 3 vezes superior ao limite da faixa considerada adequada para a cultura (40 – 250 mg kg⁻¹) de acordo com Raij e colaboradores (1996), na época da seca esses teores mantiveram-se próximo ao limite superior. A maior absorção na época chuvosa provavelmente deve-se pelo Fe ser um elemento naturalmente presente nos solos e a ocorrência dele em quantidades elevadas nas fontes orgânicas aplicadas, ou possível aumento do pH no solo.

A diferença observada do ferro no tratamento com adubação química com e sem gesso agrícola na época chuvosa pode estar relacionada com a menor complexação deste elemento neste tratamento, pois nos demais por se tratarem de fontes orgânicas ocorre uma maior afinidade deste elemento com o material orgânico. IRVING e WILLIAMS (1948) declararam que o íon Fe²⁺ forma complexo com a matéria orgânica, com constante de estabilidade maior do que a do Mn²⁺ e menor que a do Zn²⁺ e a do Cu²⁺. A maior concentração no tratamento com gesso poderia ser atribuída a uma complexação com o cálcio, em função do fornecimento pelo gesso de Ca²⁺ e SO₄⁻.

Demattê e colaboradores (2003) observaram que a dinâmica da matéria orgânica e a presença do ferro nos solos tropicais, ainda não estão totalmente compreendidas, o que dificulta a utilização prática deste elemento em estudos. O mesmo pensamento pode ser aplicado em estudos com utilização de resíduos orgânicos uma vez que um grande volume de inter- relações ocorre.

A média dos teores de ferro foram maiores na primeira época de avaliação (631 mg kg⁻¹) do que na segunda época (199,6 mg kg⁻¹), ou seja, na segunda época o valor encontra-se dentro da faixa de suficiência, e na primeira época está 152% acima do nível máximo de suficiência descrito por Faquin (2005). Os altos teores de ferro encontrados nas folhas das plantas podem ser explicados pelos altos teores desse elemento no solo, em que se encontra na faixa de 1 a 17% de ferro (JOSINO, 2005), e não somente a adubação orgânica, apesar de este elemento estar em alta concentração nos resíduos utilizados, já que a adubação mineral e a testemunha não variaram estatisticamente da orgânica.

Quanto ao manganês os teores variaram de 134,25 a 175,50 mg kg⁻¹, e de 88,75 a 136,25 mg kg⁻¹ respectivamente na época da chuva e na seca. Mesmos os tratamentos tendo diferido entre épocas, o valor médio de Mn observado para ambas as épocas é de 159 mg kg⁻¹ e encontram-se dentro da faixa de suficiência da cultura. Segundo Raij e colaboradores (1996), os teores dentro da faixa de 25-250 mg kg⁻¹ não ocasionam deficiência nutricional, nem tampouco toxidez às plantas.

Estudos com aplicação de alguns resíduos apresentaram aumento na concentração de manganês foliar, porém Silva (2005) não verificou este fato utilizando cama de frango e cama de peru. Madeiros e colaboradores (2009), obtiveram com a aplicação de escória de siderurgia aumento nos teores de manganês foliar. A escória pode ter incrementado a concentração de Mn nas folhas por aumentar a tolerância da planta à toxidez desse elemento nos tecidos. Fato semelhante pode ter acontecido com os resíduos orgânicos que melhoram as condições edáficas e a nutrição da planta por apresentarem macro e micronutrientes em sua composição. Entre os resíduos orgânicos aplicados observa-se que a cama de frango é o resíduo que apresenta maior concentração deste elemento 1009 mg kg⁻¹ de Mn, seguido pela cama de peru (637 mg kg⁻¹ de Mn), do adubo compostado (445 mg kg⁻¹ de Mn) e do esterco bovino que apresenta a menor concentração, ou seja, 197 mg kg⁻¹ de Mn, ou seja, há uma grande variação entre as fontes que não foram visualizadas nas análises foliares.

Em relação aos teores de zinco pode-se observar que houve diferença entre épocas com a aplicação do adubo compostado com e sem aplicação de gesso agrícola. Em todos os tratamentos em que se observou diferença (P<0,05) os menores teores foram observados na época da seca.

Avaliando as diferenças dos tratamentos dentro da mesma época, e também as diferenças entre aplicação de gesso e sem gesso, observa-se que não houve diferenças (P<0,05) (Tabela 12).

Barroso e colaboradores (1998) observaram que o incremento da dose de nitrogênio aumenta os teores foliares de zinco, o qual participa da síntese de várias proteínas. O aumento do nitrogênio deve resultar em maior demanda e absorção deste nutriente pelas plantas. Pode-se esperar que algum efeito sinérgico tenha ocorrido, pois os resíduos orgânicos apresentam N em sua composição, como exemplo, o adubo compostado que apresenta 2,7 % de N.

Porém, considerando a faixa adequada (RAIJ et al., 1996) do ponto de vista agrônômico, os valores de zinco obtidos estiveram muito abaixo dos valores de referência (Tabela 3). Os resultados aqui obtidos indicam que a aplicação dos resíduos orgânicos não altera as concentrações de Zn, o mesmo comportamento foi obtido por Oliveira (2000) que tampouco observou efeito significativo na concentração de Zn nas amostras de cana com aplicação de lodo de esgoto e composto de lixo orgânico.

4.1.2. Metais pesados

Os teores de níquel, cádmio, cromo e chumbo nas folhas de cana-de-açúcar estão descritos na Tabela 13.

Em relação aos teores de níquel, pôde-se observar que houve diferença entre épocas em todos os tratamentos tanto na presença de gesso agrícola como na sua ausência. Em todos os tratamentos em que se observou diferença ($P < 0,05$) os menores teores foram constatados na época da seca. Porém, não houve diferenças ($P < 0,05$) dos tratamentos dentro da mesma época, e entre aplicação ou não de gesso dentro de cada época.

Em relação ao níquel sabe-se que ele é um metal que faz parte do metabolismo de diversas enzimas, entre elas a urease (PERES, 2002). Como os resíduos orgânicos apresentam uma concentração de nitrogênio, a redução do níquel na segunda época pode estar relacionada à maior atividade metabólica da urease consumindo assim o níquel para a amonificação do nitrogênio.

Observando os teores de cromo, pôde-se verificar que houve diferença entre épocas em todos os tratamentos quando se utilizou o gesso agrícola e sem a sua utilização. Nestes tratamentos os menores teores foram observados na época da seca (Tabela 13).

Quando foram avaliadas as diferenças dos tratamentos dentro da mesma época, observou-se que somente dentro da época chuvosa com aplicação de gesso agrícola houve diferença entre os tratamentos. Sobressaindo o tratamento com aplicação do adubo químico que apresentou um teor de $6,837 \text{ mg kg}^{-1}$ de cromo, apesar deste maior teor não houve

diferença ($P < 0,05$) do tratamento com aplicação de cama de peru. Em relação à aplicação de gesso agrícola ou não nos tratamentos, pôde-se observar que houve diferença estatística dentro do adubo químico na época chuvosa

Em relação aos teores de cádmio, pôde-se observar que houve diferença entre épocas em todos os tratamentos quando se utilizou o gesso agrícola e sem a sua utilização. Em todos os tratamentos em que se observou diferença ($P < 0,05$) os menores teores foram observados na época dois.

Todos os metais pesados avaliados encontram-se abaixo dos níveis fitotóxicos descritos por LAKE (1987) e MELO e colaboradores (1997) que estabeleceram os seguintes níveis: para Cd ($2-10 \text{ mg kg}^{-1}$), Cr ($10-100 \text{ mg kg}^{-1}$), Ni ($11-100 \text{ mg kg}^{-1}$) e Pb ($35-400 \text{ mg kg}^{-1}$)

Avaliando os valores dos tratamentos dentro da mesma época, e aplicação de gesso e sem gesso dos tratamentos dentro de cada época, pôde-se observar que não houve diferenças ($P < 0,05$).

A não detecção de metais pesados pode ser relacionada com a qualidade da extração, o que de acordo com Ribeiro Filho e colaboradores (2001) não ocorre com o Cd. Esses autores observaram que o Cd na planta apresenta alta correlação ($P < 0,01$) com os extratores DTPA e Melich-1 indicando que quando analisado um solo contaminado, as análises das plantas indicam biodisponibilidade do elemento químico.

Em relação aos teores de chumbo, pôde-se observar que houve diferença entre épocas com a aplicação de cama de peru com uso de gesso agrícola, e quando não se utilizou gesso houve diferença nos tratamentos com cama de frango e adubo compostado. Em todos os tratamentos em que se observou diferença ($P < 0,05$), os menores teores foram observados na época da seca.

A baixa ocorrência ou mesmo a ausência de metais nas partes aéreas de plantas de cana-de-açúcar também foi relatada por SILVA e colaboradores (2000), os quais, analisando plantas cultivadas em solos que receberam, no ano anterior, lodo de esgoto nas doses de 20; 40 e 80 t ha^{-1} , não detectaram a presença de metais nas partes aéreas das plantas.

Para que os metais pesados entrem na cadeia alimentar, é necessário que os mesmos estejam presentes na solução do solo, ou associados a partículas móveis (SPOSITO, 1989) e sejam absorvidos pelas plantas. Por esta razão pode-se dizer que os teores de metais pesados encontrados nas folhas de cana-de-açúcar foram inferiores ou estiveram dentro da faixa adequada de metais pesados nas plantas, ou seja, a aplicação dos resíduos não causou acúmulo de metais pesados.

A solubilidade dos metais depende da forma em que eles se encontram no solo, em que, o pH é um dos fatores que mais afetam a solubilidade. A solubilidade de Cd, Cu, Hg, Ni, Pb e Zn diminui, com o aumento do pH, já o As, Mo e Se tornam-se mais solúveis (BERTON, 2000). Segundo Lindsay (1979) a maioria dos metais tornam-se menos solúveis em condições alcalinas, graças à formação de precipitados na forma de carbonatos e hidróxidos metálicos. Pôde-se atribuir a menor absorção ao valor inicial de pH (Tabela 7), apesar de que não avaliou-se esse atributo como fonte de variação.

4.2 – Análises de colmo

As diferentes partes das plantas comportam-se de forma diferente, quanto à distribuição de metais pesados. Geralmente, a raiz é o principal órgão de absorção e acúmulo de metais, sendo que muito pouco se acumula nos órgãos de reserva das plantas (MARQUES et al., 2002).

Observando as diferenças dos tratamentos dentro da mesma época, e também as diferenças entre aplicação de gesso e sem gesso dos tratamentos dentro de cada época com relação a todos os micronutrientes (cobre, ferro, manganês e zinco) na cultura da cana-de-açúcar, pôde-se observar que não houve diferenças ($P < 0,05$) (Tabela 14).

4.2.1. Micronutrientes

Os teores de cobre, ferro, manganês e zinco nos colmos estão descritos na Tabela 14. Em relação aos teores de cobre no colmo na cultura da cana-de-açúcar, pôde-se observar que houve diferença entre épocas com a aplicação de adubo químico e adubo compostado com uso de gesso agrícola, e quando não se utilizou gesso houve diferença nos tratamentos com cama de peru e adubo compostado. Em todos os tratamentos em que se observou diferença ($P < 0,05$) os menores teores foram observados na época dois.

Em média na época chuvosa o teor de cobre na folha foi de 2,125 mg kg⁻¹, e na época da seca de 0,475 mg kg⁻¹ (Tabela 12), sendo assim, pôde-se atribuir que o cobre é mais presente no colmo do que na folha, com concentração 3 vezes superior na época chuvosa e 8 vezes superior na época da seca.

Para o ferro e manganês os maiores teores foram observados na fração foliar, esse comportamento é importante para se avaliar que, dependendo da fração da planta, há uma variação entre os teores absorvidos. Orlando Filho (1993), também observou maior Fe e Mn na fração foliar (5,52 e 1,42 g kg⁻¹, respectivamente ao teor de Fe e Mn) do que na fração colmo (1,39 e 1,05 g kg⁻¹, respectivamente ao teor de Fe e Mn).

Quando foram avaliados os teores de ferro, pôde-se observar que houve diferença entre épocas com a aplicação de cama de frango, esterco bovino e adubo compostado com uso de gesso agrícola, e quando não se utilizou gesso houve diferença nos tratamentos com cama de frango e de peru. Nestes tratamentos os menores teores foram observados na época dois. Avaliando-se os teores de manganês, pôde-se observar que houve diferença entre épocas com o uso de gesso agrícola nos tratamentos com adubo químico, cama de peru, esterco bovino e adubo compostado. Já para os tratamentos sem a aplicação de gesso, houve diferença em todos (P<0,05) exceto o tratamento com esterco bovino. Em todos os tratamentos em que se observou diferença os menores teores foram observados na época da seca.

Em relação aos teores de zinco, pôde-se observar que houve diferença entre épocas somente com a aplicação de gesso agrícola no tratamento com adubo compostado. Em todos os tratamentos em que se observou diferença (P<0,05) os menores teores foram observados na época da seca.

Não se observou diferença entre a aplicação ou não de gesso, resultados semelhantes foram obtidos para o teor de zinco nas folhas e nos colmos, por RIBEIRO FILHO e colaboradores (2001). Na média, observou-se que houve maior acúmulo de Zn nas folhas (8,55 mg kg⁻¹) do que no colmo (6,82 mg kg⁻¹). Resultados semelhantes foram obtidos por Malavolta e colaboradores (1997), indicando acúmulo no colmo de 5 g de Zn para 1 t de colmos e nas folhas acúmulo de 8,8 g de Zn para 1 t de folhas.

Segundo Martins (2001), os teores dos micronutrientes variam conforme o estágio da planta, em anos de alta produção há um aumento de demanda da planta por nutrientes. Supõe-se que na época chuvosa, quando a planta estava com 9 meses houve uma maior absorção de nutrientes devido à maior umidade e necessidade da planta. Conforme Malavolta e colaboradores (1997), a época de maior exigência dos nutrientes da cana encontra-se na época de maior crescimento vegetativo, ou seja, nos primeiros dez meses.

Avaliando a fitodisponibilidade de micronutrientes adicionados a solos via resíduo orgânico em plantas de cana, ANJOS e MATTIAZZO (2000), observaram aumento dos teores de Cu, Fe, Mn e Zn nas plantas, indicando que a adição do resíduo promoveu maior disponibilidade destes elementos nas diversas partes da planta. Os autores ressaltaram ainda a ocorrência desses elementos nas partes das plantas, onde maiores teores de Cu e Zn foram encontrados nos colmos e as concentrações menores nas folhas. Já os teores de Fe e Mn foram maiores nas folhas e colmos, resultado semelhante ao observado neste experimento.

4.2.2. Metais pesados

Os teores de níquel, cádmio, cromo e chumbo nos colmos estão descritos na Tabela 15.

Em relação aos teores de níquel, pôde-se observar que houve diferença entre épocas somente sem a aplicação de gesso agrícola no tratamento com esterco bovino. Em todos os tratamentos em que se observou diferença ($P < 0,05$) os menores teores foram observados na época dois.

Avaliando as diferenças dos tratamentos dentro da mesma época, e também as diferenças entre aplicação de gesso e sem gesso dos tratamentos dentro de cada época, pôde-se observar que não houve diferenças ($P < 0,05$).

Devido aos baixos teores de níquel (aproximadamente $0,014 \text{ mg dm}^{-3}$) contidos no solo em todas as profundidades, provavelmente este solo não foi afetado pela adição de resíduos orgânicos. Porém, Martins (2001) observou que fatores relacionados ao solo, à planta e ao próprio dejetos exerceram controle sobre a disponibilidade desse metal, não representando perigo para a cadeia trófica.

Houve diferença entre épocas com a aplicação de gesso agrícola em todos os tratamentos, quando foram avaliados os teores de cromo. Pôde-se observar que, quando não se utilizou gesso, houve diferença somente no tratamento com esterco bovino. Em

todos os tratamentos em que se observou diferença ($P < 0,05$) os menores teores foram observados na época da seca (Tabela 15).

Nos tratamentos dentro da mesma época, observou-se que, somente dentro da época chuvosa com aplicação de gesso agrícola, houve diferença entre os tratamentos, sobressaindo o tratamento com aplicação do adubo compostado. Em relação à aplicação de gesso agrícola ou não nos tratamentos, pôde-se observar que houve diferença estatística dentro do adubo compostado na época chuvosa.

Com relação aos teores de cádmio, pôde-se observar que houve diferença entre épocas com a aplicação de gesso agrícola nos tratamentos com cama de frango e adubo compostado e, quando não se utilizou gesso, houve diferença nos tratamentos com adubo compostado e cama de peru. Em todos os tratamentos em que se observou diferença ($P < 0,05$) os menores teores foram observados na época da seca.

Avaliados os tratamentos dentro da mesma época, observou-se que somente dentro da época chuvosa sem a aplicação de gesso agrícola houve diferença entre os tratamentos, sobressaindo o tratamento com aplicação da cama de peru com um teor de $0,514 \text{ mg kg}^{-1}$, apesar deste maior teor não houve diferença ($P < 0,05$) do tratamento com aplicação do adubo compostado e esterco bovino.

Na aplicação de gesso agrícola ou não nos tratamentos, pôde-se observar que houve diferença estatística dentro da cama de peru na época chuvosa.

Em relação aos teores de chumbo, pôde-se observar que houve diferença entre épocas somente sem a aplicação de gesso agrícola no tratamento com cama de peru. Em todos os tratamentos em que se observou diferença ($P < 0,05$) os menores teores foram observados na época dois.

Nos tratamentos dentro da mesma época observou-se que somente dentro da época chuvosa sem a aplicação de gesso agrícola houve diferença entre os tratamentos, sobressaindo o tratamento com aplicação da cama de peru com um teor de $29,94 \text{ mg kg}^{-1}$, apesar deste maior teor não houve diferença ($P < 0,05$) do tratamento com aplicação do adubo compostado e esterco bovino. Em relação à aplicação de gesso agrícola ou não nos tratamentos, pôde-se observar que houve diferença estatística dentro da cama de peru na época chuvosa.

Neste experimento observou-se a presença dos metais em todas as amostras de colmo avaliadas, porém com teores considerados baixos. Esses resultados divergem dos trabalhos de Oliveira e Mattiazzo (2001) e Camilotti (2007) que não detectaram Cd, Cr, Ni e Pb no colmo de cana-de-açúcar cultivada em solo adubado com lodo de esgoto. Marques

e colaboradores (1998) também não conseguiu detectar Cd, Cr e Pb em colmo estabelecido em solo que recebeu o resíduo.

Deve-se ressaltar que os níveis de metais encontrados neste trabalho, nas plantas de cana-de-açúcar, estão aquém dos valores mínimos necessários para o surgimento de sintomas de toxicidade em plantas (MENGEL; KIRKBY, 1987), em FAQUIN (2005). A baixa ocorrência ou mesmo a presença dentro da faixa adequada de metais nas partes aéreas de plantas de cana-de-açúcar também foi relatada por SILVA e colaboradores (2000), os quais, analisando plantas cultivadas em solos que receberam lodo de esgoto nas doses de 20; 40 e 80 t ha⁻¹, não detectaram a presença de metais nas partes aéreas das plantas, porém verificaram o acúmulo desses elementos nas raízes. Comportamentos dessa natureza podem ser explicados pelos mecanismos diversos de proteção das plantas aos metais pesados (MARQUES et al., 2002).

De acordo com Sobral e Weber (1983), os teores de micronutrientes nas partes das plantas de cana-de-açúcar variam em função da variedade, de “cana-planta” para “cana-soca”, com a idade das plantas e com o tipo de solo onde são cultivadas. No entanto, considerando apenas como uma referência os dados apresentados para teores de Cu, Fe, Mn e Zn (RAIJ et al., 1996) obtidos para a variedade RB 867515 de ciclo médio/tardia, denominada de “cana-de-ano e meio”, pode-se afirmar que os teores obtidos no presente trabalho, nos colmos e nas folhas, ocorreram dentro das variações encontradas por estes autores.

4.3. Análises de solo

4.3.1. Micronutrientes

Para os teores de cobre (Tabela 16) no solo nas profundidades de 0 – 15, 15 – 30, 30 – 45, 45 – 60 cm, avaliando as diferenças entre épocas, e também as diferenças entre aplicação de gesso e sem gesso dos tratamentos dentro de cada época não observou-se diferença ($P < 0,05$).

Para a profundidade de 0 – 15 cm, avaliando-se as diferenças dos tratamentos dentro da mesma época observou-se que, dentro da época chuvosa, com a aplicação de gesso agrícola houve diferença entre os tratamentos, sobressaindo a cama de frango com teor de $1,15 \text{ mg dm}^{-3}$, porém não diferiu estatisticamente da cama de peru. Já na época da seca também com a aplicação de gesso houve diferença entre os tratamentos com aplicação da cama de frango com um teor de $0,9 \text{ mg dm}^{-3}$. Apesar deste maior teor, não houve diferença ($P < 0,05$) do tratamento com aplicação da cama de peru, adubo compostado e esterco bovino.

Para a profundidade de 15 – 30 cm, observando as diferenças dos tratamentos dentro da mesma época, constatou-se que, dentro da época seca, sem a aplicação de gesso agrícola houve diferença entre os tratamentos, sobressaindo a cama de frango, porém não diferiu estatisticamente da cama de peru, esterco bovino e adubo compostado.

Nas profundidades de 30 – 45 e 45 – 60 cm, avaliando as diferenças dos tratamentos dentro da mesma época, pôde-se observar que não houve diferença ($P < 0,05$) entre eles.

A imobilidade do Cu também foi observada por Williams e colaboradores (1987), Dowdy e colaboradores (1991) e Chino e colaboradores (1992) em experimentos de campo, com a aplicação de elevadas doses de lodo de esgoto, monitorados por períodos de respectivamente 9, 14 e 12 anos.

Chaves e Farias (2009) observaram que o Cu e o Mn, normalmente, encontram-se em níveis muito baixos em áreas cultivadas com cana-de-açúcar. A sua aplicação deve ser realizada na adubação de manutenção, pois esses elementos, além de diminuir a produção, resultam em caldo com maior teor de fenóis e amido. Esses compostos, durante o processamento da cana ou estocagem do açúcar se oxidam, alterando a cor do alimento ou da bebida.

Segundo Ribeiro Filho e colaboradores (2001), a adição de gesso não alterou a distribuição desse metal pesado em decorrência possivelmente da competição do cálcio pelos novos sítios de adsorção, desfavorecendo a associação desse elemento a esses sítios. O gesso costuma ser associado à solubilidade dos metais por meio do deslocamento desse pelo complexo de troca pelo Ca. Neste experimento, avaliando as diferenças entre aplicação com gesso e sem gesso, não se observou diferença nos tratamentos dentro de cada época ($P < 0,05$) para nenhuma profundidade.

Para os teores de ferro no solo (Tabela 17) nas profundidades de 0 – 15 cm, pôde-se observar que houve diferença entre épocas somente sem a aplicação de gesso agrícola no tratamento com adubo químico, em que ($P < 0,05$) o menor teor foi observado na época da seca.

Para a profundidade de 0 – 15 cm, observando as diferenças dos tratamentos dentro da mesma época observou-se que dentro da época chuvosa, sem a aplicação de gesso agrícola, houve diferença entre os tratamentos, sobressaindo o adubo químico com teor de $18,50 \text{ mg dm}^{-3}$, porém não diferiu ($P < 0,05$) da cama de frango, esterco bovino e adubo compostado.

Para a profundidade de 15 – 30 cm, pôde-se observar que houve diferença entre épocas com e sem a aplicação de gesso agrícola em todos os tratamentos e sempre ($P < 0,05$) o menor teor foi observado na época dois.

Quando foram avaliadas as diferenças dos tratamentos dentro da mesma época, observou-se que não houve diferença entre os tratamentos.

Para a profundidade de 30 – 45 cm, pôde-se observar que houve diferença entre épocas com a aplicação de gesso agrícola no tratamento com cama de peru, e sem aplicação de gesso no tratamento com esterco bovino. Nestes tratamentos em que se observou diferença ($P < 0,05$) os menores teores foram constatados na época chuvosa.

Nos tratamentos dentro da mesma época observou-se que não houve diferença entre os tratamentos.

Para a profundidade de 45 - 60 cm, pôde-se observar que houve diferença entre épocas com a aplicação de gesso agrícola no tratamento com cama de peru. Neste tratamento em que se observou diferença ($P < 0,05$) o menor teor foi observado na época chuvosa.

Observando as diferenças dos tratamentos dentro da mesma época, constatou-se que dentro da época da seca sem a aplicação de gesso agrícola houve diferença entre os tratamentos, sobressaindo o esterco bovino, porém não diferiu estatisticamente da cama de frango, cama de peru e adubo compostado.

Os teores de ferro observados neste experimento encontram-se dentro da faixa de ocorrência nos solos brasileiros, que é de 35 mg dm^{-3} (Silva et al., 1998).

No que concerne aos tratamentos com e sem aplicação de gesso agrícola, os resultados obtidos para os teores de Fe e Cu sugerem que a calagem, previamente realizada, tenha sido eficientemente incorporada, em se tratando da cultura da cana-de-açúcar que requer sulcagem profunda, este manejo pode ter sido favorecido pela textura do solo, cerca de 70% de areias (Tabela 6).

Para os teores de manganês no solo (Tabela 18) nas profundidades de 0 – 15 cm, pôde-se observar que houve diferença entre épocas somente com a aplicação de gesso agrícola no tratamento com adubo compostado. Neste tratamento em que se observou diferença ($P < 0,05$) o menor teor foi constatado na época da seca.

Nesta mesma profundidade, observando as diferenças dos tratamentos dentro da mesma época observou-se que dentro da época chuvosa com a aplicação de gesso agrícola houve diferença entre os tratamentos, sobressaindo a cama de frango com teor de $8,675 \text{ mg dm}^{-3}$, porém não diferiu estatisticamente da cama de peru e esterco bovino.

Avaliando as diferenças entre aplicação de gesso e sem gesso dos tratamentos dentro de cada época observou-se diferença ($P < 0,05$) para a cama de frango dentro da época chuvosa, obtendo o maior teor o tratamento que não recebeu aplicação do gesso.

Para a profundidade de 15 – 30 cm, avaliando as diferenças entre aplicação de gesso e sem gesso dos tratamentos dentro de cada época observou-se diferença ($P < 0,05$) para o tratamento com adubo químico dentro da época chuvosa, sobressaindo o tratamento sem a aplicação de gesso agrícola.

Nas profundidades de 30 – 45 e 45 – 60 cm, pôde-se observar que não houve diferença ($P < 0,05$) entre épocas, assim como não houve diferenças dos tratamentos dentro da mesma época, e nem diferenças entre aplicação de gesso e sem gesso dos tratamentos dentro de cada época.

Para os teores de zinco no solo (Tabela 19) nas profundidades de 0 – 15 cm, pôde-se observar que houve diferença entre épocas com a aplicação de gesso agrícola no tratamento com cama de frango e esterco bovino, e sem a aplicação de gesso agrícola no tratamento com adubo químico.

Nesta mesma profundidade, avaliando as diferenças dos tratamentos dentro da mesma época observou-se que dentro da época da seca com a aplicação de gesso agrícola houve diferença entre os tratamentos, sobressaindo-se a cama de frango com teor de $13,0 \text{ mg dm}^{-3}$, porém não diferiu estatisticamente do tratamento com esterco bovino e adubo compostado. Já sem a aplicação de gesso houve diferença entre os tratamentos dentro da época da seca, destacando-se a cama de peru a qual não diferiu da cama de frango.

Avaliando as diferenças entre aplicação de gesso e sem gesso dos tratamentos dentro de cada época, observou-se diferença ($P < 0,05$) para a cama de peru e o esterco bovino dentro da época da seca, obtendo o maior teor o tratamento que não recebeu aplicação do gesso, e o que recebeu, respectivamente.

Para a profundidade de 15 – 30 cm, pôde-se observar que houve diferença entre épocas com a aplicação de gesso no tratamento com adubo compostado, e sem a aplicação de gesso agrícola o tratamento com cama de peru e adubo compostado. Nestes tratamentos em que se observaram diferenças ($P < 0,05$) os menores teores foram observados na época da seca para o adubo compostado, e na época chuvosa a cama de peru.

Nesta mesma profundidade, observou-se que houve diferença entre aplicação de gesso e sem gesso nos tratamentos com adubo compostado na época chuvosa, e com cama de peru na época da seca.

Na profundidade de 30 – 45 cm, verificou-se que houve diferença entre épocas somente sem aplicação de gesso nos tratamentos com adubo químico e cama de frango. Nestes tratamentos em que se observou diferença ($P < 0,05$) os menores teores foram constatados na época chuvosa.

Avaliando as diferenças entre aplicação de gesso e sem gesso dos tratamentos dentro de cada época observou-se que não houve diferença ($P < 0,05$).

Na profundidade de 45 – 60 cm, pôde-se observar que não houve diferença entre épocas em todos os tratamentos com e sem aplicação de gesso agrícola.

Avaliando as diferenças entre aplicação de gesso e sem gesso dos tratamentos dentro de cada época observou-se diferença ($P < 0,05$) para o esterco bovino dentro da época da seca, obtendo o maior teor o tratamento que recebeu aplicação do gesso.

Nas profundidades de 15 – 30, 30 – 45 e 45 – 60 cm avaliando as diferenças dos tratamentos dentro da mesma época, observou-se que não houve diferenças ($P < 0,05$) entre si.

O gesso não influenciou as formas do Zn. O Cu ocorreu em baixa concentração na fração trocável, apresentando teores em torno de $1,0 \text{ mg kg}^{-1}$ nos diversos tratamentos. O Cu é apontado como sendo um elemento que apresenta grande afinidade pelos ligantes orgânicos do solo. Desse modo, o complexante DTPA pode ter sido sensível a essa afinidade do Cu pelos ligantes orgânicos, fato esse também verificado por Borges e Coutinho (2004).

Os teores de Fe e Zn foram os que apresentaram os maiores índices acumulados no solo, o que se explica pelas suas concentrações no resíduo.

Neste experimento observou-se que as concentrações médias dos micronutrientes avaliados foram crescentes e ocorreram na seguinte sequência: $\text{Fe} < \text{Zn} < \text{Mn} < \text{Cu}$ resultado muito parecido obtido por Pigozzo e colaboradores (2008) $\text{Fe} < \text{Mn} < \text{Zn} < \text{Cu}$ com aplicação do lodo de esgoto, esse resultado reflete que o comportamento nos solos em relação aos micronutrientes quando aplicados através de resíduos orgânicos é muito similar.

4.3.2. Metais pesados

Nas amostras de solo, coletadas nas profundidades de 0 – 15, 15 – 30, 30 – 45, 45 – 60 cm, não foram detectados os metais Cd e Cr por estarem abaixo do limite de determinação do método analítico utilizado, o que significa dizer que os teores de Cd ²⁺

foram $< 0,08 \text{ mg L}^{-1}$ e $\text{Cr} < 0,10 \text{ mg L}^{-1}$ (OLIVEIRA; MATTIAZZO, 2001). Por esta razão os resultados não foram apresentados nesse trabalho, ou seja, os adubos orgânicos aplicados não influenciaram o acúmulo desses elementos no solo.

Para os teores de níquel no solo (Tabela 20) nas profundidades de 0 – 15 cm, pôde-se observar que houve diferença entre épocas sem a aplicação de gesso agrícola no tratamento com cama de frango. Neste tratamento em que se observou diferença ($P < 0,05$) o menor teor foi constatado na época chuvosa.

Nesta mesma profundidade, avaliando as diferenças dos tratamentos dentro da mesma época, observou-se que dentro da época chuvosa sem a aplicação de gesso agrícola houve diferença entre os tratamentos, sobressaindo-se a cama de frango e cama de peru, porém não diferiu estatisticamente do tratamento com adubo químico e adubo compostado. Já sem a aplicação de gesso na época da seca houve diferença entre os tratamentos, destacando-se a cama de frango a qual não diferiu do tratamento com adubo químico.

Avaliando as diferenças entre aplicação de com e sem gesso, dos tratamentos dentro de cada época observou-se diferença ($P < 0,05$) para a cama de frango dentro da época da seca, obtendo o maior teor o tratamento que não recebeu aplicação do gesso. Pôde-se observar, também, diferença no tratamento com esterco bovino, o qual teve o maior teor na aplicação com gesso agrícola.

Para a profundidade de 15 – 30 cm, foram avaliadas as diferenças entre aplicação de com e sem gesso dos tratamentos dentro de cada época e pôde-se observar que houve diferença ($P < 0,05$) para o esterco bovino dentro da época da seca, obtendo o maior teor o tratamento que não recebeu aplicação do gesso.

Nas profundidades de 15 – 30, 30 – 45 e 45 – 60 cm, pôde-se observar que não houve diferença ($P < 0,05$) entre os tratamentos dentro da mesma época, e nem diferenças entre aplicação de gesso e sem gesso dos tratamentos dentro de cada época.

A adição de resíduos orgânicos, assim como o adubo químico, elevou os teores de Zn no solo, porém não afetou os teores de Ni, caso também observado por Secco (2007). Em todas as profundidades as doses de Ni encontradas foram bem abaixo da faixa tolerável pela planta (MENGEL; KIRKBY, 1987).

As baixas concentrações encontradas nas amostras poderiam ser devido a um mecanismo qualquer de retenção desses metais nas raízes das plantas ou até mesmo por um possível antagonismo desses elementos com cátions bivalentes, como Ca^{2+} , Mn^{2+} e Zn^{2+} , presentes em maiores quantidades no solo (OLIVEIRA; MATTIAZZO, 2001).

Para os teores de chumbo no solo (Tabela 21) na profundidade de 30 – 45 cm, pôde-se observar que não houve diferença entre épocas para os tratamentos.

Avaliando as diferenças dos tratamentos dentro da mesma época observou-se que dentro da época da seca sem a aplicação de gesso agrícola houve diferença entre os tratamentos, sobressaindo o tratamento com esterco bovino, porém não diferiu estatisticamente do tratamento com cama de frango, cama de peru e adubo compostado.

Avaliando as diferenças entre aplicação de gesso e sem gesso dos tratamentos dentro de cada época observou-se diferença ($P < 0,05$) para o adubo químico, dentro da época chuvosa e dentro da época da seca houve diferença dentro do tratamento com esterco bovino, obtendo o maior teor o tratamento que não recebeu aplicação do gesso.

Nas profundidades (0 – 15, 15 – 30 e 45 – 60 cm), pôde-se observar que não houve diferença ($P < 0,05$) entre épocas, assim como não houve diferenças dos tratamentos dentro da mesma época, e nem diferenças entre aplicação de gesso e sem gesso dos tratamentos dentro de cada época.

Com relação ao Pb, verificou-se que houve indícios de sua movimentação abaixo da camada de incorporação do dejetos orgânico. É importante notar o aumento nos teores naturais do solo, em função da profundidade. Considerando-se que os acréscimos nos teores de Pb na camada de 15 – 30 cm foram relativamente pequenos e que quando comparados com àqueles das camadas inferiores foram iguais ou até menores, é possível que tenha ocorrido alguma contaminação por ocasião da amostragem do solo. Dessa forma, acredita-se que os resultados não foram suficientemente claros para atestar a movimentação do Pb em profundidade.

Os valores de referência de qualidade (VRQ) para solos, apresentados pela CETESB (2005), no que se refere aos teores de Ni e Pb, respectivamente, quando menores que 13 e 17 mg kg⁻¹ indicam situações de não contaminação. Este fato ocorre no solo do experimento (Tabelas 20 e 21), pois estes elementos se encontram muito abaixo desses níveis, situando-se próximo de zero.

Deve-se considerar que a adição de matéria orgânica promove o deslocamento de metais de outros sítios de adsorção (McBRIDE et al., 1997), podendo os metais com maior afinidade pela matéria orgânica, como o Pb, serem facilmente adsorvidos; no entanto, estes complexos orgânicos podem ser muito solúveis. Vale ressaltar que neste experimento ambos os comportamentos não ocorreram, pois o comportamento dos tratamentos onde se adicionou o material orgânico foi equivalente à adubação química.

Em síntese, pôde-se observar que no delineamento experimental uma das fontes de variação estudadas foi a aplicação ou não de gesso agrícola, essa hipótese baseou-se no uso do gesso que poderia promover uma melhoria no solo na faixa subsuperficial o que seria importante para o cultivo da cana-de-açúcar, uma cultura semiperene que possibilita vários cortes após o plantio e também motivado pelo fornecimento de cálcio (RAIJ, 2008) que poderia aumentar adsorção de alguns elementos avaliados nesse experimento reduzindo, assim, a toxicidade destes na solução. Esse efeito é atribuído ao gesso por ele ter ação floculante através de liberação do cálcio (MEHLICH; TEWARI, 1974), porém ao analisar os resultados das diferentes tabelas, observou-se pouca variação entre os tratamentos com e sem aplicação de gesso.

Em face dos resultados, pôde-se atribuir que o efeito do gesso adicionado pode não ter sido evidente em função da forma de aplicação, assim a amostragem não refletiu o comportamento pontual da aplicação do gesso. Outro fator importante a ser lembrado é que o gesso agrícola não é fonte de micronutrientes e nem tampouco foi avaliado se havia a presença de metais pesados em sua composição, conforme já foi observado em experimentos descritos por Raji (2008), mas a manutenção dos resultados é importante, pois demonstra que sua aplicação pouco interfere no estudo.

Além disso, esse trabalho apresenta subdivisões em diferentes linhas de pesquisa, sendo o uso do gesso fundamental para o estudo dos atributos físicos do solo avaliados (GOMIDES, 2009).

Os resultados obtidos para metais pesados evidenciaram, de maneira geral, que, pelo menos em curto prazo, o emprego de dejetos orgânicos nas taxas e frequência de aplicações utilizadas no mesmo tipo de solo no presente trabalho, não deverá acarretar problemas à cultura da cana-de-açúcar, no que concerne a teores de metais pesados. Da mesma forma que em áreas tratadas com lodo de esgoto (McBRIDE, 1995), as maiores dúvidas que geram inseguranças a respeito dos adubos orgânicos estão ligadas aos efeitos em longo prazo que, porventura, venham a ocorrer com esta prática, essencialmente após a interrupção das aplicações.

McBride (1995) chamou a atenção para vários fatores na elaboração de normas para o uso de dejetos orgânicos. Destacaram, entre outros, aspectos relacionados com a possibilidade de interação fitotóxica entre os metais pesados, a falta de pesquisas em longo prazo que comprovem a segurança dos limites estabelecidos e o desconhecimento do destino desses elementos no solo após serem alcançados os limites de acúmulo, nas áreas em que estiverem sendo aplicados os resíduos orgânicos.

São necessários novos estudos visando ao fracionamento desses metais por meio de extrações sequenciais e considerando variações no pH do solo, os quais poderão trazer explicações conclusivas para situações específicas. Assim como, após as aplicações contínuas ou interrupções da aplicação do resíduo orgânico deve-se considerar que os metais presentes no composto de acordo com Oliveira e colaboradores (2002), em função da degradação do C orgânico e aumento da acidez poderão propiciar a solubilização desses elementos

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos do presente trabalho permitiram concluir que:

Os teores foliares dos micronutrientes quando adubadas com cama de frango, cama de peru, adubo compostado, esterco bovino e adubo químico, em Latossolo Vermelho distrófico, apresentaram-se abaixo da faixa considerável ideal para a cultura da cana-de-açúcar, exceto o ferro. Os metais pesados, somente o cromo na 1ª época de amostragem ultrapassou o limite crítico de concentração na planta;

Os teores de micronutrientes no colmo na maioria dos tratamentos apresentaram a concentração dentro da faixa ideal para a cultura. Os teores de Ni, Cr, Cd e Pb não ultrapassaram o limite crítico de metais pesados na planta;

A avaliação da concentração dos micronutrientes e metais pesados no solo esteve abaixo da faixa recomendada, exceto o Zn. Não foi detectado presença de Cd e Cr. Portanto, estes elementos nestas condições de fertilizantes e solo não causam contaminação;

O gesso não influenciou nos teores de micronutrientes e metais pesados no solo e na parte aérea da planta.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBERTINI, S.; CARMO, L. F. do; PRADO FILHO, L. G. do. Utilização de serragem e bagaço de cana-de-açúcar para absorção de cádmio. **Revista Ciência e Tecnologia de Alimentos**. Campinas, 27 (1). p. 113 – 118, jan – març.2007.

AMARAL SOBRINHO, N. M. B.; VELLOSO, A. C. X.; OLIVEIRA, C. Solubilidade de metais pesados em solo tratado com resíduo siderúrgico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.21, p.9-16, 1997.

AMORIM, L. C. M.; BRANDÃO, R. P. **Importância dos micronutrientes e biostimulantes na cultura da cana-de-açúcar**. Informativo Grupo Bio Soja, junho/ 2006. <http://www.biosoja.com.br/downloads/informativo%203.pdf>

ANJOS, A. R. M.; MATTIAZZO, M. E. Extratores para Cd, Cu, Cr, Mn, Ni, Pb e Zn em Latossolos tratados com biossólidos e cultivados com milho. **Scientia Agricola**, v.58, p.337-344, 2001.

BATAGLIA, O. C.; FURLANI, A. M. C.; TEIXEIRA, J. P. F.; FURLANI, P. R.; GALLO, J. R. **Métodos de análises químicas de plantas**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1983. 48p. (Boletim, 78).

BERTON, R. S. **Riscos de contaminação do agroecossistema com metais pesados**. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, A.C. (Eds). *Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto*. Jaguariúna, SP: EMBRAPA Meio Ambiente, 2000. p. 259-268.

BORGES, M. R. & COUTINHO, E. L. M. Metais pesados do solo após aplicação de biossólido. II – Disponibilidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 28:557-568, 2004.

CAMILOTTI, F.; MARQUES, M. O.; ANDRIOLI, I.; SILVA, A. R. da; TASSO JÚNIOR, L. C.; NOBILE, F. O. de. Acúmulo de metais pesados em cana-de-açúcar mediante a aplicação de lodo de esgoto e vinhaça. **Engenharia Agrícola**, vol. 27, n. 1. Jaboticabal, jan./abr. 2007.

CASAGRANDE, A. A. **Tópicos da morfologia e fisiologia da cana-de-açúcar**. Jaboticabal: FUNEP, 1991. 157p.

CENPEC: INSTITUTO CENTRO DE ENSINO TECNOLÓGICO. **Produtor de cana-de-açúcar**. 2ª ed. rev. – Fortaleza: Edições Demócrito Rocha; Ministério da Ciência e Tecnologia, 2004. 64 p.

CETESB: COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL **Métodos de Avaliação da toxicidade de poluentes a organismos aquáticos**. Cursos e Treinamentos. CETESB, vol. 1, São Paulo, 2005. 312 p.

- CHAVES, L. H. G.; FARIAS, C. H. A. Variabilidade espacial de cobre e manganês em Argissolo sob cultivo de cana-de-açúcar. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, CE v. 40, n. 2, p. 211-218, 2009.
- CHINO, M. et al. Behavior of zinc and copper in soil with long term application of sewage sludges. **Soil Science and Plant Nutrition**, v.38, p.159-167, 1992.
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5ª Aproximação**. Viçosa – MG, 1999. 359p.
- CRISPIM, J. E. **A cana-de-açúcar em Santa Catarina**. Secretaria da agricultura e abastecimento Empresa de pesquisa agropecuária e extensão rural de Santa Catarina. Urussanga - SC, 2006.
- DEMATTE, J.A.M.; EPIPHANIO, J.C.N. & FORMAGGIO, A.R. Influencia da matéria orgânica e de formas de ferro na reflectância de solos tropicais. **Bragantia**, 62:451-464, 2003a.
- DOWDY, R. H.; LATTERELL, J. J.; HINESLY, T. D.; GROSSMAN, R. B.; SULLIVAN, D. L. Trace metal movement in the aerobic ochraqualf following 14 years of annual sludge applications. **Journal of Environmental Quality**, v.20, p.119-123, 1991.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solos**. 2 ed. rev. e atual. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997. 212 p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Levantamento de reconhecimento de média intensidade dos solos e avaliação de aptidão agrícola das terras do Triângulo Mineiro**. Rio de Janeiro, 1982, 526 p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, 1979. n. p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília, p.412, 1999.
- FAQUIN, V. **Nutrição mineral de plantas**. Textos acadêmicos. Lavras: UFLA/FAEPE, 2005. 183 p.
- FERNANDES, A. J. **Manual da cana-de-açúcar**. Piracicaba: Livroceres, 1984. 196 p.
- FERNANDES, M. S. **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. 432 p.
- FERNANDES, R. B. A.; WALCRISLEI, V. L. FONTES, P. F. & FONTES, L. E. F. Avaliação da concentração de metais pesados em áreas olerícolas no estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n. 1, p. 81 – 93, 2007.

FERREIRA, D. F. **Análises estatísticas por meio do Sisvar para o Windows versão 4.0** I: Reunião anual da região brasileira da sociedade internacional biometria, 45., 000, São Paulo. Anais..., São Paulo: UFSCAR, 2000. p. 255-258.

FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P. da. **Micronutrientes na agricultura**. Piracicaba: POTAFOS/CNPq, 1991. 734 p.

FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P. da.; RAIJ, B. V.; ABREU, C. A. de. **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura**. Jaboticabal: CNPq/FAPESP/POTAFOS, 2001. 600 p.

FERREIRA, M. M.; DIAS JÚNIOR, M. de S. **Física do Solo**. Curso de Pós-Graduação “Latu Sensu” (Especialização) à distância: Solos e Meio Ambiente. Lavras: UFLA/FAEPE, 2001. 252 p.

FRAME, D. D.; ANDERSON, G. L. Nutrient content of utah turkey litter AG/Poultry /Waste Management 01- **University Utah State** April, 2003. Disponível em: <http://extension.usu.edu> Acesso em maio 2004.

FUNDAÇÃO CARGILL. **Micronutrientes**. Campinas, 1982. 124 p.

FURTINI NETO, A. E.; VALE, F. R. do; RESENDE, A. V. de; GUILHERME, L. R. G.; GUEDES, G. A. de A.. **Fertilidade do solo**. Textos acadêmicos. Lavras: UFLA/FAEPE, 2001. 252 p.

GARCIA, W. J.; BLESSIN, C. W.; SANDFORD, H. W. & INGLET, G. E. **Translocation and accumulation of seven heavy metals in tissues of corn plants grows on sludge-treated stripmined soil**. Journal of Agricultural. Food Chemistry, 27:1088 – 1094, 1979.

GOMIDES, J. do N. **Comportamento físico de Latossolo cultivado com cana-de-açúcar e adubado com dejetos de animais de criação intensiva**. 2009. 100p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/ Solos) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.

IAA/PLANALSUCAR. **Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil**. Coleção Planalsucar, nº 2. Piracicaba, 1983. 369 p.

IRVING, H. & WILLIAMS, R. J. P. Order of stability of metal complexes. **Nature**, Washington, 162:746-7, 1948.

JOSINO, S. A.; COUTINHO, H. D. M.; PESSOA, H. de L. **Características de cultivo e da nutrição mineral em plantios de cana-de-açúcar**. CONCEITOS, julho de 2004 a julho de 2005. p. 133-141.

KIEHL, E. J. **Fertilizantes orgânicos**. Editora Agronômica “Ceres” Ltda. Piracicaba, 1985. 492 p.

KONZEN, E. A. **Fertilização das lavouras e pastagem com dejetos de suínos e cama de aves**. V Seminário técnico da cultura do milho. Videira, SC – agosto/ 2003.

- LAKE, D. L. Sludge disposal to land. In: LESTER, J.N. **Heavy metals in wastewater and sludge treatment process**. Boca Raton: CRC Press, 1987. v.2, p.91-130.
- LIMA, G. J. M. Nutrição de suínos: Ferramenta para reduzir a poluição causada pelos dejetos e aumentar a lucratividade do negócio IN: **Gestão ambiental na suinocultura** Eds. SEGANFREDO, M.A., EMBRAPAA informação tecnológica, Brasília-DF, 2007. 302 p.
- LINDSAY, W. L. **Chemical equilibria in soils**. New York: John Wiley & Sons, 1979. 449 p.
- LOPES, A. S. **Micronutrientes: filosofias de aplicação e eficiência agrônômica**. Boletim técnico, nº 8. São Paulo: ANDA, 1999. 72 p.
- MADEIROS, L. B.; VIEIRA, A. O.; AQUINO, B. F. Micronutrientes e silício nas folhas de cana-de-açúcar: escória de siderurgia aplicado no solo. **Revista Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Vinhal, v. 6, nº 1, 2009, p. 27 – 37.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. de. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2ª ed., rev. atual. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319 p.
- MARQUES, J. da C.; SAAB, S. da C.; MELLO, W. J. de.; MARTIN NETO, L. **Avaliação das características de ácido húmico em solos sob adição de lodo de esgoto**. Embrapa: CNPDIA nº 23, ago. /1998. p. 1-4.
- MARQUES, M. O.; MELO, W. J. de.; MARQUES, T. A. **Metais pesados e o uso de biossólidos na agricultura**. In: TSUTIYA, T.; COMPARINI, J.B.; SOBRINHO, P.A.; HESPANHOL, I.; CARVALHO, P. de C. T. de.; MELFI, A. J.; MELO, W.J. de.; MARQUES, M.O. (Eds). *Biossólidos na Agricultura*. São Paulo: SABESP, 2002. 365-403p.
- MARTINS, A. L. C. **Fitodisponibilidade de metais pesados em Latossolo Vermelho tratado com lodo de esgoto e calcário**. 2001. 120 f. Dissertação (Mestrado em Gestão de Recursos Agroambientais) – Instituto Agrônômico de Campinas, Campinas, 2001.
- MATOS, A. T.; FONTES, M. P. F.; JORDÃO, C. P.; COSTA, L. M. Mobilidade e formas de retenção de metais pesados em Latossolo Vermelho Amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.20, p.379-386, 1996.
- MATOS, A. T.; VIDIGAL, S. M.; ET AL – Compostagem de alguns resíduos orgânicos utilizando-se águas residuárias da suinocultura como fonte de nitrogênio – **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v.2 n.2 , 1998. p.199-203.
- McBRIDE, M.; SAUVÉ, S. & HENDERSHOT, W. Solubility control of Cu, Zn, Cd and Pb in contaminated soils. **European Journal Soil Science**, 48:337-346, 1997)
- McBRIDE, M. B. Toxic metal accumulation from agricultural use of sludge: are USEPA regulations protective? **Journal Environment Quality**, 24:5-18, 1995.
- MEHLICH, A.; TEWARI, G. P. **The roles of gypsum (calcium sulfate) in agriculture**. Chicago: United States Gypsum, 1974. 168 p.

- MELO, W. J.; MARQUES, M. O.; SILVA, F. C.; BOARETTO, A. E. Uso de resíduos sólidos urbanos na agricultura e impactos ambientais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26, 1997, Rio de Janeiro. **Anais.... Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 1997.1 CD-ROM
- MENEZES, J. F. S.; ALVARENGA, R. C.; SILVA, G. P.; KONZEN, E. A.; PIMENTA, F. F. **Cama de frango na agricultura: perspectivas e viabilidade técnica e econômica.** (boletim técnico/ fundação do ensino superior de rio verde- ano 1-n.3, fevereiro-2004), Rio Verde-GO- FESURV, 2004.
- MENGEL, K. & KIRKBY, E. A. **Principles of plant nutrition.** Bern, Intern. Potash Institute, 1987. 687 p.
- MITCHELL, G. A.; BINGHAM, F. T. & PAGE, A. L. **Yield and metal composition of lettuce and wheat grow on soils amendet eith sewage sludge enriched with cadmium, copper, nickel and zinc.** Journal Enviroment Quality, 7: 165 – 171, 1978.
- MIYASAKA, S.; CAMARGO, O. A. de; CAVALERI, P. A.; GODOY, I. J. de.; WERNER, J. C. et al. **Adubação orgânica, adubação verde e rotação de culturas no estado de São Paulo.** Fundação Cargill, 2ª ed. São Paulo, 1984. 138 p.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL. – Nutrient requirements of domestic animals. N.5. nutrient requirements of beef cattle. 3 ed. Washington. **National Academy of Science**, 1984. 56 p.
- NATIONAL RESEARCH POULTRY (NRP) - **National Academy of Science**, National Academy Press Washington.D.C, 1984.
- NOVAIS, R. F. ; VENEGAS, V. H. A. ; BARROS, N. F. de. ; FONTES, R. L. F. ; CANTARUTTI, R. B. ; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do Solo.** Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Viçosa, 2007. 1017 p.
- OLIVEIRA, I. P.; KLUTHCOUSKI, J.; REYNIER, F. N. **Efeito do fósforo e gesso na produção de feijão e arroz e no comportamento de alguns nutrientes.** In: Seminário sobre uso de fosfogesso na agricultura, 1, Brasília. Anais. Brasília, EMBRAPA-DDT, 1986. p. 45-59.
- OLIVEIRA, F. C. **Disposição de lodo de esgoto e composto de lixo urbano num Latossolo Vermelho-Amarelo cultivado com cana-de-açúcar.** Piracicaba, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2000. 247 p. (Tese de Doutorado)
- OLIVEIRA, F. C.; MATTIAZZO, M. E. Metais pesados em Latossolo tratado com lodo de esgoto e em plantas de cana-de-açúcar. **Scientia Agricola**, v. 58, n. 3, p. 581 – 593, jul./set. 2001.
- OLIVEIRA, F. C.; MATTIAZZO, M. E. Mobilidade de metais pesados em um latossolo amarelo distrófico tratado com lodo de esgoto e cultivado com cana-de-açúcar. **Scientia Agricola**, v. 58, n. 4, p. 807 – 812, out./dez. 2001.

- OLIVEIRA, F. C.; MATTIAZZO, M. E. MARCIANO, C. R. & ABREU JÚNIOR, C. H. Fitodisponibilidade e teores de metais pesados em um Latossolo Amarelo distrófico e em plantas de cana-de-açúcar adubadas com composto de lixo urbano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p. 737 – 746, 2002.
- OLIVEIRA, M. W. de; FREIRE, F. M.; MACÊDO, G. A. R.; FERREIRA, J. J. **Nutrição mineral e adubação da cana-de-açúcar**. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v. 28, nº 239, p. 30-43, jul./ago. 2007.
- ORLANDO FILHO, J. Calagem e adubação da cana-de-açúcar. In: CÂMARA, G.M.S. & OLIVEIRA, E.A.M. (eds.). **Produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: FEALQ/ USP, 1993. p.133-146.
- PARANHOS, S. B. **Cana-de-açúcar. Cultivo e utilização**. Campinas: Fundação Cargill, 2 v. 1987.
- PERES, L. E. P. **Nutrição mineral de plantas**. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2002.
- RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. & FURLANI, A. M. G., eds. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas, Instituto Agrônomo e Fundação IAC, 1996. 285 p. (Boletim Técnico).
- RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Ceres, POTAFOS, 1991. 343 p.
- RAIJ, B. van. **Gesso na agricultura**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2008. 233 p.
- RIBEIRO FILHO, M. R.; SIQUEIRA, J. O.; CURI, N. & SIMÃO, J. B. P. Fracionamento e biodisponibilidade de metais pesados em solo contaminado, incubado com materiais orgânicos e inorgânicos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 495 – 507, 2001.
- SECCO, R. C. **Fitodisponibilidade de zinco, cobre, cromo e níquel de lodo de esgoto (N – Viro Soil) e de dejetos de suínos aplicados superficialmente a Latossolo Vermelho sob plantio direto**. Tese (Doutorado em Ciências), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.
- SEGATO, S. V.; PINTO, A. de S.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J. C. M. **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: CP 2, 2006. 451 p.
- SELBACH, P. A; SÁ, E. L. S. Fertilizantes orgânicos, organominerais e agricultura orgânica In: **Fertilidade dos solos e manejo da adubação de culturas** Eds. BISSANI,C.A.; GIANELLO,C.; TEDESCO;M.J; CAMARGO, F.A.O; Porto Alegre:Gênesis, 2004.328 p.
- SILVA, A. de A. **Potencialidade da recuperação de pastagem de *Brachiaria decumbens* fertilizada com camas de aviário e fontes minerais**. Dissertação (Mestrado em Ciências Veterinárias) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2005.

SILVA, F. C.; BOARETTO, A. E.; BERTON, R. S. ZOTELLI, H. B.; PEXE, C. A. & BERNADES, E. M. Cana-de-açúcar cultivada em solo adubado com lodo de esgoto: nutrientes, metais pesados e produtividade. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 33:1 – 8, 1998.

SILVA, F. C.; BOARETTO, A. E.; BERTON, R. S.; ZOTELLI, H. B.; PEXE, C. A. & BERNADES, E. M. Efeito de lodo de esgoto na fertilidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado com cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 5, p. 831 – 840, maio 2001.

SILVA, F.C et al. Evaluating the residual effects of sludge in root distribution an heavy metals in sugar cane crop. **International Sugar Journal, Glamorgan**, v.102, n.1220, p.424-30, 2000.

SOBRAL, F. A.; WEBER, H. Nutrição mineral da cana-de-açúcar (micronutrientes). In: ORLANDO FILHO, J. (Ed.) **Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil**. Piracicaba: Planalsucar, 1983. cap.5, p.103-122.

SPOSITO, G. **The chemistry of soils**. New York: Oxford, 1989. 277 p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E; SANTARÉM, E. R. **Fisiologia vegetal**. – 3. ed. – Porto Alegre: Artmed, 2004, 719 p.

TAYLOR, R. W.; XIU, H.; MEHADI, A. A.; SHUFORD, J. W.; TADESSE, W. Fractionation of residual cadmium, copper, nickel, lead, and zinc in previously sludge-amended soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.26, p.2193-2204, 1995.

THIAGO, L. R. L. de S.; VIEIRA, J. M. **Cana de açúcar: uma alternativa de alimento para a seca**. COT N° 73, dezembro de 2002. disponível em 25/08/2008 no site <http://www.cnpqc.embrapa.br/publicacoes/cot/COT73.html>

TOKESHI, H. **Cana-de-açúcar**. Organizado por FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P. Micronutrientes na agricultura. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato e CNPq, 1991, p.485-499.

VITTI, G. C; MAZZA, J. A. **Planejamento, estratégias de manejo e nutrição da cultura de cana-de-açúcar**. Encarte técnico: POTAFOS, Informações Agrônômicas n° 97 – março/2002.

VITTI, G. C.; QUEIROZ, F. E. de C.; QUINTINO, T. A. **Micronutrientes na cana-de-açúcar: mitos e realidades**. Piracicaba: 2004.

WILLIAMS, D. E.; VLAMIS, J.; PUKITE, A. H.; COREY, J. E. Trace element accumulation, movement, and distribution in the soil profile from massive applications of sewage sludge. **Soil Science**, v.129, p.119-132, 1980.

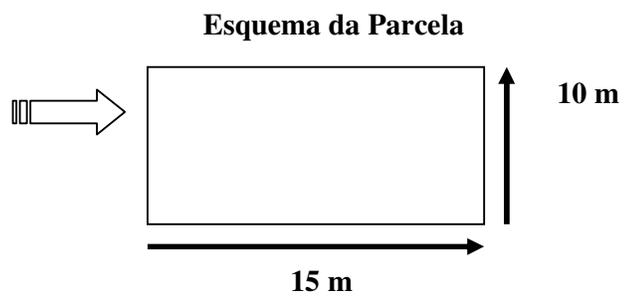
WILLIAMS, D. E.; VLAMIS, J.; PUKITE, A. H.; COREY, J. E. Metal movement in sludge-amended soils: a nine-year study. **Soil Science**, v.143, p.124-131, 1987.

ANEXO

ANEXO A: Croqui da área experimental	69
--	----

CP + G	EB + G
CF	AQ + G
CP	EB
AQ	CP + G
AC + G	AC + G
EB + G	AC
AC	CF
CF + G	CP
EB	AQ
AQ + G	CF + G
BLOCO 4	BLOCO 2
CF + G	AC
AQ + G	AQ
AC + G	EB + G
CP	AQ + G
AC	CF + G
CF	CP + G
CP + G	CP
EB + G	EB
AQ	CF
EB	AC + G
BLOCO 3	BLOCO 1

ANEXO A: Croqui da área experimental



Legenda

- AQ - Adubo Químico
- AQ + G - Adubo Químico com gesso agrícola
- CF - Cama de Frango
- CF + G - Adubo Químico com gesso agrícola
- CP - Cama de Peru
- CP + G - Cama de Peru com gesso agrícola
- AC - Adubo Compostado
- AC + G - Adubo Compostado com gesso agrícola
- EB - Esterco Bovino
- EB + G - Esterco Bovino com gesso agrícola