



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO E TEOR FOLIAR DE NUTRIENTES EM  
CANA-DE-AÇÚCAR SOB DIFERENTES FORMAS DE PREPARO DE SOLO EM  
ÁREA DE REFORMA E EXPANSÃO NO CERRADO

EMMERSON RODRIGUES DE MORAES

UBERLÂNDIA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2011

EMMERSON RODRIGUES DE MORAES

ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO E TEOR FOLIAR DE NUTRIENTES EM  
CANA-DE-AÇÚCAR SOB DIFERENTES FORMAS DE PREPARO DE SOLO EM  
ÁREA DE REFORMA E EXPANSÃO NO CERRADO

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 obtenção do título de  
“Mestre”.

Orientador

Prof. Dra. Regina Maria Quintão Lana

Co-orientador

Prof. Dr. Gaspar Henrique Korndörfer

UBERLÂNDIA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2011

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

---

M827a Moraes, Emmerson Rodrigues de, 1984-  
Atributos químicos do solo e teor foliar de nutrientes em cana-de-açúcar sob diferentes formas de preparo de solo em área de reforma e expansão no cerrado / Emmerson Rodrigues de Moraes. – 2011.

107 f. : il.

Orientador: Regina Maria Quintão Lana.

Co-orientador: Gaspar Henrique Korndörfer.

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

Inclui bibliografia.

1. Agronomia - Teses. 2. Química do solo - Teses. 3. Cana-de-açúcar - Nutrição - Teses. I. Lana, Regina Maria Quintão. II. Korndörfer, Gaspar Henrique, 1953- . III. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. IV. Título.

CDU:

631

---

EMMERSON RODRIGUES DE MORAES

ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO E TEOR FOLIAR DE NUTRIENTES  
EM CANA-DE-AÇÚCAR SOB DIFERENTES FORMAS DE PREPARO DE  
SOLO EM ÁREA DE REFORMA E EXPANSÃO NO CERRADO

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 obtenção do título de  
“Mestre”.

APROVADA em 28 de fevereiro de 2011.

Prof. Dr. Beno Wendling

UFU

Profa. Dra. Adriane Andrade Silva

UFU

Prof. Dr. Adilson Pelá

UEG

Profa. Dra. Regina Maria Quintão Lana

ICIAG-UFU  
(Orientadora)

UBERLÂNDIA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2011

Aos meus pais, Arédio e Sênis,  
meus irmãos Márcia, Sinomar e Marcelo  
com muito amor, gratidão e respeito,

## **OFEREÇO**

À minha noiva Joicy, pelo amor, carinho, apoio e compreensão  
nos meus momentos de ausência,

**DEDICO**

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por me iluminar constantemente.

A Universidade Federal de Uberlândia e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, pela oportunidade e suporte oferecidos.

A Professora Dra. Regina, pela orientação e ensinamentos, amizade, incentivo e contribuição para meu crescimento profissional.

Ao Amigo e Professor Msc. Luis Augusto, pela amizade, ensinamentos, incentivos e dedicação para que esse trabalho fosse realizado.

A Professora Dra. Adriane de Andrade Silva, pelos ensinamentos e amizade, incentivo e contribuição durante esses anos.

A usina Jalles Machado, pela oportunidade de realizar o experimento e seus funcionários que tanto contribuíram de forma eficiente para desenvolver o trabalho.

Aos funcionários do LABAS, Andréa, Manuel, Marinho, Gilda e Eduardo, pela amizade e ensinamentos.

Aos funcionários do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Eduardo e Cida, pela amizade e apoio.

À CAPES, pela concessão da bolsa de estudos no programa de mestrado.

À FAPEMIG, pelo financiamento de projeto.

Aos amigos de Mestrado e todos os Professores que estavam presentes durante meus estudos, pela amizade e ensinamentos.

E a todos que de alguma forma contribuíram para a conclusão deste trabalho.

## SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS	iv
LISTA DE GRÁFICOS	vi
RESUMO	vii
ABSTRACT	viii
CAPÍTULO 1	9
1 - Introdução Geral	9
2. - Referencial Teórico	12
2.1. - Importância do setor sucroalcooleiro	12
2.2. - Fatores correlacionados ao cultivo da cana-de-açúcar	13
2.2.1. - Clima	13
2.2.2. - Solo	15
2.2.3. - Preparo do solo	16
2.2.4. - Nutrição da cana-de-açúcar	18
2.2.5. - Correção da Acidez do solo	21
2.2.6. - Gessagem	22
2.2.7. - Macronutrientes	24
2.2.8. - Micronutrientes	26
REFERÊNCIAS	31
CAPÍTULO 2 - ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO E TEORES FOLIARES DE NUTRIENTES EM ÁREA DE REFORMA DE CANAVIAL SUBMETIDOS A DIFERENTES TIPOS DE PREPARO DE SOLO.	38
Resumo	38
Abstract	39
3.1. - Introdução	40
3.2. - Material e Métodos	42
3.2.1. - Localização e implantação do experimento	42
3.2.2. - Caracterização do clima	42
3.2.3. - Caracterização físico-química do solo	43
3.2.4. - Delineamento experimental	44
3.2.5. - Tratamentos	45
3.2.6. - Plantio da cana-de-açúcar	45
3.2.7. - Avaliações realizadas	46
3.2.7.1. - Análise do solo	46

3.2.7.2. - Análise foliar	46
3.2.8. - Análises estatísticas	47
3.3. - Resultados e Discussão	48
3.3.1. - Avaliação dos atributos químicos do solo	48
3.3.2. - Macronutrientes foliares	61
3.3.3. - Micronutrientes foliares	62
3.5. - Conclusões	64
REFERÊNCIAS	65
CAPÍTULO 3 - ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO E TEORES FOLIARES DE NUTRIENTES EM ÁREA DE EXPANSÃO DE CANAVIAL SUBMETIDOS A DIFERENTES TIPOS DE PREPARO DE SOLO.	68
Resumo	68
Abstract	69
4.1. - Introdução	70
4.2. - Material e Métodos	72
4.2.1. - Localização e implantação do experimento	72
4.2.2. - Caracterização do clima	72
4.2.3. - Caracterização físico-química do solo	73
4.2.4. - Delineamento experimental	74
4.2.5. - Tratamentos	75
4.2.6. - Plantio da cana-de-açúcar	76
4.2.7. - Avaliações realizadas	76
4.2.7.1. - Análise do solo	76
4.2.7.2. - Análise foliar	77
4.2.8. - Análise estatística	77
4.3. - Resultados e Discussão	78
4.3.1. - Atributos químicos do solo	78
4.3.2. - Macronutrientes foliares	92
4.3.3. - Micronutrientes foliares	94
4.4. - Conclusões	96
REFERÊNCIAS	97
5. - CONSIDERAÇÕES FINAIS	100
6. - AGRADECIMENTOS	101
7 - ANEXOS	102
7.1. - Croqui do experimento da área de renovação de canavial	102
7.2. - Croqui do experimento da área de expansão de canavial	103

## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO 1

Tabela		Página
1	Faixas de teores foliares adequados de macro e micronutrientes para a cana-de-açúcar.	20
2	Valores de referência para os principais atributos do solo e teores adequados de macronutrientes e micronutrientes no solo para a cana-de-açúcar.	21

### CAPÍTULO 2

Tabela		
1	Caracterização química do solo da área do experimento amostrado na profundidade de 0 a 20 e 20 a 40 cm, em janeiro de 2009.	44
2	Caracterização física do solo da área do experimento amostrado na profundidade de 0 a 20 e 20 a 40 cm, em janeiro de 2009.	44
3	Valores de pH, acidez potencial (H+Al), trocável (Al) e saturação por Al (m%), sob diferentes formas de preparo do solo e em quatro profundidades.	49
4	Teores de cátions trocáveis e saturação de bases (V %) do solo, em função dos diferentes tipos de preparo de solo e em quatro profundidades.	53
5	Valores de fósforo (P), enxofre (S) e matéria orgânica (M.O.), em função das diferentes formas de preparo de solo e em quatro profundidades.	57
6	Teores de micronutrientes no solo, em função dos diferentes tipos de preparo do solo e em quatro profundidades.	60
7	Teores foliares dos macronutrientes da cana-de-açúcar submetidos a diferentes tipos de preparo de solo no cerrado.	62
8	Teores foliares dos micronutrientes da cana-de-açúcar submetidos a diferentes tipos de preparo de solo no cerrado.	63

### CAPÍTULO 3

Tabela		
1	Caracterização química do solo da área do experimento amostrado na profundidade de 0 a 20 e 20 a 40 cm, em Janeiro de 2009.	74
2	Caracterização física do solo da área do experimento amostrado na profundidade de 0 a 20 e 21 a 40 cm, em Janeiro de 2009.	74
3	Valores de pH, acidez potencial (H+Al), trocável (Al) e saturação por Al (m%) sob diferentes formas de preparo do solo e em quatro profundidades.	79
4	Teores de cátions trocáveis e saturação de bases (V %) do solo, em função dos diferentes tipos de preparo de solo e em quatro profundidades.	85

5	Valores de fósforo (P), enxofre (S) e matéria orgânica (M.O.), em função das diferentes formas de preparo de solo e em quatro profundidades.	88
6	Teores de micronutrientes no solo, em função dos diferentes tipos de preparo do solo e em quatro profundidades.	91
7	Teores foliares dos macronutrientes da cana-de-açúcar submetidos a diferentes tipos de preparo de solo no cerrado.	93
8	Teores foliares dos micronutrientes da cana-de-açúcar submetidos a diferentes tipos de preparo de solo no cerrado.	94

## LISTA DE GRÁFICOS

CAPÍTULO 2		Página
Gráfico		
1	Precipitação pluviométrica média dos períodos anteriores e durante a condução do experimento nos anos de 2009 e 2010.	44
2	Temperatura média em (°C) durante a condução do experimento.	44
CAPÍTULO 3		
Gráfico		
1	Precipitação pluviométrica média dos períodos anteriores e durante a condução do experimento nos anos de 2009 e 2010.	74
2	Temperatura média em (°C) durante a condução do experimento.	74

MORAES, E. R. de. **Atributos químicos do solo e teor foliar de nutrientes em cana-de-açúcar sob diferentes formas de preparo de solo em área de reforma e expansão no cerrado.** 2011. 107f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Uberlândia – MG, 2011.

## RESUMO

A cana-de-açúcar (*Saccharum* spp) desde sua introdução no Brasil é reconhecida pela sua importância no país. Atualmente, seu destaque está na manutenção da matriz energética brasileira com a produção de etanol, diminuindo o consumo de combustíveis fósseis, produção de biomassa e açúcar. Em se tratando de fonte renovável de energia limpa e suas demais aplicações, torna-se indispensável sua produção de maneira sustentável, diminuindo ao máximo o revolvimento do solo. Os cenários de cultivo da cana-de-açúcar encontram-se sob forte presença de máquinas e implementos pesados debilitando as condições físicas, químicas, biológicas e hídricas dos solos e promovendo a degradação dos mesmos. Diante disso torna-se necessário implementar medidas para promover a sustentabilidade da atividade. O objetivo do trabalho foi verificar a influência de diversos manejos de solo nas características químicas do solo e na absorção de macronutrientes e micronutrientes foliares pela cultura. O experimento foi instalado na usina Jalles Machado. A implantação e avaliações do experimento aconteceram de janeiro de 2009 a julho de 2010. Foram estudados dois ambientes de produção sendo um em área de reforma de canavial e outro em área de expansão sobre pastagem. Em cada área o delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados (DBC) com seis tratamentos e quatro repetições e com um total de 34.650 m<sup>2</sup> de área cada. Na área de reforma onde foi plantada a variedade IAC 87-3396 implementou-se os seguintes manejos: dessecação + calcário + aração + grade (T1); calcário + subsolador + grade (T2); dessecação + calcário + plantio direto (T3); dessecação + calcário + subsolador + plantio direto (T4); destruidor de soqueira + calcário + subsolador (T5) e destruidor de soqueira + calcário + grade + aração + grade (T6). Já na área de expansão, utilizou-se a variedade CTC - 2, cujos tratamentos foram: dessecação + calcário + aração + grade (T1); calcário + aração + grade (T2); calcário + grade + aração + grade (T3); dessecação + calcário + plantio direto (T4); dessecação + calcário + subsolador (T5) e grade + calcário + aração + grade (T6). Foram avaliados os atributos químicos do solo: pH, H+Al, Al, m%, V%; a matéria orgânica; os macronutrientes e micronutrientes do solo e foliares. As variáveis analisadas foram submetidas aos testes de pressuposições, a análise de variância e ao teste de Tukey, a 1 e 5% de probabilidade. Concluiu-se que o plantio direto pode ser benéfico ao longo dos anos de cultivo; os manejos de solo implantados no experimento pouco influenciaram em alterações dos atributos químicos do solo neste primeiro ano de avaliações, bem como também não promoveu absorção diferenciada de nutrientes foliares na área de reforma de canavial. Já para a expansão de canavial, os diferentes preparos de solo promoveram alterações nas características químicas do solo e na disponibilidade de macronutrientes foliares, diferente para os micronutrientes onde não foram afetados.

Palavras-chaves: Cana-de-açúcar. Manejo do solo. Ambientes de produção.

MORAES, E. R. de. **Soil chemical attributes and sugar cane leave nutrients under different soil till on new and reform area.** 2011. 107f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Uberlândia – MG, 2011.

### ABSTRACT

Since its introduction in Brazil, Sugarcane (*Saccharum* spp) is known for its importance to the country. Actually, its eminence is due to the energetic source with ethanol production, reducing petrol consume and dependence. Regarding the renewable source of clean energy and its different applications it becomes essential its sustainable production, decreasing the soil till. The scenarios of sugarcane cultivation it is under the strong presence of machines and heavy implements which may cause debilitation of physical, chemical, biological and hydric soil conditions, forcing soil degradation. Facing this, it becomes necessary to implement practices to promote the sustainability of the activity. However the objective of the present work was to verify the influence of different tillage over soil chemical properties and the macro and micronutrients absorptions by the leaves. The trial was set at Jalles Machado Mill and the planting and evaluations were done from January 2009 and July 2010. There were studied two different environment productions being one a sugarcane renovation area and the other a expansion area over pasture. In each one of the areas the experimental design utilized was a randomized blocks with six treatments and four replications adding a total area of 34.650 m<sup>2</sup> each area. At the renovation area it was planted the IAC 87-3396 variety and it was set the following tills: desiccation + limestone + plowing + harrow (T1); limestone + subsoiler + plowing (T2); desiccation + limestone + zero till (T3); desiccation + limestone + subsoiler + zero till (T4); ratton destroyer + limestone + subsoiler (T5); ratton destroyer + limestone + plowing + harrow + plowing (T6). Already at the expansion area there were set the following treatments, using the variety CTC -2: desiccation + limestone + harrowing + plowing (T1); limestone + harrowing + plowing (T2); limestone + plowing + harrowing + plowing (T3); desiccation + limestone + zero till (T4); desiccation + limestone + subsoiler (T5) e plowing + limestone + harrowing + plowing (T6). There were evaluated the following soil chemical attributes: pH, H+Al, Al, m%, V%; the organic matter; macronutrients and micronutrients from soil and plant leaves. The analyzed variables were submitted to presuppositions test, variance and Tukey at 1 and 5% of probability. It was conclude that zero till may be beneficial through the cultivation years; the tested tillage had little influence on soil chemical attributes at this first year of evaluations, as well as did not promoted nutrient absorption by the leaves at the reform area. But for the expansion area the different till promoted soil chemical attributes changes and also to the leave's nutrients.

Keywords: Sugarcane. Soil tillage. Production Environment.

## CAPÍTULO 1

### 1 - Introdução Geral

A cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) pertencente à família das poáceas e é cultivada no Brasil desde os primeiros anos após a chegada dos portugueses, no século XVI. De origem asiática, encontrou condições ideais para o seu desenvolvimento em extensas áreas. O açúcar foi o principal produto obtido da cana-de-açúcar, em escala mundial, até o século XX. Com o surgimento da revolução industrial, houve um aumento da demanda de energia, sendo o petróleo, o carvão mineral e o gás natural os responsáveis pelo seu suprimento, e iniciando-se a demanda por fontes de energia renováveis, como o etanol.

Com a crise mundial do petróleo na década de 1970, quando a Organização dos Países Exportadores de Petróleo (OPEP) promoveu aumentos no preço do barril de petróleo, acarretando crises econômicas em diversos países, emerge no Brasil o Proálcool, para incentivar a produção do etanol como resultado do impacto negativo na economia nacional, em decorrência do grande aumento do petróleo (GONÇALVES e MENDONÇA, 2010). Atualmente, o Brasil possui tecnologia de ponta, reconhecida no mundo todo, na produção e utilização do etanol, com possibilidade de expansão e exportação da produção.

Por motivos históricos, tecnológicos e ambientais, o setor sucroalcooleiro experimentou uma grande expansão, a qual tende a se consolidar, a fim de suprir o etanol aos mercados nacionais e internacionais. De acordo com a UNICA (2010), grandes agroindústrias foram montadas (hoje são mais de 430 plantas em operação no país). Para abastecer as indústrias, são necessários milhões de toneladas de cana, o que causa a necessidade de grandes pacotes tecnológicos de produção.

De acordo com Orlando Filho et al. (1994), a produtividade da cana-de-açúcar é regulada por diversos fatores de produção, dentre os quais se destacam: planta (variedade), solo (propriedades químicas, físicas e biológicas), clima (umidade, temperatura, insolação), práticas culturais (controle da erosão, plantio, erradicação de plantas invasoras, descompactação do solo), controle de pragas, doenças e colheita (maturação, corte, carregamento e transporte). Considerando-se a adubação e a nutrição da cana-de-açúcar dentro deste contexto, pode-se dizer que sua eficiência no incremento

da produtividade será tanto maior quanto melhor for o ajuste dos fatores de produtividade.

Segundo Vitti e Mazza (2002), o planejamento das atividades envolvidas com a cultura da cana-de-açúcar, desde o plantio até sua colheita, é uma etapa extremamente importante na sua exploração econômica. Atualmente, estudos e avaliações de sistemas de cultivo de cana-de-açúcar devem objetivar a análise de todos os componentes de produção, inclusive aqueles envolvidos com os custos de implantação.

O preparo do solo é uma etapa importantíssima no planejamento de um canavial. É impossível obter altos rendimentos se as raízes não encontram as condições favoráveis para seu pleno desenvolvimento. Para isso, é preciso garantir condições físicas do solo satisfatórias, e que os nutrientes e a umidade não sejam fatores limitantes. O manejo da compactação deve proporcionar um ambiente adequado, tanto para o crescimento da planta, quanto para a conservação do solo e da água, e também para o deslocamento das equipes de trabalho (HELFGOTT, 1997). Ironicamente, os solos cultivados intensamente com cana-de-açúcar podem apresentar problemas de compactação e erosão. Vários estudos mostram que o uso desses implementos aumenta a compactação do solo abaixo de sua faixa de trabalho, degradando-o. E a cana-de-açúcar, como alternativa renovável de energia, deve ser produzida respeitando-se os recursos naturais.

Os diferentes sistemas de cultivo no preparo do solo são de fundamental importância, principalmente para que a planta de cana-de-açúcar desenvolva o sistema radicular em grandes profundidades. Estudos mostram que a descompactação do solo em subsuperfície possibilita incrementos de profundidades em virtude do melhor desenvolvimento radicular. Por outro lado, a prática do plantio direto também torna-se viável em função do não revolvimento do solo que é importante para evitar erosões, preservar a biota do solo, além do principal fator que é o econômico. É verdade que o preparo do solo utilizando grades e arados pesados em curto prazo proporcionam maiores produtividades, porém é mais oneroso e destrutivo. Temos de procurar soluções que possibilitem produzir a matéria prima do etanol de maneira mais sustentável.

Para sabermos quais os diferentes comportamentos da planta de cana no mesmo solo, porém com diferenciados níveis de compactação, desenvolveu-se este estudo de preparo de solo. A cana foi plantada em dois ambientes de produção: um em área de reforma do canavial e o outro em área de expansão, onde era área de pastagem. Na primeira área, foram estudados os efeitos de uma aração e uma gradagem; uma aração e

duas gradagens; somente subsolagem e por último o plantio direto. Na segunda área, utilizou-se uma aração e uma gradagem; uma aração e duas gradagens; uma subsolagem e uma gradagem; somente subsolagem; e por último plantio direto.

Assim, o objetivo deste trabalho foi verificar a influência de diferentes tipos de preparo de solo interferindo nos atributos químicos do solo e nos teores de nutrientes foliares da cana-de-açúcar em área de reforma e de expansão cultivada no bioma do cerrado.

## 2. - Referencial Teórico

### 2.1. - Importância do setor sucroalcooleiro

A cana-de-açúcar é cultivada em grande parte do território nacional desde sua implantação na época do Brasil colônia, tornando-se uma cultura de grande importância para o desenvolvimento do país. Hoje, a cana-de-açúcar tem função correlacionada não somente com o setor agrícola para a produção de açúcar, mas com grande participação na matriz energética brasileira, com potencial para atender a demanda crescente no mercado nacional e internacional.

Na produção de energia, a cana-de-açúcar vem aos poucos substituindo o uso de combustíveis fósseis altamente poluidores da atmosfera. A cana participa deste setor com a produção de etanol, fonte de combustível já consolidada no setor automotivo brasileiro e na geração através do aproveitamento de biomassa, seja através de biodigestão dos resíduos da cana (vinhaça e o bagaço), uso de bagaço nas caldeiras, formação de biquetes de bagaço, entre outras alternativas viáveis. Por essas razões, a cana-de-açúcar é uma das melhores opções dentre as fontes de energia renovável, e com grandiosa importância para o cenário agrícola brasileiro e um futuro promissor no cenário mundial (AZEVEDO, 2008).

O agronegócio sucroalcooleiro movimenta cerca de R\$ 56 bilhões por ano, com faturamentos diretos e indiretos, o que corresponde a aproximadamente 2% do PIB nacional, além de ser um dos setores que mais empregam no país, com a geração de 4,5 milhões de empregos diretos e indiretos, e congregam mais de 72.000 agricultores (JORNAL DA CANA, 2010).

A área de cana colhida destinada à atividade sucroalcooleira, na safra (2011/2012), está estimada em 8.442,8 mil hectares, distribuída em todos estados produtores. O Estado de São Paulo continua sendo o maior produtor, com 52,8% (4.458,31 mil hectares), seguido por Minas Gerais, com 8,77% (740,15 mil hectares), Goiás com 7,97% (673,38 mil hectares), Paraná com 7,33% (619,36 mil hectares), Mato Grosso do Sul com 5,69% (480,86 mil hectares), Alagoas com 5,34% (450,75 mil hectares), e Pernambuco com 3,84% (324,03 mil hectares). Nos demais Estados produtores as áreas são menores, mas, com bons índices de produtividade. A previsão do total de cana moída na safra 2011/12 é de 641.982 mil toneladas, com incremento de 2,9% em relação à safra 2010/11, que foi de 623.905,1, o que significa que a quantidade

que será moída deve superar em 18.076,9 mil toneladas a moagem da safra anterior (CONAB, 2011).

A produtividade média brasileira está estimada em 76.039 kg ha<sup>-1</sup>, 1,8% menor que a da safra 2010/11 que foi de 77.446 kg ha<sup>-1</sup>. Do total da cana esmagada, 308.888,2 mil toneladas (48,11%) serão destinadas à produção de açúcar, as quais devem produzir 40.935,8 mil toneladas do produto. O resto, 333.101,8 mil toneladas (51,89%), serão destinadas à produção de etanol, gerando um volume total de 27.090,91 milhões de litros de álcool. Deste, 8.708,51 milhões de litros serão de álcool anidro e 18.382,43 milhões de litros serão de álcool hidratado (CONAB, 2011).

## 2.2. - Fatores correlacionados ao cultivo da cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar é uma cultura semi-perene a qual é colhida anualmente. Seu cultivo é realizado em todo território nacional, sendo mais concentrada na região costeira do país e em grande extensão do interior de São Paulo. Atualmente, a cultura está em expansão de forma muito acelerada pelo cerrado brasileiro.

A longevidade de um canavial está diretamente relacionada com seu sistema de cultivo. Solos com boas propriedades químicas, físicas e biológicas, aliadas com um programa de manejo de fertilidade do solo e estratégias de manejo diferenciadas, como cultivo mínimo, manutenção da palhada, gradagem e subsolagem, podem proporcionar canaviais mais produtivos e duradouros. Existem usinas que realizam mais de 10 cortes numa mesma área. Diversos fatores se correlacionam com as exigências do cultivo da cana-de-açúcar, como o clima, solo, fertilidade, nutrição de plantas, preparo da área, entre outros.

### 2.2.1. - Clima

A cana-de-açúcar sofre as influências das condições climáticas em todo o seu ciclo de cultivo, e como esta é uma planta perene, ela é submetida as diferenças climáticas das estações do ano que incluem períodos de stress de temperatura, fotoperíodo e umidade.

As exigências climáticas da lavoura canavieira podem diferir bastante segundo a finalidade da matéria-prima: açúcar, aguardente, etanol ou forragem. Normalmente, as

lavouras com a finalidade de extração de açúcar são mais exigentes em clima (BARBIERI e VILLA NOVA, 1982). Devido à necessidade de alta produção de sacarose, a planta precisa encontrar condições de temperatura e umidade adequadas para permitir o desenvolvimento suficiente durante a fase vegetativa, seguido de um período de restrição hídrica e/ou térmica para forçar o repouso vegetativo e o enriquecimento da sacarose na época do corte. Portanto, apesar da sua grande adaptação às condições climáticas, a planta encontra suas melhores condições quando ocorre um período quente e úmido, com alta radiação durante a fase de crescimento, seguido de um período seco, ensolarado e mais frio durante as fases de maturação e colheita (BARBIERI et al., 1987).

Barbieri e Villa Nova (1982) relatam que certas regiões possuem clima ideal para a cultura, sem quaisquer restrições, ao passo que outras apresentam algumas restrições térmicas e/ou hídricas moderadas, que permitem a produção econômica da cultura, sem a necessidade da utilização de recursos e técnicas especiais. Entretanto, há aquelas em que as restrições são limitantes e o cultivo só se torna economicamente viável com o emprego de variedades adaptadas, de técnicas para suprir as deficiências hídricas e os efeitos do frio. Os autores acrescentam que a cana é cultivada em quase todos os estados do Brasil, mas as grandes zonas canavieiras restringem-se principalmente à área costeira, entre as latitudes 8 e 23° S. As temperaturas médias anuais são de 20 °C no Centro-Sul e 26 °C no Norte-Nordeste. As precipitações pluviárias médias anuais são de 1.250 a 1.750 mm, no Centro-Sul, de 750 a 1.250 mm, no Nordeste, e de 1.750 a 2.500 mm, no extremo Norte.

Magalhães (1987) cita que a temperatura é, provavelmente, o fator ambiental de maior significância para o desempenho da cana. Temperaturas elevadas, em geral, são bem toleradas pela cultura, desde que haja irrigação ou umidade no solo. A temperatura é um importante fator climático na formação do perfilho. Com o aumento da temperatura, o perfilhamento aumenta até que o máximo é atingido ao redor de 30 °C (DILLEWIJN, 1960). Nas temperaturas inferiores a 21 °C, a cultura sofre diminuição na taxa de alongamento dos colmos e elevação no acúmulo de sacarose. A temperatura de crescimento máximo encontra-se entre 30° e 34 °C. Abaixo de 25 °C e acima de 38 °C, o crescimento é muito lento (FAUCONIER e BASSERAU, 1975). Nas várias fases fenológicas, a temperatura assume grande importância. Assim, para a germinação, a temperatura ótima é de 32 °C e a basal de 21 °C.

O florescimento da cana está diretamente ligado a fatores genéticos e ambientais, tais como temperatura, comprimento do dia, e umidade do solo. Dependendo da variedade, quando ocorrem temperaturas noturnas acima de 18 °C, baixa umidade e comprimento do dia próximo de 12 horas, o florescimento é estimulado (CASAGRANDE, 1991).

A temperatura ótima para o brotamento das mudas varia de 32 a 38 °C (DOOREMBOS e KASSAM, 1979). Para um ótimo crescimento, o ambiente deve apresentar médias de temperatura diurna entre 22 ° e 30 °C. Abaixo de 20 °C, reduz-se a taxa de crescimento. Todavia, para a maturação e colheita faz-se necessária a redução da temperatura para 10 ° a 20 °C. Com isso, ocorre diminuição na taxa de crescimento e maior acúmulo de sacarose, produto mais nobre da cana e objetivo da indústria sucroalcooleira.

#### 2.2.2. - Solo

O solo é componente de um conjunto complexo de fatores de produção, destacando-se pelo seu importante papel de fornecer às plantas suporte físico, água e nutrientes. Portanto, o conhecimento das características inerentes a cada solo, os chamados fatores edáficos, é importante para julgar o potencial de produção agrícola (LEPSCH, 1987). Todavia, por ser uma planta rústica, a cana desenvolve-se bem em praticamente todos os tipos de solo. Para o bom desempenho da cultura, recomenda-se evitar solos: com profundidade efetiva inferior a 1,0 m; com lençol freático elevado e má drenagem; excessivamente argilosos ou arenosos; excessivamente declivosos (DONZELI e KOFFLER, 1987). Terrenos com declives maiores que 15% podem trazer limitações quanto ao uso de máquinas agrícolas (ANDRADE, 2001).

Silva e Ribeiro (1997) dizem que a cana-de-açúcar é cultivada no Brasil desde solos ricos em areia quartzosas até aos Latossolos. Esse último, juntamente com os Podzólicos, são os mais cultivados.

Por volta da década de 70, a maioria dos solos ocupados com cana-de-açúcar no Brasil eram em geral os Argissolos, de fertilidade média para alta, normalmente representados por Latossolos roxos ou terras roxas estruturadas, atualmente Latossolos Vermelhos acriférricos, aluminoférricos, distroférricos e eutroférricos. Os problemas com esses solos, naquela época, eram atribuídos à limitações de natureza física ocasionadas pela compactação oriunda do tempo de intensa mecanização e pelos

sistemas de carregamento e transporte da cana. Atualmente, com a grande demanda da cultura, fez-se necessário a expansão para outras regiões do país, como áreas do cerrado brasileiro. O bioma cerrado possui solos com excelente topografia e estrutura física para o cultivo de grandes culturas como a cana-de-açúcar. Em sua imensa maioria, são solos classificados como Latossolos. Porém, são solos frágeis que carecem de intensos sistemas de manejo, como um adequado preparo e conservação, calagem, gessagem, adubos verdes, época correta de plantio, adubação mineral e orgânica, variedades melhoradas, entre outros (ORLANDO FILHO, MACEDO e TOKESHI, 1994).

### 2.2.3. - Preparo do solo

De acordo com Mellis et al. (2008), a contribuição para grandes produtividades em áreas de expansão que constam de baixa fertilidade está intimamente relacionada com um manejo aprimorado da fertilidade do solo.

O papel fundamental das operações de preparo de solo é criar condições ideais para desenvolvimento das raízes e, por conseguinte, maiores produções. Em cana-de-açúcar, este manejo inicial pode influenciar profundamente na queda de produção entre os cortes consecutivos. Quanto às operações de preparo, não são conduzidas dentro de uma tecnologia adequada para cada tipo de solo. Entende-se como preparo de solo não somente as operações que afetam diretamente a sua estrutura física, mas também aquelas ligadas aos fatores que determinam um pH e ambiente, adequados para absorção eficiente dos nutrientes minerais.

De acordo com Fernandes (1984), na cultura da cana-de-açúcar, por possuir um sistema radicular profundo e por permanecer mais de cinco anos na lavoura sob intensa locomoção e uso de máquinas pesadas, torna-se necessário o uso de prática do preparo do solo mais profundo.

Ressalta-se que as usinas não seguem uma maneira fixa de preparar o solo. Cada empresa sucroalcooleira possui seu método. Isto ocorre em virtude da variação do tipo de solo, da região e dos implementos e máquinas disponíveis.

Os principais manejos vão atuar no desenvolvimento do sistema radicular que influencia nas características das plantas, tais como: resistência à seca, eficiência na absorção dos nutrientes do solo, tolerância ao ataque de pragas do solo, capacidade de germinação e/ou brotação, porte (ereto ou decumbente), tolerância à movimentação de

máquinas, etc. Todos esses eventos irão proporcionar a produtividade final (VASCONCELOS e GARCIA, 2005).

Sabe-se que um bom manejo do solo no cultivo de culturas agrícolas como a cana-de-açúcar pode trazer vários benefícios para nossos solos, principalmente com as novas perspectivas de mecanização das áreas e ampliação dos conhecimentos das práticas conservacionistas. Entre tais práticas, Lal (2000) defende o uso de sistemas de preparo com mínima perturbação do solo, os quais propiciam a manutenção de resíduos na superfície, trazendo benefícios na redução da erosão e degradação do solo.

Freitas (1987) recomenda o uso de cultivo mínimo ou de plantio direto, pois esse manejo garante, com a rotação de culturas e ausência de revolvimento do solo, uma maior incorporação de resíduos que deve contribuir com uma melhor estruturação do solo e proteção da superfície deste. Essa prática agrícola previne a ocorrência dos adensamentos e compactações em determinados tipos de solos.

Cerqueira Luz (1989) constatou que o emprego do cultivo da soqueira reduziu a densidade do solo em sistema de cana queimada. Camilotti et al. (2005), testando diferentes formas de preparar o solo para a cana-de-açúcar, comprovaram que a macroporosidade do solo no perfil de 0 – 10 cm foi maior quando efetivado duas gradagens pesadas mais subsolagem e nivelamento. Ainda os mesmos autores concluíram que a produtividade da cana-de-açúcar não foi influenciada pelos sistemas de preparo de solo.

Outro problema frequentemente observado em canaviais é a compactação do solo que por definição, é o adensamento ou a diminuição do espaço poroso causada pela compressão mecânica das partículas sólidas do solo. Essa diminuição do tamanho, e conseqüentemente a modificação na distribuição das classes de poros, pode prejudicar seriamente o desenvolvimento radicular, os processos de armazenagem de água no solo, o suprimento de oxigênio (ASADY et al., 1985), a disponibilidade de nutrientes, assim como reduzir a eficiência de utilização de todo um planejamento de um pacote agrícola tecnológico (BAVER et al., 1973).

Para Centurion et al. (2001), é evidente que o rompimento do equilíbrio entre o solo e o meio está relacionado com a retirada da cobertura morta original e a implantação de culturas com a realização de práticas inadequadas, trazendo mudanças nas propriedades químicas, físicas e biológicas e tornando a agricultura mais limitada. Verma (1995); Barbieri, Alleoni e Donzelli (1997); Queiroz-Voltan, Prado e Moretti (1998) e Smith, Inman-Bamber e Thornburn (2005) dizem que a utilização de

maquinário pesado nas lavouras canavieiras fatalmente trará aumento na resistência à penetração do solo.

A compactação é mais intensa quanto mais úmido estiver o solo durante o tráfego nas áreas cultivadas e também é influenciada por diferentes proporções de argila, silte e areia das diferentes classes de solo (VASCONCELOS e GARCIA, 2005). A descompactação do solo é realizada com o uso de subsoladores, que são implementos que penetram na subsuperfície do solo rompendo essas camadas compactadas. Assim, grandes usinas lançam mão da subsolagem, que demanda muita energia por causa dos grandes tratores e implementos empregados, a fim de descompactar as áreas prejudiciais por esse tráfego (BARBIERE et al., 1987).

Outras práticas convencionais como a gradagem leve e pesada, manejos com revolvimento do solo, utilização de plantas de cobertura que possuem sistema radicular pivotante e agressivo, adoção do sistema de plantio direto, utilização de máquinas e implementos com rodagem mais larga, entre outros, podem trazer grandes benefícios na redução da compactação do solo.

#### 2.2.4. - Nutrição da cana-de-açúcar

A adubação é um dos fatores que determinam a produtividade. Muitas vezes, quando se pensa em adubação, a maior preocupação ocorre em relação às dosagens e aos custos dos fertilizantes. Entretanto, as práticas agrícolas estão todas interligadas. Uma adubação perfeita pode ir por água abaixo se o agricultor não observar a presença de pragas, a concorrência de plantas daninhas, a compactação do solo ou a época de plantio, enfim, todas as variáveis. Também o modo de aplicação do fertilizante, a regulagem dos implementos e a época de aplicação podem ser determinantes do sucesso das adubações no aumento da produtividade, ou seja, aumentos significativos de produtividade são obtidos com a melhoria de todas as práticas agrícolas, conjuntamente (ROSSETTO e DIAS, 2005).

A cana-de-açúcar, assim como todas as plantas superiores, requer, além do carbono (C), hidrogênio (H) e Oxigênio (O) que são os chamados elementos estruturais, mais treze elementos que elas absorvem na forma de íons da solução do solo. Seis destes, requeridos em maiores quantidades, são chamados macronutrientes: nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), enxofre (S) e magnésio (Mg), sendo os três primeiros os primários, por serem introduzidos em formulados comerciais, e os três

últimos de secundários, por não terem denominações de formulados. Os sete outros, requeridos em baixas concentrações, são chamados micronutrientes: ferro (Fe), manganês (Mn), cobre (Cu), zinco (Zn), boro (B), molibdênio (Mo) e cloro (Cl) (BONATO et al., 1998). O silício (Si) é tido, na cultura da cana, como um elemento essencial, uma vez que tem alta absorção e a cana-de-açúcar é uma das gramíneas que mais extraem Si do solo (PRADO, FERNANDES e NATALE, 2003), com respostas favoráveis à adubação silicatada, particularmente em solos pobres deste elemento, como os solos do cerrado.

A maior parte da massa seca do tecido vegetal da cana-de-açúcar, aproximadamente 96 %, é composta por C, H e O, nutrientes que são fornecidos pelo ar atmosférico e pela água, e fixados durante as reações da fotossíntese. Apenas 4 % da massa seca é composta pelos nutrientes minerais (ROSSETTO et al., 2008). Porém, esses são importantes pois, na ausência de quaisquer nutrientes, a planta não completará seu ciclo de vida.

As necessidades nutricionais de qualquer planta são determinadas pela quantidade de nutrientes que esta extrai durante o seu ciclo. O conhecimento da capacidade de fornecimento de nutrientes pelo solo é muito importante, para, se necessário, complementá-la com adubações e, se constatada a presença de elementos em níveis tóxicos, reduzir seus efeitos pela correção do solo (BRASIL, 2004).

A cana-de-açúcar necessita de aplicação de nutrientes que maximize sua produtividade, pois quando é realizada a queima da palha essa não participa da ciclagem de nutrientes para o próximo ciclo e com a colheita mecanizada poderá haver uma permanência na área de cultivo. O fornecimento de nutrientes deve atender a demanda total da planta, pois irá influenciar no rendimento obtido e na concentração de nutrientes nos colmos. Tanto na produção de etanol, como na de açúcar, uma grande parte dos nutrientes é transportada para a planta industrial, sendo que deve-se promover a reposição dos nutrientes exportados para a próxima safra. Na cana, alguns resíduos do processamento industrial retornam ao campo e participam da ciclagem de nutrientes, como a vinhaça e a torta de filtro, os demais devem ser fornecidos pelo solo através das adubações.

Uma das maneiras de fornecer as quantidades necessárias de nutrientes para a cultura expressar seu potencial total de produtividade é através do conhecimento da quantidade desses nutrientes que serão acumulados e exportados na planta a cada ciclo. A extração e exportação de nutrientes que a cana-de-açúcar necessita para uma

produção de 100 t ha<sup>-1</sup> é da ordem de 143 kg de nitrogênio (N), 43 kg fósforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), 210 kg potássio (K<sub>2</sub>O), 87 kg cálcio (Ca), 49 kg magnésio (Mg) e 44 kg enxofre (S). No caso dos micronutrientes, são necessários 7.318 g de ferro (Fe), 2.470 g de manganês (Mn), 592 g de zinco (Zn), 339 g de cobre (Cu) e 235 g de boro (B) (ORLANDO FILHO, 1993). Outros autores, como Freire (2001), relatam que, para uma produtividade de 120 t ha<sup>-1</sup> de colmos em cana planta, há uma exportação média de 150 kg ha<sup>-1</sup> de cálcio e 60 kg ha<sup>-1</sup> de enxofre, quantidades muito similares às descritas por Oliveira et al. (2007), os quais relatam que, para uma produção média de 100 t ha<sup>-1</sup> de colmos, há uma exportação de 150, 40, 180, 90, 50 e 40 kg de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S), respectivamente. Da mesma forma, estudando os micronutrientes, Oliveira et al. (2007), comenta um acúmulo de 8,0; 3,0; 0,6; 0,4; e 0,3 kg de ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn), cobre (Cu) e boro (B), respectivamente.

O conhecimento dos atributos do solo auxiliam na compreensão da dinâmica dos nutrientes em um canavial e na interpretação dos níveis adequados dos nutrientes e dos fatores que irão determinar o melhor aproveitamento dos nutrientes e as interações solo-planta. O histórico da área é outro aliado na tomada de decisão para um correto manejo nutricional da cana-de-açúcar (OLIVEIRA et al., 2007), assim como correlacionar os teores presentes no solo e que foram absorvidos pelo tecido vegetal.

Nas tabelas 1 e 2, encontram-se os valores ideais médios de nutrientes e atributos do solo estudados por Raij et al. (1996) para atingirem bons rendimentos de produtividade da cultura.

TABELA 1. Faixas de teores foliares adequados de macro e micronutrientes para a cana-de-açúcar (RAIJ et al., 1996)

<b>N</b>	<b>P</b>	<b>K</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>S</b>
-----g kg <sup>-1</sup> -----					
18 - 25	1,5 - 3,0	10 - 16	2,0 - 8,0	1,0 - 3,0	1,5 - 3,0
<b>B</b>	<b>Cu</b>	<b>Fe</b>	<b>Mn</b>	<b>Zn</b>	<b>Mo</b>
-----mg kg <sup>-1</sup> -----					
10 - 30	6 - 15	40 - 250	25 - 250	10 - 50	0,05 - 0,2

TABELA 2. Valores de referência para os principais atributos do solo e teores adequados de macronutrientes e micronutrientes no solo para a cana-de-açúcar (adaptado de RAIJ et al. 1996)

<b>pH</b>	<b>CTC</b>	<b>M.O.</b>	<b>V</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>K</b>
1:2,5	<b>mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup></b>	-----%-----		-----mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----		
5,1 – 5,5	80 – 150	1,5 – 2,0	51 – 70	4 - 7	5 - 8	1,6 – 3,0
<b>P</b>	<b>S-SO<sub>4</sub></b>	<b>B</b>	<b>Cu</b>	<b>Fe</b>	<b>Mn</b>	<b>Zn</b>
-----mg dm <sup>-3</sup> -----		-----mg dm <sup>-3</sup> -----				
13 - 30	5 – 10	0,21 – 0,6	0,3 – 0,8	5 - 12	1,3 – 5,0	0,6 – 1,2

pH CaCl<sub>2</sub>; CTC = Capacidade de Troca catiônica; MO = matéria Orgânica determinada pelo método Walk Black; Extratores: P, Ca, Mg, K = resina; B = água quente; Cu, Fe, Mn, e Zn = DTPA.

Assim como o manejo, a amostragem correta do solo é fundamental para que a interpretação dos nutrientes não seja errônea. Essa é uma etapa crítica para a avaliação dos nutrientes necessários em um programa de manejo da fertilidade do solo, estando susceptível a grandes variações.

#### 2.2.5. - Correção da Acidez do solo

A correção dos solos é realizada para reduzir os efeitos da acidez ativa (H<sup>+</sup> na solução) e acidez trocável (Al<sup>3+</sup>) no solo, principalmente com adição de calcário. A calagem é para a agricultura brasileira, especialmente para os solos do cerrado, uma das práticas que mais contribui, de forma efetiva, para eliminar elementos tóxicos, fornecendo nutrientes e condições ideais para sua disponibilização às plantas. Também contribui para o aumento da eficiência dos adubos e, conseqüentemente, da produtividade e da rentabilidade das culturas (LOPES, SILVA e GUILHERME, 1990).

Para Ziglio et al. (1999), a remoção de bases do solo (Ca, Mg e K) pode acontecer através da lixiviação e da extração das culturas, sendo um dos fatores que irão contribuir para a acidificação dos solos. A acidificação ocorre devido à ausência de bases ligadas às cargas negativas do solo (os colóides) (BOHNEN, 2000). Cátions de H<sup>+</sup> e Al<sup>3+</sup> são os responsáveis por se ligarem aos colóides do solo, tornando o pH mais ácido e fazendo com que aumente a saturação do Al (RAIJ, 1991) e redução da saturação por bases (OLMOS e CAMARGO, 1976; LOPES, 1983; FRANCHINI, MIYAZAWA e PAVAN, 2001).

Um dos motivos pelo qual os solos do cerrado brasileiro apresentam acidez elevada é a presença predominante de um material de origem chamado de caulinita. Ela apresenta altos teores de óxidos de Fe e Al, constituinte da fração mineral, que são colóides de pouca atividade, com baixa densidade de cargas superficiais, devido a pouca ocorrência de substituição isomórfica (MIYAZAWA, PAVAN e FRANCHINI, 2000), sendo cargas negativas dependentes de pH.

A concomitância com o preparo mecânico do terreno proporciona melhor incorporação do calcário, intensificando as interações do complexo de troca do solo nas camadas onde o crescimento radicular acontece com maior intensidade (MARINHO e ALBUQUERQUE, 1981). Uma incorporação bem homogênea do corretivo nas camadas superiores (0 a 30 cm) é muito importante, uma vez que entre 45 e 55 % das raízes da cana encontram-se explorando essa porção do terreno cultivado (DALBÓ et al. 1986).

As respostas à calagem por parte da cana-de-açúcar tornam-se maiores nas regiões do cerrado. Isso está diretamente ligado às propriedades químicas que o bioma possui, sendo, em geral, ácido e de muito baixa fertilidade. De acordo com Rossetto e Dias (2005), a cana-de-açúcar é uma cultura tolerante à acidez do solo e ao alumínio, porém a utilização de corretivos nos traz grandes retornos econômicos. Há relatos de que a calagem incrementou mais de 38 t ha<sup>-1</sup> em um solo ácido e de baixa fertilidade, no nordeste brasileiro. Porém, tal aumento expressivo está ligado ao fornecimento de cálcio para a cultura (QUAGGIO e RAIJ, 2008). É nítido a importância da calagem para a cana-de-açúcar, principalmente quando há muita exportação de nutrientes do solo pelas colheitas, e agravando a situação em canaviais que já tenham muitos cortes sucessivos.

#### 2.2.6. - Gessagem

O sulfato de cálcio bi-hidratado (CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O) também chamado de gesso agrícola é um produto existente em todo mundo (RAIJ e QUAGGIO, 1984). Ele é subproduto obtido da indústria do ácido fosfórico (SOUSA et al., 1996), fosfato de amônio e super simples (RAIJ e QUAGGIO, 1984). Em sua composição está presente de 18,0 a 20,0 % de S (SILVEIRA et al., 1985) e 28,0 – 30,0 % de CaO (ARAUJO e YAMAGUISHI, 1986). O gesso é de custo relativamente baixo, devido ser um subproduto da reação de produção do P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e da sua grande proporção de produção com a do P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, entorno de 4:1 (gesso: P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). Suas características químicas e físicas garantem

seu grande potencial, quando usado como condicionador do solo ou como fertilizante (PAOLINELLI et al., 1986). Assim, o insumo é de grande importância para a agricultura, sendo fonte de cálcio e de enxofre e além disso, possui a capacidade de reduzir a acidez trocável ( $\text{Al}^{+3}$ ) em subsuperfície (VITTI e MALAVOLTA, 1985).

Foltran (2008), estudando aplicação de calcário, silicato e gesso em soqueira de cana-de-açúcar, pôde constatar que, quando da utilização somente do calcário, ocorreram maiores teores de Mg na camada arável. Porém, estudando o gesso em consórcio com a calagem, obteve-se menores quantias de Mg em superfície e maiores teores nas camadas subsuperficiais. Isso está relacionado à formação de compostos iônicos pela presença de  $\text{SO}_4^{-2}$  capazes de percolarem em profundidade carreando bases, dados que corroboram com Raij et al. (1998); Oliveira e Pavan (1996) e Caires et al. (1999).

De acordo com Demattê (1986), a mistura de calcário e gesso também influencia os teores de Ca, em superfície e em profundidade, o mesmo acontecendo com a saturação por bases e a complexação do Al trocável na zona atuante pelas raízes da cana.

O gesso agrícola também possui em sua composição o S, sendo o gesso responsável por fornecer o elemento. Com o aumento das tecnologias de produção das culturas, possibilitando maiores produtividades e exportação do S contido nos solos aliado às baixas ou nenhuma presença do elemento em formulações de fertilizantes, ocorre um esgotamento do nutriente no solo (VITTI et al., 1982; PENATTI e PRADO FILHO, 1989).

Saldanha (2005), Corrêa et al. (1999) e Morelli et al. (1992 e 1987), estudando a produtividade da cana-de-açúcar em função do gesso, encontraram sempre aumentos de produtividade. Suas conclusões mostram ainda que as mais altas produtividades alcançadas foram conseguidas com o gesso associado ao calcário e nunca o gesso de forma isolada.

Fica nítido que ocorre uma sinergia muito grande ao utilizar o gesso juntamente com o calcário, pois um completa a ação do outro, fornecendo, assim, Ca, Mg e S de maneira bastante uniforme e em todo o perfil do solo. Deve-se tomar cuidado para não aplicar o gesso em doses excessiva, provocando lixiviação desses elementos e de K. Conhecer a textura do solo é de fundamental importância, pois quanto mais arenoso o solo, mais cuidados devemos tomar para a utilização desse condicionador de subsuperfície do solo.

### 2.2.7. - Macronutrientes

A ordem de extração de macronutrientes, tanto para cana-planta, como para cana-soca é:  $K > N > Ca > Mg > P$  (ROSSETTO, DIAS e VITTI, 2008). Esses elementos são exigidos em maiores quantidades pelos vegetais, por isso são os principais nutrientes para as culturas (BONATO et al., 1998).

O nitrogênio é um dos nutrientes essenciais mais absorvidos pela cultura da cana, perdendo somente para o potássio (MALAVOLTA, VITTI e OLIVEIRA 1997; COLETI et al. 2002). As formas minerais de absorção do elemento são:  $NO_3^-$  e/ou  $NH_4^+$ . O fluxo de massa contribui com 99% da absorção, sendo 1 % através da interceptação radicular (MALAVOLTA, VITTI e OLIVEIRA 1997). A deficiência de nitrogênio afeta diretamente a produtividade da planta. As folhas mais velhas apresentam clorose, por ser um elemento bastante móvel na planta. O crescimento da planta e a atividade meristemática ficam comprometidos, resultando em menores perfilhamentos. As folhas apresentarão menor área foliar e ainda diminuem sua longevidade (MALAVOLTA, VITTI e OLIVEIRA 1997; SILVEIRA, 1985; ORLANDO FILHO e RODELLA, 1996).

O fósforo é absorvido pelas plantas através do ânion ortofosfato primário e secundário ( $H_2PO_4^-$ ;  $HPO_4^{2-}$ ). Sua movimentação ocorre por processos de difusão (RAIJ, 1991). O fósforo na cana-de-açúcar possui função muito importante no metabolismo de açúcares, na divisão celular, no alargamento das células e na transferência das informações genéticas (RNA e DNA) (ROSSETTO, DIAS e VITTI, 2008). O fósforo é o nutriente que mais limita a produção vegetal em regiões tropicais (RAIJ, 1991; NOVAIS e SMYTH, 1999). Os intensos processos de intemperização dos solos tropicais favorecem os surgimentos de sesquióxidos de Fe e Al, além de acidificar o solo. Os sesquióxidos são os responsáveis por causarem a chamada fixação do fósforo nos solos do cerrado. Então, elevando a acidez do solo, contribuindo para a presença de Fe e Al e altos teores de argila no solo, contribuem significativamente para a fixação de fósforo (ROSSETTO, DIAS e VITTI, 2008).

O potássio é o elemento mais extraído e acumulado pela cana-de-açúcar. Seu acúmulo na planta de cana pode chegar a ponto excessivo, porém, sem causar prejuízos, é o chamado “consumo de luxo”. É nos colmos onde há a maior concentração de potássio, cerca de 55 %, nas folhas verdes encontra-se 35 % e nas folhas velhas cerca de 10 %. O potássio é absorvido diretamente pelas plantas, como cátion  $k^+$ . O principal

mecanismo de absorção do elemento é por difusão, e em menor escala por fluxo de massa. Por se tratar de um elemento extremamente móvel na planta, os sintomas de deficiência de potássio podem ser observados nas folhas mais velhas, com formação de manchas mosqueadas; manchas avermelhadas na nervura central das folhas e bordas das folhas marrons que se tornaram necróticas. Ocorre também deficiência inicial da planta, porém, esta não é possível de ser observada, sendo chamada de “fome oculta”, evidenciando como única distinção uma menor taxa de crescimento. A deficiência provoca diminuição do perfilhamento e, conseqüente, redução de produtividade. Plantas já desenvolvidas apresentam uma aparência de formação de leque nas pontas da cana. A deficiência também causa o acamamento, devido à redução da turgescência celular e menor taxa fotossintética, pelo fechamento dos estômatos (ROSSETTO, DIAS e VITTI, 2008).

O cálcio e o magnésio são elementos que possuem caráter eletropositivo acentuado, ocorrendo na litosfera na forma de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ , a qual é a forma trocável e absorvível pelas plantas (QUAGGIO e RAIJ, 2008). Silva e Casagrande (1983) relatam que os dois nutrientes são absorvidos pelas plantas por fluxo de massa e interceptação radicular. Porém, dentro da planta, o comportamento de ambos são distintos. O cálcio é imóvel dentro do floema, não se deslocando por partes internas da planta, desse modo torna essencial a sua presença no local de desenvolvimento ativo das raízes, o que ocorre nas partes jovens ou ainda não suberizadas da raiz (MORELLI et al., 1987). O magnésio já possui mobilidade no floema e, conseqüente, distribuição interna na planta. Alguns sintomas de deficiência de Ca podem ser notados, tais como: folhas mais velhas podem apresentar aparência de "enferrujadas" e podem morrer prematuramente; folhas novas enrolam-se para baixo, dando uma aparência de "gancho"; quando a deficiência é aguda, os cartuchos tornam-se necróticos nas pontas e ao longo das margens; formação de minúsculas lesões cloróticas com centros necróticos que, mais tarde, tornam-se marrom avermelhadas; colmos tornam-se mais moles, mais finos, afilando rapidamente em direção ao ponto de crescimento. Para o magnésio, deficiências originam aparência mosqueada ou clorótica, começando nas pontas e ao longo das margens, e também lesões necróticas vermelhas, resultando em aparência de "ferrugem". A casca do colmo pode mostrar coloração amarronzada internamente (ORLANDO FILHO, MACEDO e TOKESHI, 1994).

O enxofre também constitui importante nutriente para a obtenção de altos níveis de produtividade agrícola. Mesmo sendo tratado como macronutriente secundário sua

presença é de fundamental importância, pois está intimamente relacionada com a quantidade de nitrogênio aplicada. Assim, ambos são necessários para a formação de proteínas (ARMBRUSTER, 1986). Uma relação nitrogênio/enxofre de aproximadamente 10 é o suficiente para uma boa nutrição. Ressaltando que em áreas com grandes produtividades e variedades responsivas, haverá a necessidade do enxofre ser maior que a de nitrogênio, pois como são sinérgicos, o fornecimento de nitrogênio implica em maior utilização de enxofre pela cana-de-açúcar (VITTI et al. 2008).

#### 2.2.8. - Micronutrientes

Atualmente, os produtores e as usinas contam com um pacote tecnológico muito amplo, que permite atingir grandes produtividades dos canaviais. Os micronutrientes estão sempre em ascensão, tornando-se essenciais para obtenção de grandes produtividades. Sempre quando é originada uma variedade mais produtiva vem com ela uma maior exigência nutricional. Para Lopes e Carvalho (1988), um dos pontos mais importantes de ser levado em consideração para aumentar a eficiência agrônômica dos micronutrientes é conhecer os fatores que afetam a disponibilidade dos mesmos, inclusive os possíveis antagonismos e sinergismos fisiológicos entre os vários nutrientes.

Quanto ao ferro, as plantas realizam sua absorção pelas formas catiônicas  $Fe^{2+}$  e  $Fe^{3+}$ , sendo a preferência pelo  $Fe^{2+}$ . Sobral e Weber (1983) relatam que o Ferro é componente de várias enzimas, participa do transporte de elétrons e é fundamental na síntese de clorofila. Além disso, o elemento participa de processos de fixação biológica de nitrogênio (JOSINO, COUTINHO e PESSOA, 2005). O Fe é pouco móvel na planta, causando sintomas de deficiências nas folhas mais novas. Os sintomas podem ser notados observando clorose internerval da ponta para a base das folhas; a planta inteira pode tornar-se clorótica ou branca, quando a deficiência for severa (ORLANDO FILHO, MACEDO e TOKESHI, 1994). Em cana-planta ou cana-soca, a deficiência pode causar enraizamento superficial durante a absorção de reservas dos colmos e das raízes pelos brotos iniciais (TOKESHI, 1991; ORLANDO FILHO et al., 2001).

Baixa eficiência na absorção de ferro pode estar relacionada ao manejo da fertilidade do solo. Solos altamente ácidos reduzem a absorção de Fe pelas plantas, sendo a faixa ideal de pH entorno de 4,0 a 6,0. Desequilíbrios entre outros, micronutrientes como o Mn, Cu e Mo, também podem provocar deficiência de Fe. E

ainda, excesso de fósforo no solo e na planta, altos teores de bicarbonatos e, conseqüentemente pH alto, e baixas temperaturas comprometem o balanço nutricional de Fe (NOVAIS et al., 2007).

O manganês tem sua forma absorvível pelas plantas como  $Mn^{+2}$ . Sua função está diretamente relacionada com as enzimas redutase do nitrato e nitrogenase, sendo de fundamental importância sua presença para a eficiência da fixação biológica do nitrogênio (SOBRAL e WEBER, 1983). A maior disponibilidade de manganês ocorre em solos ácidos. Portanto, em sistema de plantio direto, onde ocorre maior deposição de calcário em superfície, é que ocorrem maiores probabilidades de deficiência de Mn, pois é uma faixa onde o pH é elevado (FAQUIN, 2005).

O Mn é possui translocação com facilidade através do xilema das raízes até os tecidos novos, mesmo os localizados nos ápices da planta (HORST citado por ANDRADE, 2010). Já a translocação no floema é limitada (KIRKBY e ROMHELD, 2007). Os sintomas podem ser observados nas folhas mais novas, em função de sua baixa mobilidade no floema da planta. Nota-se clorose internerval da ponta até o meio das folhas; estrias cloróticas podem tornar-se brancas e necróticas (ORLANDO FILHO, MACEDO e TOKESHI, 1994); as folhas podem desfiar por ação do vento e os colmos tornam-se mais curtos e finos (ORLANDO FILHO et al., 2001). Deve-se efetuar a correção, pois a permanência da deficiência acarretará secamento prematuro das folhas do meio para as pontas.

Os colóides das argilas, juntamente com a matéria orgânica dos solos do cerrado, são responsáveis por adsorver o Zn, e por isso, é o micronutriente que mais causa deficiências nas regiões tropicais. É absorvido pelas plantas na forma  $Zn^{2+}$ . Esse micronutriente é um dos mais importantes para a cultura da cana-de-açúcar, pois é essencial para a síntese de triptofano, precursor do ácido indolacético (AIA), que irá formar as enzimas responsáveis pelo alongamento e crescimento celular. O Zn se concentra nas zonas de crescimento, devido à maior concentração de auxina (ORLANDO FILHO et al., 2001; TAIZ, ZEIGER e SANTARÉM, 2004).

O zinco é um elemento parcialmente móvel nas plantas, causando deficiência nas folhas mais novas, as quais pode-se citar: estrias cloróticas na lâmina foliar, coalescendo 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; clorose, a qual inicia-se vascularmente; faixas longitudinais verde-claras, ao longo das margens das folhas, e verde-escuras, ao longo da nervura central e das

margens, originando-se da ponta para o meio da lâmina; tecidos internervais que permanecem verdes inicialmente, mas logo toda a lâmina foliar pode tornar-se clorótica, estendendo-se para a base; folhas perceptivelmente curtas e largas na parte média e assimétricas; necrose na ponta da folha, quando a deficiência é severa, progredindo da base para a ponta da lâmina foliar; perfilhamento reduzido e internódios mais curtos e colmos finos, os quais podem perder a turgidez. Ocasionalmente pode ocorrer lequeamento das folhas. Podem ser observadas também a formação de manchas vermelhas originadas da presença de fungo que se desenvolve em baixos teores de zinco (TOKESHI, 1991; ORLANDO FILHO, MACEDO e TOKESHI, 1994, ORLANDO FILHO, ROSSETO e CASAGRANDE, 2001; TAIZ, ZEIGER e SANTARÉM, 2004).

Antagonismos e sinergismos existem influenciando a disponibilidade e absorção de Zn, tais como: maior disponibilidade na faixa de pH 5,0 a 6,5; alguns solos, quando recebem doses de corretivos para elevar o pH acima de 6,0, podem desenvolver sérias deficiências de zinco, principalmente se forem arenosos; deficiências de zinco podem ocorrer quando se usam altas doses de fertilizantes fosfatados, a interação complica-se ainda mais pelo efeito de valores de pH próximos a neutralidade; grandes quantidades de zinco podem ser “fixadas” pela fração orgânica do solo, induzindo a deficiências; esse micronutriente pode ser, também, temporariamente imobilizado nos corpos dos microorganismos do solo, especialmente quando da aplicação dos esterco; baixas temperaturas, associadas a excesso de umidade, podem fazer com que as deficiências sejam mais pronunciadas, isso tende a se manifestar no estágio inicial de crescimento das plantas, e, geralmente, os sintomas desaparecem mais tarde; o zinco é fortemente adsorvido pelos colóides do solo, o que ajuda a diminuir as perdas por lixiviação, aumentando o efeito residual. Entretanto, solos arenosos, com baixa CTC e sujeitos a chuvas pesadas, podem apresentar problemas de deficiência (LOPES e CARVALHO, 1988).

Apesar de controvérsias, se o Cu é absorvido na forma de quelatos é certo que as plantas o absorvem da solução do solo como cátion  $\text{Cu}^{2+}$ . O elemento atua como ativador de enzimas, tais como, a fenolase, a lacase, a polifenoxidase, etc. Também atua no processo de fotossíntese e transporte de elétrons (TAIZ, ZEIGER e SANTARÉM, 2004).

Sua mobilização no floema é tida como parcialmente móvel, razão pela qual os sintomas de deficiências aparecem primeiramente nas folhas mais novas. Os sintomas podem ser notados por observação de manchas verdes (“ilhas”); folhas eventualmente

descoloridas, que tornam-se finas como papel e enroladas, quando a deficiência é severa, podendo vir a quebrar; colmos e meristemas perdem a turgidez (doença do "topo caído") e adquirem aparência semelhante à borracha e perfilhamento reduzido (SOBRAL e WEBER, 1983; TOKESHI, 1991; ORLANDO FILHO, MACEDO e TOKESHI, 1994; ORLANDO FILHO, ROSSETO e CASAGRANDE, 2001; TAIZ, ZEIGER e SANTARÉM, 2004). Ferreira e Cruz (1991) afirmam que deficiências também possibilitam maiores ataques de antraquinose maculada, causada pelo fungo *Elsinoe sacchari*.

Antagonismos e sinergismos existem influenciando a disponibilidade e absorção de Cu, tais como: maior disponibilidade na faixa de pH 5,0 a 6,5; solos orgânicos são os mais prováveis de apresentarem deficiência de cobre, pois 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; solos arenosos com baixos teores de matéria orgânica podem tornar-se deficientes em cobre, em função de perdas por lixiviação; solos argilosos apresentam menores probabilidades de apresentarem deficiência desse micronutriente; presença excessiva de íons metálicos, como ferro, manganês e alumínio, reduz a disponibilidade de cobre para as plantas, sendo esse efeito independente do tipo de solo (LOPES e CARVALHO, 1988).

De acordo com Orlando Filho, Rosseto e Casagrande (2001), a forma absorvível de boro pelas plantas é através do ânion borato. Este ânion pode complexar açúcares, indicando a probabilidade de sua participação no transporte de carboidratos das folhas para outros órgãos. Sobral e Weber (1983) sugerem que o boro atua na divisão celular, maturação e diferenciação celular, na lignificação da parede celular e inibição da formação do amido pela combinação do boro com o local ativo da fosforilase, o que impede a polimerização excessiva dos açúcares nos locais de síntese deles.

Dentro da planta, o elemento tem baixa mobilidade, causando sintomas de deficiência: folhas novas e imaturas, torcidas, com pregas e vincos, curtas, deformadas, enrugadas e ásperas; lesões translúcidas ou em forma de "sacos de água" entre as nervuras; plantas novas com muitos perfilhos; folhas tendem a ficar quebradiças; folhas do cartucho podem ficar cloróticas e mais tarde necróticas e, em alta severidade, pode levar à morte da planta; frequentemente chamada de doença do falso "Pokkah boeng"; também semelhante ao dano causado por alguns herbicidas (TOKESHI, 1991;

ORLANDO FILHO, MACEDO e TOKESHI, 1994; ORLANDO FILHO, ROSSETO e CASAGRANDE, 2001).

Quando absorvido em grandes quantidades o boro poderá causar toxicidade dos quais os sintomas são: clorose nas pontas e margens das folhas novas, progredindo da base para a ponta da lâmina foliar; por último, a clorose estende-se às folhas mais velhas; tecido clorótico rapidamente torna-se necrótico; pontas das folhas podem ficar severamente queimadas (ORLANDO FILHO, MACEDO e TOKESHI, 1994; ORLANDO FILHO, ROSSETO e CASAGRANDE, 2001).

Dentre todos os micronutrientes, o Mo é o que está presente nas plantas em menor concentração, sendo que menos de  $1 \text{ mg kg}^{-1}$  de matéria seca já é suficiente para suprir as plantas adequadamente. Além disso, diferentemente de todas as outras deficiências de micronutrientes, a de Mo está associada com condições de pH do solo baixo e não alto. Há uma relação estreita entre o suprimento de Mo, a atividade da nitrato redutase e o crescimento. O suprimento de Mo está, portanto, intimamente associado com a utilização e o metabolismo de N, incluindo a fixação biológica do nitrogênio. Aproximadamente 80% da absorção do ânion molibdato ( $\text{MoO}_4^{2-}$ ,  $\text{HMoO}_4^-$ ), que é a forma absorvível pelas plantas, ocorre através do Fluxo de Massa (KIRKBY e ROMHELD, 2007).

Os sintomas iniciais apresentam-se nas folhas mais velhas, logo o Mo é um elemento bastante móvel no floema. Sintomas podem ser observados com pequenas estrias cloróticas longitudinais, começando no terço apical da folha; folhas mais velhas secam prematuramente do meio para as pontas. Quanto mais tempo a planta ficar deficiente, mais as folhas secam. Notam-se também colmos mais curtos e finos (ORLANDO FILHO, MACEDO e TOKESHI, 1994; ORLANDO FILHO, ROSSETO e CASAGRANDE, 2001).

Antagonismos e sinergismos são relatados por Lopes e Carvalho (1988), onde dizem que a maior disponibilidade do Mo está em solo com pH acima de 7,0; deficiências de molibdênio têm maior probabilidade de ocorrer em solos ácidos (pH menor que 5,5 ou 5,0); quando o solo recebe calagem adequada, há correção da deficiência, se os níveis desse micronutriente forem adequados; solos arenosos apresentam, com mais frequência, deficiência de molibdênio do que os de textura média ou argilosos.

## REFERÊNCIAS

- ANDRADE, G. J. M. de. **Absorção e acúmulo de manganês em soja RR sob efeito do glyphosate**. 68f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônomicas da Unesp – Câmpus de Botucatu. Botucatu – SP, 2010.
- ANDRADE, L. A. de B. Cultura da cana-de-açúcar. In: CARDOSO, M. das G. **Produção de aguardente de cana-de-açúcar**. Lavras: UFLA, p.19-49. 2001.
- ARAUJO, P.F.C.; YAMAGUISHI, C.T. Viabilidade econômica do uso agrícola do fosfogesso. In: SEMINÁRIO SOBRE O USO DE FOSFOGESSO NA AGRICULTURA, Brasília, 1985. **Anais...**, Brasília, EMBRAPA, 1986. p.209-215.
- ARMBRUSTER, D.G. Benefícios do uso de enxofre na cultura da cana-de-açúcar. **STAB**. Álcool e açúcar, São Paulo, v. 6, n. 27, p 54-58, 1986.
- ASADY, G. H.; SMUCKER, A. J. M.; ADAMS, M. W. Seedlings test for the quantitative measurement of root tolerances to compacted soils. **Crop Science**, [S.l], v. 25, p.802-806, 1985.
- AZEVEDO, M. C. B de. **Efeito de três sistemas de manejo físico do solo no enraizamento e na produção de cana-de-açúcar**. 101f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina - PR, 2008.
- BARBIERI, V.; BRUNINI, O.; JÚNIOR, M. J. P.; ALFONSI, R. R. Condições climáticas para a cana-de-açúcar. In: PARANHOS, S. B. **Cana-de-açúcar: cultivo e utilização**. Fundação Cargill. Campinas - SP. v. 1, p.42-54, 1987.
- BARBIERI, J. L.; ALLEONI, L. R.; DONZELLI, J. L. Avaliação agronômica e econômica de sistemas de preparo de solo para cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 21, n. 1, p.89-98, 1997.
- BARBIERI, V.; VILLA NOVA, N. A. **Climatologia e a cana-de-açúcar**. Araras: PLANALSUCAR, Coordenadoria Regional Sul, 1982. 36p.
- BAVER, L. D.; GARDNER, W. H.; GARDNER, W. R. **Física de suelos**. UTEHA, México, 1973. 529p.
- BOHNEN, H. Acidez do solo: origem e evolução. In: KAMINSKI, J. (Coord.) **Uso de corretivos da acidez do solo no plantio direto**. Pelotas: Núcleo Regional Sul da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. p 9-19 (Boletim, 4).
- BONATO, C.M. et al. **Nutrição mineral de plantas**. Universidade Estadual de Maringá – UEM. Maringá – PR, 136p. 1998.
- BRASIL - Ministério da Ciência e Tecnologia. CENTEC - Instituto centro de ensino tecnológico. **Produtor de cana-de-açúcar**. 2. ed. Fortaleza: Demócrito Rocha, 2004. 64 p.

CAIRES, E.F. et al. Produção de milho, trigo e soja em função das alterações das características químicas do solo pela aplicação de calcário e gesso na superfície, em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, p.315-27, 1999.

CAMILOTTI, F. et al. Efeito prolongado de sistemas de preparo do solo com e sem cultivo de soqueira de cana crua em algumas propriedades físicas do solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 1, p.189-198. 2005.

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

CENTURION, L. F.; CARDOSO, J. P.; NATALE, W. Efeitos de forma de manejo em algumas propriedades físicas e químicas de um latossolo vermelho em diferentes agroecossistemas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v. 5, n. 2, p.254-258, 2001.

CERQUEIRA LUZ, P. H. **Efeitos de sistemas de colheita e formas de cultivo de soqueira sobre a produção e qualidade tecnológica da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*)**. 1989. 135 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Piracicaba de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1989.

CONAB. Segundo levantamento de safra. **Companhia Nacional de Abastecimento**. Brasília: Conab, 2011. Disponível em: <[www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/11\\_05\\_27\\_11\\_53\\_13\\_boletim\\_cana\\_portugues\\_-\\_maio\\_2011\\_1o\\_lev..pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/11_05_27_11_53_13_boletim_cana_portugues_-_maio_2011_1o_lev..pdf)> Acesso em: 25 maio 2011.

COLETI, J.T. et al. Remoção de macronutrientes pela cana-planta e cana-soca, em argissolos, variedades RB835486 e SP813250. In: CONGRESSO NACIONAL DA STAB, 8, Recife, 2002. **Anais...** Recife: STAB, p.316-332. 2002.

CORREA, J.B.D. et al. Efeitos da aplicação de gesso mineral em três variedades de cana-de-açúcar cultivadas em Podzólico Vermelho-Amarelo. **STAB: Açúcar e Álcool**, Piracicaba, v. 17, p.38-42, 1999.

DALBÓ, M. A. et al. Efeito da adição de diferentes fontes de cálcio em colunas de solos cultivadas com cana-de-açúcar- II Respostas da planta. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**. Viçosa, v. 10, p.231-234, 1986.

DEMATTÊ, J.L.I. Solos arenosos de baixa fertilidade; estratégia de manejo. In: SEMINÁRIO AGROINDUSTRIAL “Luiz de Queiroz”, 5, e SEMANA “LUIS DE QUEIROZ”, 29, Piracicaba, 1986.

DILLEWIJN, C. van. **Botánica de la canã de azúcar**. Habana: Edición Revolucionária; Instituto Del Libro, 1960. 256p.

DONZELI, P. F.; KOFFLER, N. F. Avaliação dos solos brasileiros para a cultura da cana-de-açúcar. In: PARANHOS, S. B. **Cana-de-açúcar: cultivo e utilização**. Campinas, Fundação Cargill, v. 1. p.19-39, 1987.

DOOREMBOS, J.; KASSAM, A. H. **Efectos Del agua sobre el rendimiento de los cultivos**. Roma: FAO, 1979. 212p.

FAQUIN, V. **Nutrição mineral de plantas**. Textos acadêmicos. Lavras: UFLA/FAEPE, 183p. 2005.

FAUCONIER, R.; BASSERAU, D. **La caña de azúcar**. Barcelona: Blume, 1975. 433p.

FERNANDES, A. J. **Manual da cana-de-açúcar**. Piracicaba: Livroceres, 196p. 1984.

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

FOLTRAN, R. **Aplicação de calcário, silicato e gesso em soqueira de cana-de-açúcar sem despalha a fogo**. 111f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Campus de Botucatu, Botucatu – SP, 2008.

FRANCHINI, J.C.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A. Avaliação do potencial de utilização do material vegetal para mobilização de cátions no solo. **Anais...In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO**, 28, 2001, Londrina. Minicurso, 11p. 2001. (apostila).

FREITAS, G. R. de. Preparo de solo. In: PARANHOS, S. B. **Cana-de-açúcar: cultivo e utilização**. Campinas, Fundação Cargill, v. 1. p.271-283, 1987.

FREIRE, F.J. **Sistema para cálculo do balanço nutricional e recomendação de corretivos e fertilizantes para cana-de-açúcar**. 144f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de plantas) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2001.

GONÇALVES, R. J. de A. F.; MENDONÇA, M.R. Modernização energética e desenvolvimento do setor sucroalcooleiro: reestruturação produtiva do capital e precarização do trabalho nas áreas de Cerrado. **Revista Percursos - NEMO**, Maringá, v. 2, n. 1, p.53-72, 2010.

HELFGOTT, S. **El cultivo de La cana de azucar em La costa peruana**. UNALM - Universidad Nacional Agraria La Molina), Lima – Peru, 495p, 1997.

JORNAL DA CANA. 2010. Disponível em:  
<<http://www.canaweb.com.br/Conteudo/Conheca%20o%20Setor.asp>> Acessado em: 06 set 2010.

JOSINO, S. A.; COUTINHO, H. D. M.; PESSOA, H. de I. Características de cultivo e nutrição mineral em plantios de cana-de-açúcar. **Conceitos**, João Pessoa, p.133-141, 2005.

- KIRKBY, E.A.; ROMHELD, V. Micronutrientes na fisiologia de plantas: funções, absorção e mobilidade. **International Plant Nutrition Institute**. Encarte técnico (informações agronômicas), n. 118, 24p. 2007.
- LAL, R. Soil management in the developing countries. **Soil Science**, Beltimore, v. 165, p.57-72, 2000.
- LEPSCH, I.F. Influência dos fatores edáficos na produção. In: CASTRO, P.R.C.; FERREIRA, S.O.; YAMADA, T. Ecofisiologia da produção. **Potafós**, Piracicaba, p.83-98, 1987.
- LOPES, A. S.; CARVALHO, J. G. de. Micronutrientes: critérios de diagnose para solo e planta. In: SIMPÓSIO SOBRE ENXOFRE E MICRONUTRIENTES NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 1988, Londrina. **Anais...** Campinas: EMBRAPA-CNPSO/IAPAR/SBCS, p.133-178. 1988.
- LOPES, A. S.; SILVA, M. de C.; GUILHERME, L. R. G. Acidez do solo e calagem São Paulo, **ANDA**, 22p. 1990. (Boletim técnico 1).
- LOPES, A. S. **Solos sob “cerrado”**: características propriedades e manejo. Piracicaba: Potafos, 162p. 1983.
- MAGALHÃES, A. C. N. Ecofisiologia da cana-de-açúcar: aspectos do metabolismo do carbono na planta. In: CASTRO, P. R. C.; FERREIRA, S. O.; YAMADA, T. Ecofisiologia da produção agrícola. **Potafós**: Piracicaba, p.113-118, 1987.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas. **Potafós**: Piracicaba, 319 p, 1997.
- MARINHO, M. L.; ALBUQUERQUE, G. A. C. Calibração do Ca+Mg no solo para a cana-de-açúcar em Alagoas. In: CONGRESSO NACIONAL DA STAB, 2, **Anais...** Rio de Janeiro, STAB, 1981, p111-124.
- MELLIS, E.V.; QUAGGIO, J.A.; CANTARELLA, H. Micronutrientes. In: DINARDO-MIRANDA, L.L.D. et al. **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agrônômico, 271 - 288p. 2008.
- MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A.; FRANCHINI, J.C. Neutralização da acidez do perfil do solo por resíduos vegetais. **Potafós**. Informações Agronômicas, n.92, p.1-8, 2000. (Encarte Técnico).
- MORELLI, J.L. et al. Calcário e gesso na produtividade da cana de açúcar e nas características químicas de um Latossolo de textura média Álico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 16, p.187-194, 1992.
- MORELLI, J.L. et al. Efeito do gesso e do calcário nas propriedades químicas de solos arenosos álicos e na produção de cana de açúcar. In: CONGRESSO NACIONAL DA STAB, 4,1987, Olinda. **Anais...** São Paulo, 1987, p86-93.

- NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.T. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 399p. 1999.
- NOVAIS, R.F. et al. Fertilidade do solo. **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, 1017p. 2007.
- OLIVEIRA, M. W. de; et al. Nutrição mineral e adubação da cana-de-açúcar. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 28, n. 239, p.30-43, 2007.
- OLIVEIRA, E.L.; PAVAN, M.A. Control of soil acidity in no-tillage system for soybean production. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v. 38, p.47-57, 1996.
- OLMOS, I.L.J.; CAMARGO, F.S. Ocorrência de alumínio tóxico nos solos do Brasil, sua caracterização e distribuição. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 38, p.47-57, 1976.
- ORLANDO FILHO, J. Calagem e adubação da cana-de-açúcar. In: CÂMARA, G.M.S. e OLIVEIRA, E.A.M. (eds.). **Produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: FEALQ/ USP, p.133-146. 1993.
- ORLANDO FILHO, J.; MACEDO, N.; TOKESHI, H. Seja o doutor do seu canavial. Piracicaba: **Potafos**. (Arquivo do Agrônomo – n 6). 16p. 1994.
- ORLANDO FILHO, J.; RODELLA, A.A. Doses de fracionamento de nitrogênio e potássio em solo arenoso em primeiro cultivo. In: CONGRESSO NACIONAL DA STAB, 6, Maceió, 1996. **Anais...** Maceió: STAB, p.517-520. 1996.
- ORLANDO FILHO, J.; ROSSETO, R.; CASAGRANDE, A.A. cana-de-açúcar. In: FERREIRA, M.E.; et al. **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura**. Jaboticabal: CNPq/Fapesp/Potafos, p.355-369. 2001.
- PAOLINELLI, M.T.; et al. Aplicação direta do fosfogesso. In: SEMINÁRIO SOBRE O USO DE FOSFOGESSO NA AGRICULTURA, 1, Brasília, 1985. **Anais...**, Brasília, EMBRAPA, p.197-207. 1986.
- PENATTI, C.P.; PRADO FILHO, O. Efeito do enxofre na cultura da cana-de-açúcar. **Boletim Técnico da COPERSUCAR**, São Paulo, v. 47, p.37-40, 1989.
- PRADO, R. M.; FERNANDES, F. M.; NATALE, W. Efeito residual de escória de siderurgia como corretivo da acidez do solo na soqueira da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p.287-296, 2003.
- QUAGGIO, J.A.; RAIJ, van B. Cálcio, magnésio e correção da acidez do solo. In: DINARDO-MIRANDA, L.L.D.; VASCONCELOS, A.C.M. de; LANDELL, M.G. de A. **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agrônômico, 313-322p. 2008.
- QUEIROZ-VOLTRAN, R.; PRADO, H.; MORETTI, F. C. Aspectos estruturais de raízes de cana-de-açúcar sob o efeito da compactação do solo. **Bragantia**, Campinas, v. 57, n. 1, p.49-55, 1998.
- RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba, Ceres, Potafos, 1991, 343p.

RAIJ, B. van; et al. **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas. Instituto Agronômico e Fundação IAC, 285p. 1996.

RAIJ, B, van; QUAGGIO, J.A. Uso eficiente de calcário e gesso na agricultura. In: SIMPÓSIO SOBRE FERTILIZANTES NA AGRICULTURA BRASILEIRA, Brasília, 1984. **Anais...**, Brasília, EMBRAPA, p.323-246. 1984.

RAIJ, B. van; et al. Gesso na produção de cultivares de milho com tolerância diferencial a alumínio em três níveis de calagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, p.101-108, 1998.

ROSSETTO, R.; DIAS, F. L. F. Nutrição e adubação da cana-de-açúcar: indagações e reflexões. Piracicaba: **Potafos**, 2005, 32p. (Encarte técnico/Informações agronômicas nº 110, 2005).

ROSSETTO, R.; DIAS, F.L.F.; VITTI, A.C. Fertilidade do solo, nutrição e adubação. In: DINARDO-MIRANDA, L.L.D.; VASCONCELOS, A.C.M. de; LANDELL, M.G. de A. **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agronômico, 219-238p. 2008.

ROSSETTO, R. et al. Fósforo. In: DINARDO-MIRANDA, L.L.D.; VASCONCELOS, A.C.M. de; LANDELL, M.G. de A. **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agronômico, 271-288p. 2008.

ROSSETTO, R. et al. Potássio. In: DINARDO-MIRANDA, L.L.D.; VASCONCELOS, A.C.M. de; LANDELL, M.G. de A. **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agronômico, 289-312p. 2008.

SALDANHA, E.C.M. **Gesso mineral em cana de açúcar**: efeitos no solo e na planta. 56f. Dissertação (Magister Scientiae) - Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife – PE, 2005.

SILVA, A. J. N. da; RIBEIRO, M. R. Caracterização de latossolo amarelo sob cultivo contínuo de cana-de-açúcar no estado de alagoas: atributos morfológicos e físicos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, p.677-684, 1997.

SILVA, L.C.F. da; CASAGRANDE, J.C. Nutrição mineral da cana-de-açúcar (macronutrientes). In: ORLHANDO FILHO, J. Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil. **Planalsucar**: Piracicaba, p77 – 99, 1983.

SILVEIRA, J.A.G. **Interações entre assimilação de nitrogênio e o crescimento da cana-de-açúcar (Saccharum spp) cultivada em condições de campo**. Piracicaba, 1985. 152f. Tese (doutorado em agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1985.

SILVEIRA, R.I. et al. **Adubos e adubação das principais culturas brasileiras**. Piracicaba, ESALQ/USP, 239p. 1985.

SMITH, D. M.; INMAN-BAMBER, N.G.; THORNBURN, P. J. Growth and function of the sugarcane root system. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 92, p.163-189, 2005.

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

SOUZA, W.J.O. et al. Influência dos manejos convencional, plantio direto e uso do adubo verde no inverno, sobre a acidez ativa e potencial do solo. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 13, 1996, Águas de Lindóia. **Anais...** Resumos expandidos. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do solo, 1996. (CD-ROM).

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

TOKESHI, H. **Cana-de-açúcar**. In: PEREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. Micronutrientes na agricultura. Piracicaba: CNPq/POTAFOS, p.485-499. 1991.

VASCONCELOS, A. C. M. de; GARCIA, J. C. Desenvolvimento radicular da cana-de-açúcar. Piracicaba: **Potafos**, 2005, 32p. (Encarte técnicos/Informações agronômicas nº 110, 2005).

VERMA, R. S. Ratoon decline in sugar cane. **Cooperative Sugar**, [S.l.], v. 26, n. 5, p.349-351, 1995.

VITTI, A.C., et al. Enxofre. In: DINARDO-MIRANDA, L.L.D.; VASCONCELOS, A.C.M. de; LANDELL, M.G. de A. **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agronômico, 323-330p. 2008.

VITTI, G.C., et al. Efeito de doses de gesso na cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). **Revista de Agricultura**, Piracicaba, v. 57, n 3, p.119-132, 1982.

VITTI, G.C.; MALAVOLTA, E. Fosfogesso: uso agrícola. In: SEMINÁRIO SOBRE CORRETIVOS AGRÍCOLAS, Piracicaba, 1984. **Anais...** Campinas, Fundação Cargill, p.161-194. 1985.

VITTI, G. C.; MAZZA, J. A. Planejamento, estratégias de manejo e nutrição da cultura de cana-de-açúcar. Piracicaba: **Potafos**, 2002, 16p. (Encarte técnico/Informações agronômicas, 97).

ÚNICA. União da indústria de cana-de-açúcar. São Paulo. 2010. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/opinia/show.asp?msgCode={3F9EA33E-4132-4292-BDB8-3F3BE97FF854}>>. Acesso em: 06 set. 2010.

ZIGLIO, C.M.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. Formas orgânicas e inorgânicas de mobilização do cálcio no solo. **Braslian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v. 42, p.257-262, 1999.

## **CAPÍTULO 2 - ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO E TEORES FOLIARES DE NUTRIENTES EM ÁREA DE REFORMA DE CANAVIAL SUBMETIDOS A DIFERENTES TIPOS DE PREPARO DE SOLO.**

### **Resumo**

O preparo do solo contribui significativamente com o desenvolvimento das plantas. A cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum* spp) se desenvolve bem em ambientes de cultivos adequados onde a fertilidade do solo é construída com a física, química e biologia do solo em harmonia. O objetivo desse estudo foi avaliar os atributos químicos do solo e o teores foliares de nutrientes na cana-de-açúcar submetidos a diferentes tipos de preparo de solo em área de reforma de canavial na região do cerrado. O experimento foi instalado na usina Jalles Machado. Utilizou-se a variedade IAC 87-3396. O experimento foi implantado em delineamento de blocos casualizados (DBC) com seis tratamentos e quatro repetições e com um total de 34.650 m<sup>2</sup> de área experimental. Os tratamentos foram: dessecação + calcário + aração + grade (T1); calcário + subsolador + grade (T2); dessecação + calcário + plantio direto (T3); dessecação + calcário + subsolador + plantio direto (T4); destruidor de soqueira + calcário + subsolador (T5) e destruidor de soqueira + calcário + grade + aração+ grade (T6). Foram avaliados os atributos químicos do solo: pH, H+Al, Al, m%, V%; a matéria orgânica; os macro e micronutrientes do solo (Cu, Fe, Mn e Zn) e o teor de nutrientes foliares (macros e micronutrientes). As variáveis analisadas foram submetidas aos testes de pressuposições, a análise de variância e ao teste de Tukey, a 1 e 5% de probabilidade. Conclui-se que as diferentes formas de preparar o solo ocasionaram pouca influência na alteração dos atributos químicos deste, além de não influenciar na absorção de nutrientes.

**Palavras-chaves:** *Saccharum* spp, reforma de canavial, atributos químicos do solo, absorção de nutrientes.

## **CHAPTER 2 – SOIL CHEMICAL ATTRIBUTES AND LEAVES NUTRIENTS CONTENT IN A SUGARCANE REFORM AREA UNDER DIFFERENT SOIL TILLAGES.**

### **Abstract**

The soil tillage contributes significantly to the plants development. The sugarcane (*Saccharum* spp) develops well under environment where soil's chemical, physical and biological characteristics are in harmony. However the objective of the present work was to verify the influence of different tillage over soil chemical properties and the macro and micronutrients absorptions by the leaves in a reform area at savanna's region. The trial was set at Jalles Machado Mill and the planting and evaluations were done from January 2009 and July 2010. It was planted the IAC 87-3396 variety and it was set the following tills with four replications: desiccation + limestone + plowing + harrow (T1); limestone + subsoiler + plowing (T2); desiccation + limestone + zero till (T3); desiccation + limestone + subsoiler + zero till (T4); ratton destroyer + limestone + subsoiler (T5) and ratton destroyer + limestone + plowing + harrow + plowing (T6). There were evaluated the following soil chemical attributes: pH, H+Al, Al, m%, V%; the organic matter; macronutrients and micronutrients from soil and plant leaves. The analyzed variables were submitted to presuppositions test, variance and Tukey, at 1 and 5% of probability. The tested tillage had little influence on soil chemical attributes, as well as, did not promoted nutrient absorption by the leaves at the reform area.

**Keywords:** *Saccharum* spp, Sugarcane renovation area, soil chemical attributes, nutrients absorption.

### 3.1. - Introdução

Existem inúmeros fatores responsáveis pelo o sucesso da atividade canavieira, no que concerne a alcançar elevada produtividade e longevidade da área cultivada. Entre eles, o conhecimento e manejo da fertilidade química e física do solo favorece, com excelência, o fornecimento de nutrientes a lavoura nas formas e quantidades adequadas, proporcionando o sucesso na atividade, aliado a escolha adequada do genótipo e da condição climática da localidade durante o período de cultivo.

Entre as demandas agronômicas da cultura da cana-de-açúcar, a escolha correta do sistema de cultivo e manejo do solo é imprescindível para o sucesso da atividade e fator essencial para a obtenção de bons rendimentos, lembrando que, atualmente essa escolha também deve ser pautada no menor impacto ambiental. Neste contexto, deve-se avaliar o uso de máquinas e implementos na atividade canavieira com a finalidade de preparar o solo, plantar e cultivar afim de se obter a maior produtividade possível e de forma racional.

Prado e Centurion (2001) dizem que as práticas de preparar o solo podem ser nocivas ao mesmo. No preparo do solo, o intuito é fornecer condições mais próximas das ideais para que o sistema radicular possa absorver os nutrientes de modo a proporcionar o máximo potencial produtivo.

De acordo com Santiago e Rosseto (2011), como a cultura da cana-de-açúcar é altamente mecanizada, prevê-se que mais de 30 operações ocorrem em um mesmo talhão ao longo de cinco anos. É inevitável que o solo esteja mais compactado ao longo dos anos do canavial. Sendo assim, a reforma do canavial ocorre, em média, a cada cinco anos, mas, dependendo da produtividade do talhão, pode ser adiada para sete, oito ou mais anos. Ou seja, os autores explicam que o preparo do solo é, então, uma questão de máxima relevância, pois a próxima oportunidade dessa prática agrícola levará alguns anos e, caso seja adotada alguma prática inadequada, os problemas resultantes permanecerão por um bom tempo.

Entre os manejos de solo mais utilizados na cana-de-açúcar, sabe-se que as operações agrícolas com revolvimento do solo são importantes para a eficiência de práticas como a calagem, gessagem e fosfatagem, que devem resultar em melhoria do crescimento radicular, aproveitamento dos nutrientes no perfil do solo e refletindo em bom estabelecimento e produtividade da cultura. Porém, observando-se outro conceito, a adoção de práticas conservacionistas, como o cultivo mínimo e o plantio direto, sabe-

se que haverá um maior acúmulo de matéria orgânica que influenciaria em características de melhoria física e química do solo.

O cultivo de cana-de-açúcar tem evoluído muito e deve-se adotar cada vez mais o uso de colheitas mecanizadas em detrimento ao uso da cana queimada, o que irá aumentar o impacto de máquinas nos sistemas de produção. Sendo assim, é importante neste momento melhor compreender as interferências de diferentes sistemas de manejo no solo para indicar quais manejos são mais benéficos para o sistema solo-planta-ambiente.

Para Silva e Mielniczuk (1998), diferentes sistemas de manejo do solo podem atuar de maneira decisiva na formação e estabilização dos agregados, podendo influenciar na distribuição do sistema radicular e conseqüentemente na absorção dos nutrientes. Esses sistemas de manejo do solo podem provocar diferentes condições de absorção de nutrientes, podendo ser condições favoráveis ou desfavoráveis para o máximo desenvolvimento e longevidade da cultura. BARBIERI, ALLEONI e DONZELLI (1997) dizem que a mobilização no preparo do solo pode ser feita em várias operações, sendo que cada solo tem uma resposta diferente.

A colheita de cana queimada, o trânsito de máquinas e transbordos pesados e a utilização de implementos para preparo do solo são os grandes causadores da compactação do solo e perda das características físicas e diminuição das qualidades químicas ideais do solo para a cultura, ocasionando baixas produtividades e antecipando a reforma dos canaviais. A compactação do solo é um dos principais problemas que diz respeito ao desenvolvimento radicular das plantas (VERMA 1995; BARBIERI, ALLEONI e DONZELLI, 1997; QUEIROZ-VOLTAN, PRADO e MORETTI, 1998 e SMITH, INMAN-BAMBER, THORNBURN, 2005), devido à redução da aeração do solo, causado pelo aumento da densidade do mesmo (CORSINI e FERRAUDO, 1999) e a incorporação de calcário e gesso agrícola em superfície.

Com a finalidade de avaliar a interferência do preparo do solo nas características químicas do solo foram avaliados os atributos químicos do solo e os teores foliares de nutrientes na cana-de-açúcar submetidos a seis tipos de preparo de solo em área de reforma de canavial na região do cerrado.

## 3.2. - Material e Métodos

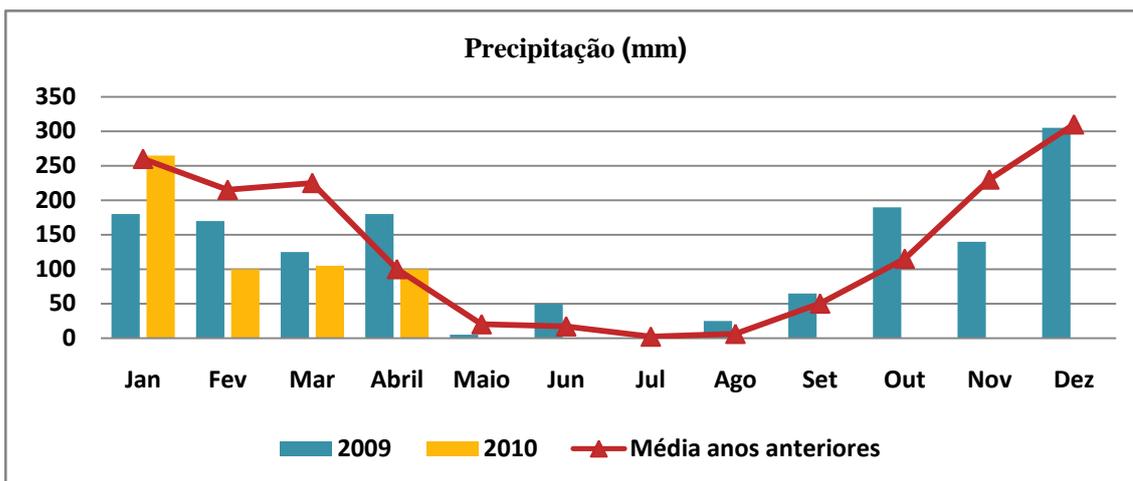
### 3.2.1. - Localização e implantação do experimento

A área experimental situa-se na usina Jalles Machado, localizada nas coordenadas 15° 10 ' de latitude sul e 49° 15' de longitude oeste, com aproximadamente 640 m de altitude. Historicamente, cultivou-se grande culturas, como arroz, soja e milho e nos seis últimos anos foi cultivada com a cana-de-açúcar, caracterizando área de reforma do canavial.

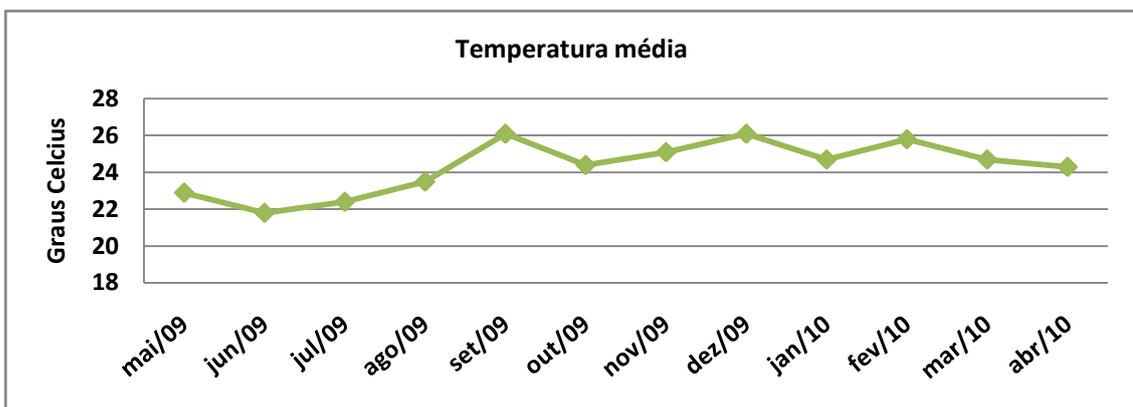
O início da implantação do experimento aconteceu no período de janeiro de 2009, quando se realizaram as demarcações, dessecação da área, manejos de preparo do solo e sistemas conservacionistas, que caracterizaram os tratamentos avaliados. O período de avaliação foi de janeiro de 2009 até julho de 2010, quando se realizou a colheita da cana e alguns dados experimentais.

### 3.2.2. - Caracterização do clima

Quanto ao clima da região predomina o tipo climático Aw (Megatérmico) ou tropical de savana, com invernos secos e verões chuvosos e temperaturas médias de 23,7 °C e 25,4 °C, respectivamente, segundo a classificação de Köppen. O índice pluviométrico anual médio é de entorno 1500 mm. De acordo com fontes da usina, ocorreu uma precipitação de 1435 mm durante o ano de 2009 e 570 mm nos primeiros meses do ano de 2010 como consta no gráfico 1. Durante a condução do experimento ocorreu variações de temperatura de 21,8 °C no mês de junho a 26,1 °C em setembro e dezembro de 2009 (Gráfico 2).



**GRÁFICO 1.** Precipitação pluviométrica média dos anos anteriores e durante a condução do experimento nos anos de 2009 e 2010. Fonte: Usina Jalles Machado (2010)



**GRÁFICO 2.** Temperatura média em (°C) durante a condução do experimento. Fonte: Usina Jalles Machado (2010)

### 3.2.3. - Caracterização físico-química do solo

Para caracterização físico-química da área experimental, antes da implantação, foram retiradas amostras em duas profundidades (0 a 20 cm e 20 a 40 cm) e encaminhadas para análises no laboratório de análise de solos da usina Jalles Machado. O solo foi classificado como LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico (EMBRAPA 2006). Na tabela 1, encontra-se a caracterização química do solo da área e, na tabela 2, a caracterização física.

TABELA 1. Caracterização química do solo da área do experimento amostrado na profundidade de 0 a 20 e 20 a 40 cm em janeiro de 2009

<b>pH (H<sub>2</sub>O)</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>Al</b>	<b>P</b>	<b>K</b>	<b>H+Al</b>	<b>T</b>	<b>V</b>	<b>m</b>	<b>M.O.</b>
<b>---1:2,5--</b>	<b>-----cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> -----</b>		<b>-----</b>	<b>---mg dm<sup>-3</sup> ---</b>		<b>---cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> ---</b>		<b>-----%-----</b>	<b>--g kg<sup>-1</sup> --</b>	
-----0 a 20 cm-----										
5,15	1,73	0,66	0,02	1,30	54,00	2,54	5,07	49,69	1,38	19,3
-----21 a 40 cm-----										
4,63	0,45	0,32	0,37	0,95	6,83	3,02	3,80	20,06	33,00	13,9

pH em H<sub>2</sub>O; Ca, Mg, Al, (KCl 1 mol L<sup>-1</sup>); P, K = (HCl 0,05 mol L<sup>-1</sup> + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,0125 mol L<sup>-1</sup>) P disponível (extrator Mehlich<sup>-1</sup>); H + Al = (Solução Tampão – SMP a pH 7,5); CTC a pH 7,0; V = Saturação por bases; m = Saturação por alumínio, M.O. = Método Colorimétrico (EMBRAPA, 2009).

TABELA 2. Caracterização física do solo da área do experimento amostrado na profundidade de 0 a 20 e 20 a 40 cm em janeiro de 2009

<b>Prof. cm</b>	<b>AG</b>	<b>AF</b>	<b>Silte</b>	<b>Argila</b>	<b>Textura<sup>1</sup></b>
-----g kg <sup>-1</sup> -----					
0 a 20	143	330	96	431	Argilosa
20 a40	115	338	98	450	Argilosa
40 a 60	116	319	105	461	Argilosa
60 a 90	107	313	104	477	Argilosa

Prof. = Profundidade; AG = Areia grossa; AF = Areia fina.<sup>1</sup> Método da pipeta, (EMBRAPA, 2009).

#### 3.2.4. - Delineamento experimental

O experimento foi implantado em delineamento de blocos casualizados (DBC) com seis tratamentos e quatro repetições. A área experimental possuiu um total de 34.505 m<sup>2</sup>, incluindo carregadores. Cada repetição consistia de seis parcelas, contendo cada uma 50 m de comprimento e 19,5 m de largura, composta por 13 linhas de cana-de-açúcar espaçadas de 1,5 m. Separando os blocos e as parcelas, foram feitos carregadores com largura de 5 m, cujo propósito foi de efetuar manobras com máquinas e implementos. Ver croqui (Anexo 1).

### 3.2.5. - Tratamentos

Os tratamentos consistiam em diferentes opções de preparo de solo para o cultivo da cana-de-açúcar, sendo eles:

Tratamento 1: dessecação + calcário + aração + grade;

Tratamento 2: calcário + subsolador + grade;

Tratamento 3: dessecação + calcário + plantio direto;

Tratamento 4: dessecação + calcário + subsolador + plantio direto;

Tratamento 5: destruidor de soqueira + calcário + subsolador;

Tratamento 6: destruidor de soqueira + calcário + grade + aração+ grade.

Dependendo do tratamento, foram realizados os seguintes manejos:

1 - Dessecação - Foram utilizados herbicidas de largo espectro, glyphosate adicionando 2, 4 - D, nas doses de 3,0 e 2,0 L ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

2 - Correção de Acidez (calcário) – O corretivo utilizado foi um calcário dolomítico com PRNT de 85 %, sendo que a dose de 1,5 t ha<sup>-1</sup> foi distribuída em todos os tratamentos de forma uniforme.

3 - Aração - Foi realizada com arado de aivecas, atingindo uma profundidade efetiva de 35 a 40 cm.

4 - Gradagem - Foi utilizada uma grade intermediária/niveladora, atingindo profundidades de 15 a 20 cm.

5 – Subsolador - Foi utilizado um subsolador, atuando em profundidades médias de 40 cm.

6 – Plantio direto – Foi realizado a abertura de sulco com sulcador, atingindo profundidades de 30 a 40 cm.

Foi realizada uma gessagem após a implantação de todos os tratamentos. A dose fornecida foi de 800 kg ha<sup>-1</sup> distribuída a lanço, sendo única pra todos os tratamentos.

### 3.2.6. - Plantio da cana-de-açúcar

O plantio da cana-de-açúcar foi realizado no sulco, com auxílio de um sulcador. Os sulcos abertos atingiram aproximadamente 35 – 40 cm de profundidade.

A adubação de plantio foi realizada no sulco com distribuição de 250 kg ha<sup>-1</sup> de fosfato monoamônico (MAP), equivalente a 120 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 27 kg ha<sup>-1</sup> de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (RAIJ et al., 1996).

Foi utilizada a variedade IAC 37-3396, sendo o plantio realizado manualmente no dia 24 de abril de 2009, colocando-se de 15 a 20 gemas m<sup>-2</sup> numa profundidade de 30 a 40 cm. Logo após a distribuição da cana nos sulcos, realizou-se a cobertura dos mesmos. Foi realizada também uma adubação de cobertura no dia 05 de setembro de 2009 com o formulado líquido 05-00-13 + 0,3% de Zn + 0,3 % de B, na quantidade de 1000 L ha<sup>-1</sup>.

### 3.2.7. - Avaliações realizadas

#### 3.2.7.1. - Análise do solo

Após a realização da colheita do canavial no mês de julho, foram realizadas amostragens de solo em quatro diferentes profundidades: 0 a 20; 20 a 40; 40 a 60 e 60 a 90 cm. Foram coletadas três amostras simples aleatórias por parcela nas entre linhas das quais foram homogeneizadas formando uma amostra composta.

Foi utilizado um enxadão para retirada das amostras no primeiro perfil, de 0 a 20 cm. Para as demais profundidades, utilizou-se um trado holandês.

As amostras foram transportadas para o laboratório de análises de solo, folhas, corretivos e fertilizantes da Universidade Federal de Uberlândia – LABAS – UFU, onde foram analisados os seguintes atributos: teor de macronutrientes (K, S-SO<sub>4</sub>, Ca e Mg), (P) pelo método de mehlich<sup>1</sup>, e micronutrientes (Cu, Fe, Zn e Mn), além do pH em H<sub>2</sub>O, matéria orgânica (MO), pelo método colorimétrico, e avaliação dos atributos químicos do solo: acidez trocável (Al<sup>3+</sup>); acidez total (H + Al); saturação por alumínio (m%); saturação por bases (V%), segundo metodologias descritas por EMBRAPA (2009).

#### 3.2.7.2. - Análise foliar

As amostras foliares foram coletadas quando o canavial estava com oito meses pós plantio. Coletou-se uma amostra composta por parcela. Cada amostra composta foi

formada por 20 folhas, sendo cada folha originada de uma planta que foi escolhida aleatoriamente nas cinco linhas centrais da parcela.

Identificaram-se as linhas no início da parcela, percorrendo todas elas até o fim coletando quatro folhas por linha. Para escolher qual folha a ser coletada na planta, adotou-se a folha +1, ou seja, a primeira com bainha visível. Esta se encontra a primeira com a lígula totalmente aberta. Após a coleta de todas as folhas, foram descartadas as bases e as pontas das folhas, utilizando somente uma parte mediana de 20 a 25 cm aproximadamente. Essas amostras foram identificadas, acondicionadas em sacos de papel e transportadas para o LABAS, em Uberlândia.

Foram realizadas a lavagem do material foliar e análise de macronutrientes (P, K, S-SO<sub>4</sub>, Ca e Mg) e micronutrientes (Cu, Fe, Zn e Mn), conforme metodologia descrita por EMBRAPA (2009).

#### 3.2.8. - Análises estatísticas

Os resultados foram submetidos aos testes de normalidade de Shapiro-Wilk, para testar a distribuição dos resíduos, e de homogeneidade de Levene, para as variâncias, todos a 1% de probabilidade. Os dados sem distribuição normal e com heterogeneidade foram submetidos à transformação de dados com raiz quadrada de  $x + 0,5$ . A análise de variância foi feita pelo teste F, a 1 e 5% de probabilidade. Posteriormente, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,01$  e  $0,05$ ).

### 3.3. - Resultados e Discussão

#### 3.3.1. - Avaliação dos atributos químicos do solo

As características químicas do perfil do solo, amostradas após a colheita da cana, estão contidas nas tabelas 2, 3, 4 e 5. Não foram observadas diferenças significativas em função dos diferentes tipos de preparo do solo ( $P > 0,05$ ), entre os valores de pH nas quatro profundidades (Tabela 2.). Joukhadar (2006), avaliando diferentes preparos de solo e o pousio em cultivo de batata, observou diferença de pH entre os tratamentos, o que não ocorreu neste experimento.

Observou-se (Tabela 2) maior valor de pH na camada mais superficial do solo (0 a 20), no tratamento em que dessecou-se a área, distribuiu-se o calcário e realizou-se a subsolagem (T4). Com esse tratamento, o pH que antes da implantação dos tratamentos era de 5,15, classificado agronomicamente como baixo, saltou para 6,4, valor este considerado de nível alto. Na média dos tratamentos foi, encontrado um pH de 5,9, tido como bom nesse perfil.

Atribui-se que, para uma boa correção do solo, as partículas dos corretivos ou seus produtos devem entrar em contato com os colóides do solo, o que, de acordo com Weirich Neto et al. (2000), decorre a necessidade de incorporação deste calcário da melhor forma possível, o que normalmente é conseguido com auxílio de implementos que revolvem o solo. Esses mesmos autores, estudando a correção da acidez do solo em função de modos de incorporação de calcário, observaram que os efeitos foram até a camada de 20 cm, quando o calcário foi incorporado, com enxada rotativa, até 15 cm para os modos de incorporação, envolvendo arado de discos ou grade aradora, seguidos de duas gradagens niveladoras, e até 10 cm, quando a incorporação foi realizada com arado escarificador mais grade niveladora, ou com a distribuição de calcário na superfície sem incorporação. Nas demais profundidades, não foram observadas diferenças significativas. Os teores médios encontraram-se próximos de 5,0 em todos os tratamentos. Esse valor de pH é considerado baixo (ALVAREZ V. et al., 1999). Porém, a cultura da cana-de-açúcar é tolerante a valores menores de pH. Conforme Rosseto et al. (2004), respostas em produtividade com a calagem são obtidas normalmente quando em solos com severa acidez e presença de alumínio tóxico e principalmente deficiência de cálcio e magnésio.

TABELA 3 - Valores de pH, acidez potencial (H+Al), trocável (Al) e saturação por Al (m%), sob os diferentes tipos de preparo do solo e em quatro profundidades

Profundidade cm	Tratamento	pH (H <sub>2</sub> O)	H+Al -----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----	Al	m %
0 a 20	T1	5,85	2,50	0,02	0,57
	T2	5,80	2,50	0,00	0,00
	T3	5,90	2,25	0,00	0,00
	T4	6,42	2,15	0,00	0,00
	T5	5,95	2,38	0,02	0,52
	T6	5,62	2,58	0,04	2,92
	Média	5,92	2,39	0,01	0,67
	CV (%)	6,69	17,74	326,93	377,73
	W; F	0,92; 0,70	0,95; 0,55	<b>0,65; 91,52</b>	<b>0,63; 7,62</b>
	DMS	0,91	0,97	0,07	5,82
20 a 40	T1	5,57	3,00	0,99	18,35
	T2	5,12	3,00	0,83	27,42
	T3	5,05	2,60	0,85	21,72
	T4	5,32	2,50	0,90	16,25
	T5	5,02	2,93	0,86	33,62
	T6	5,03	2,75	0,90	23,05
	Média	5,23	2,80	0,89	23,40
	CV (%)	4,88	17,32	67,51	73,24
	W; F	8,88; 2,63	0,98; 0,92	0,98; 1,01	0,93; 0,55
	DMS	0,58	1,24	0,19	39,39
40 a 60	T1	5,15	2,75	0,13	19,32
	T2	5,12	2,75	0,12	13,70
	T3	5,30	2,15	0,17	18,52
	T4	5,40	2,50	0,07	7,85
	T5	5,17	2,30	0,20	23,82
	T6	5,20	2,58	0,17	18,37
	Média	5,22	2,50	0,14	16,93
	CV (%)	3,69	18,43	132	122,66
	W; F	0,94; 0,43	0,97; 1,44	0,89; 0,49	0,88; 0,73
	DMS	0,44	1,01	0,45	47,73
60 a 90	T1	5,20	2,00 b	0,00	0,00
	T2	5,40	2,00 b	0,00	0,00
	T3	5,20	1,80 ab	0,00	0,00
	T4	5,15	1,88 ab	0,00	0,00
	T5	4,97	1,73 a	0,00	0,00
	T6	5,12	1,73 a	0,00	0,00
	Média	5,17	1,85	0,00	1,19
	CV (%)	5,89	6,69	0,00	0,00
	W; F	0,95; 3,03	0,97; 1,10	<b>0,45; 0,00</b>	<b>0,45; 0,00</b>
	DMS	0,70	0,21	0,00	0,00

T1= Dessecação + calcário + aração + grade; T2= Calcário + subsolador + grade; T3= Dessecação + calcário + plantio direto; T4= Dessecação + calcário + subsolador; T5= Destruidor de soqueira + calcário + subsolador; T6= Destruidor de soqueira + calcário + grade + aração + grade.

Médias seguidas por letras diferentes na coluna diferem estatisticamente, pelo teste F e Tukey, a 5 % de probabilidade.

Valores em negrito indicam falta de normalidade dos resíduos, pelo teste de Shapiro-Wilk (W), e heterogeneidade das variâncias, pelo teste de Levene (F), a 0,01 de significância.

Observando os valores da acidez potencial (H + Al) no solo nas três primeiras profundidades estudadas (0 a 20, 20 a 40 e 40 a 60 cm), tabela 3, nota-se que não houve diferenças significativas ( $P > 0,05$ ). Esse comportamento era esperado, pois essa área experimental é uma área historicamente cultivada estando o pH do solo, em valores próximos dos ideais para o cultivo, como pode ser observado na tabela 2.

A acidez potencial de um solo é, conceitualmente, a quantidade de base necessária para neutralizá-la ou, em última análise, a necessidade de calcário do solo (KAMINSKI et al., 2002). Neste experimento, foi utilizada uma dose única de calcário e gesso agrícola e essas não foram suficientes para provocar alterações dos valores da acidez potencial no solo, como observado (Tabela 3). Antes da implantação do experimento, os teores de H + Al, no perfil de 0 a 20 cm, era de  $2,54 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , passando para uma média de  $2,39 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , e no perfil de 20 a 40 cm, onde o valor da acidez potencial era de  $3,02 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  antes da implantação do experimento, passou para uma média de  $2,80 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ .

Nessas profundidades de 20 a 40 cm, esperava-se uma maior redução da acidez potencial, pois na maioria dos tratamentos houve revolvimento de solo e a incorporação do calcário e o contato deste e seus produtos com os colóides do solo deveriam ter sido mais efetivos na redução do  $\text{Al}^{3+}$  e do  $\text{H}^+$ . Na profundidade de 0 a 20 cm, como os teores de Al foram próximos a zero, a acidez potencial pode ser atribuída, quase totalmente, ao composto por  $\text{H}^+$ , sendo um íon de carga fortemente reativo com os colóides do solo, a qual se dá por ligações covalentes, sendo, portanto, dissociável apenas com a elevação do pH pela solução SMP em pH 7,5 (GALVÃO e VAHL, 1996). Para maiores reduções da acidez potencial, seriam necessárias altas dosagens de calcário para romper essas ligações. Esse atributo, independente da profundidade, encontra-se com classificação baixa (ALVAREZ V. et al., 1999).

Na profundidade de 20 a 40 cm, observou-se um maior valor de  $\text{Al}^{3+}$ , sendo que não houve incremento da acidez potencial. O mesmo deveria ocorrer na profundidade de 40 a 60 cm, pois nessa profundidade a incorporação do corretivo é menos eficiente, o que deveria ocasionar uma participação maior do  $\text{Al}^{3+}$  na acidez potencial. Porém, o que se verificou foi o contrário nesta profundidade, o teor de Al foi menor do que na camada de 20 a 40 cm. Esse fato pode ser atribuído à profundidade do sulco de plantio da cana-de-açúcar e também ao uso do gesso agrícola, que devem ter contribuído pelas reduções do alumínio nas profundidades de 40 a 90 cm.

Na profundidade de 60 a 90 cm, foram observadas diferenças significativas ( $P \leq 0,05$ ). Os tratamentos destruidor de soqueira + calcário + subsolador (T5) e destruidor de soqueira + calcário + grade + aração + grade (T6) apresentaram maior eficiência em reduzir a acidez potencial, quando comparados com os tratamentos: dessecação + calcário + aração + grade (T1) e distribuição do calcário + subsolador + grade (T2). Isso pode estar relacionado com uma melhor incorporação, sendo que quanto mais profundo e homogêneo for incorporado o calcário, melhor será a ação do gesso agrícola em percolar para este perfil onde agiu e complexou o  $Al^{3+}$ . Quando ocorre a destruição das soqueiras, há um revolvimento do solo no local do sulco, facilitando a incorporação do corretivo posteriormente, pois o solo encontra-se com maior área de contato, com o calcário além dos implementos penetrarem com mais facilidade no solo.

Silva et al. (2008) afirmam que o atributo do solo que mais influenciou na acidez potencial dos 22 Organossolos estudados em MG foi o teor de C orgânico (CO), seguido pelo teor  $Al^{3+}$  trocável. Neste experimento, o teor de MO não variou nas três primeiras profundidades, sendo o teor  $Al^{3+}$  trocável a variável o que mais influenciou a acidez potencial (H + Al).

Estudando o comportamento do Alumínio trocável nos quatro perfis avaliados, não foram observadas diferenças estatísticas ( $P > 0,05$ ) em nenhum deles, tabela 2. Contudo, verificam-se algumas particularidades: na profundidade de 0 a 20 cm, a presença de  $Al^{3+}$  foi quase imperceptível, onde a média dos tratamentos não ultrapassou  $0,01 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ . Isso pode ser atribuído ao fato de que as incorporações do corretivo se concentraram mais nesse perfil, até mesmo no plantio direto; e principalmente pelo fato do solo já possuir uma fertilidade considerável, oriunda dos cultivos anteriores. Já nos perfis de 20 a 40 e 40 a 60 cm, pode-se notar valores da acidez trocável superiores aos demais, onde as médias foram de 0,89 e 0,45  $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , respectivamente. Tal observação pode ser atribuída ao fato de serem camadas mais limitadas ao acesso dos implementos que incorporam o corretivo de acidez do solo. Outro destaque está no perfil estudado mais profundo o de 60 a 90 cm, em que o valor da média da acidez trocável for nula, ou seja, não houve toxicidade pelo alumínio. Esse é o efeito que o gesso agrícola proporciona, complexando o alumínio trocável em subsuperfície.

Para a saturação por alumínio (m%), também não foram observadas diferenças significativas ( $P > 0,05$ ) entre os tratamentos nos quatro perfis estudados, tabela 2. Porém, da mesma forma que o alumínio, observam-se particularidades, as mesmas que aconteceram com a acidez trocável. Nota-se que nas profundidades de 0 a 20 e 60 a 90

cm a saturação do alumínio foi muito baixa (ALVAREZ V. et al. 1999), onde os valores são de 0,67 e 1,19  $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , respectivamente. Admite-se que no perfil de 0 a 20 cm, esses valores, devido a maior eficiência de homogeneização do corretivo e pela superioridade da fertilidade do solo, houve uma maior neutralização do Al. Já na profundidade de 60 a 90 cm, o valor muito baixo da m% pode ter sido originado pela ação do gesso agrícola, que pode complexar o alumínio na subsuperfície. Nos perfis de 20 a 40 e 40 a 60 cm, a saturação do alumínio foi superior, sendo 23,40 e 16,93  $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , respectivamente, estando classificada como baixa (ALVAREZ V. et al., 1999). Ressalta-se que estas são camadas onde o acesso de implementos incorporadores são restritos e a gessagem não agiu de maneira intensa nesse local, passando para o perfil seguinte (60 a 90 cm) onde sua ação foi acentuada.

Na tabela 4, encontra-se os valores de cálcio, magnésio, potássio e a saturação de bases do solo nos quatro perfis. Analisando o teor de cálcio trocável ( $\text{Ca}^{2+}$ ) no perfil de 0 a 20 cm, de profundidade notam-se diferenças significativas ( $P \leq 0,01$ ). O tratamento (T4) a qual iniciou-se com uma dessecação, posterior aplicação do calcário e uso do subsolador se sobressaiu ao o tratamento (T6) o qual realizou-se a destruição de soqueiras, posteriormente a distribuição do calcário e incorporando com uma gradagem, uma aração e mais uma gradagem. Uma explicação pelo comportamento diferenciado pode ser atribuída ao fato de que, quando tem-se uma incorporação bastante profunda (de 35 a 40 cm) e homogeneizada, o calcário torna-se muito diluído no solo, refletindo assim menores teores de cálcio trocável.

Uma alternativa para aumentar o teor de cálcio seria a aplicação de maiores doses de calcário, mas desde que fosse bem homogeneizado e incorporado em grandes profundidades. Também como alternativa, pode-se aplicar outras fontes de fertilizantes com presença desta base, como o gesso agrícola e o superfosfato simples. De acordo com Alvarez V. et al. (1999), o teor de cálcio médio (1,87  $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) na camada de 0 a 20 cm encontra-se como teor médio, apesar de o teor considerado ideal ser de 2,40  $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ . Nas demais profundidades, o teor encontra-se como baixo e muito baixo (ALVAREZ V. et al., 1999).

TABELA 4. Teores de cátions trocáveis e saturação de bases (V %) do solo, em função dos diferentes tipos de preparo de solo e em quatro profundidades

Profundidade cm	Tratamento	Ca	Mg	K	V
		-----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----		mg dm <sup>-3</sup>	%
0 a 20	T1	1,52 ab**	0,73	49,5	49,30 ab
	T2	2,00 ab	0,73	48,0	56,13 ab
	T3	1,90 ab	0,63	51,5	53,10 ab
	T4	2,92 a	1,10	59,5	65,45 a
	T5	1,70 ab	0,65	64,0	51,13 ab
	T6	1,17 b	0,45	53,5	38,68 b
	Média	1,87	0,71	54,33	52,29
	CV (%)	27,86	41,34	21,12	17,08
	W; F	0,93; 0,83	0,96; 2,27	0,96; 3,74	0,97; 0,23
	DMS	1,51	0,68	26,37	20,46
20 a 40	T1	1,05	0,50	29,0	35,48
	T2	0,43	0,20	23,5	19,53
	T3	0,50	0,23	23,0	20,25
	T4	1,03	0,33	31,8	35,80
	T5	0,53	0,25	29,8	23,88
	T6	0,70	0,33	30,8	29,30
	Média	0,70	0,30	27,96	27,37
	CV (%)	15,89*	9,64*	23,40	40,60
	W; F	0,94; 4,08*	0,90*; 4,05	0,96; <b>5,19</b>	0,97; <b>5,62</b>
	DMS	0,95	0,39	15,03	25,54
40 a 60	T1	0,43	0,20	21,0	20,90
	T2	0,43	0,18	17,8	22,50
	T3	0,40	0,25	17,0	21,22
	T4	0,68	0,30	27,8	28,73
	T5	0,28	0,15	26,5	17,43
	T6	0,35	0,23	22,5	21,38
	Média	0,43	0,22	22,08	22,02
	CV (%)	59,06	38,00	26,82	35,94
	W; F	0,91; 1,20	0,98; 0,40	0,93; 2,18	0,96; 0,59
	DMS	0,58	0,19	13,61	18,19
60 a 90	T1	0,18	0,18	12,8	18,10
	T2	0,28	0,13	12,0	22,05
	T3	0,15	0,18	10,0	16,35
	T4	0,28	0,18	14,3	20,13
	T5	0,13	0,13	13,3	13,83
	T6	0,20	0,18	11,8	17,40
	Média	0,20	0,16	12,33	17,98
	CV (%)	50,00	61,82	27,62	37,76
	W; F	0,95; <b>6,76</b>	0,93; 2,24	0,90; 2,15	0,94; 1,89
	DMS	0,23	0,20	7,83	15,60

T1= Dessecação + calcário + aração + grade; T2= Calcário + subsolador + grade; T3= Dessecação + calcário + plantio direto; T4= Dessecação + calcário + subsolador; T5= Destruidor de soqueira + calcário + subsolador; T6= Destruidor de soqueira + calcário + grade + aração + grade.

Médias seguidas por letras diferentes na coluna diferem estatisticamente, pelo teste F e Tukey, a 5 % de probabilidade. \* Dados transformados com raiz de X + 0,5. \*\* Tukey, a 1% de probabilidade.

Valores em negrito indicam falta de normalidade dos resíduos, pelo teste de Shapiro-Wilk (W), e heterogeneidade das variâncias, pelo teste de Levene (F), a 0,01 de significância.

Já observando os perfis de 20 a 40, 40 a 60 e 60 a 90 cm, não foram detectadas diferenças com significância menor que 5 % de  $\text{Ca}^{2+}$ . Quanto ao teor de Ca trocável no solo, os dados demonstraram que realmente há acúmulo deste nutriente em camadas superficiais do solo, e como colocam Pavinato, et al. (2009), em estudo com diferentes solos e sistemas de manejo, os maiores teores de Ca são disponíveis na camada mais superficial de 0 a 5 cm para o plantio direto, com redução drástica já na segunda camada (5 a 10 cm). Já nos sistemas com preparo do solo (convencional), os teores de Ca trocável são semelhantes no perfil, desde a superfície até 15 cm, em função desta ser revolvida no momento do preparo do solo.

Para os teores de magnésio trocável no solo ( $\text{Mg}^{2+}$ ), não foram detectadas diferenças significativas ( $P > 0,05$ ) em nenhuma das profundidades estudadas. Pode-se ver que, antes da implantação do experimento e na profundidade de 0 a 20 cm, o valor de  $\text{Mg}^{2+}$  foi de  $0,66 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , passando para uma média de  $0,71 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , ambos classificados como teor médio no solo, valor próximo ao considerado ideal segundo Alvarez V. et al. (1999), que é de  $0,90 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ .

O maior valor observado, na profundidade de 0 a 20 cm, foi no tratamento (T4) onde dessecou-se a área, distribuiu-se o calcário e realizou-se a subsolagem. O teor de  $\text{Mg}^{2+}$  no solo atingiu nível bom, com valor de  $1,10 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ .

Já no perfil de 20 a 40 cm, o tratamento (T1) onde dessecou-se a área, distribuiu-se o calcário e realizou-se uma aração profunda e uma gradagem foi o que apresentou o maior teor, com classificação média de  $\text{Mg}^{2+}$  sendo de  $0,50 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ . Os demais tratamentos obtiveram classificação baixa de  $\text{Mg}^{2+}$  no solo, com valores abaixo de  $0,35 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ . Para os dois últimos perfis (40 a 60 e 60 a 90 cm), ambos apresentaram teores médios classificados como baixos e muito baixos de  $\text{Mg}^{2+}$  no solo. O comportamento de Ca e Mg é bastante similar, uma vez que a aplicação destes é realizada preferencialmente com o uso de calcários. Silveira et al. (2000) também constataram maior concentração dos cátions Ca e Mg na camada superficial do solo (0 - 5 cm), devido à sorção desses dois elementos pelas cargas negativas da superfície do solo, facilitando sua permanência nesta camada.

Não foram observadas diferenças significativas ( $P > 0,05$ ) para os valores de potássio nas quatro profundidades estudadas. As médias dos valores de potássio no solo nas camadas de 0 a 20, 20 a 40, 40 a 60 e 60 a 90 cm foram de 54,33; 27,96; 22,08 e  $12,33 \text{ mg dm}^{-3}$ . São valores classificados de nível médio, baixo, baixo e muito baixo,

respectivamente, de acordo com Alvarez V. et al. (1999). Todavia, foram resultados já esperados, pois os diferentes tratamentos não estavam incorporando fonte de potássio.

Detectaram-se diferenças significativas ( $P \leq 0,05$ ) entre os tratamentos na profundidade de 0 a 20 cm para os valores de saturação de bases do solo. O tratamento T4 onde dessecou-se a área com posterior aplicação do calcário e uso do subsolador se sobressaiu sobre o tratamento T6 onde realizou-se a destruição de soqueiras e depois aplicou-se o calcário é incorporado com uma gradagem, uma aração e mais uma gradagem. Esses valores da saturação de bases estão diretamente relacionados com os teores de cálcio e magnésio trocáveis no solo. Então, esses elementos se concentraram nesse perfil, em função da profundidade de incorporação. No tratamento T4 o V% alcançou valor de 65,45 %, sendo uma classe de interpretação de nível bom. Já o tratamento T6, ficou classificado como nível baixo, com valor da V% de 38,68 %. Para os demais tratamentos, os níveis de classificação encontraram-se entre 49,30 e 56,13 %, dentro da classificação média (ALVAREZ V. et al., 1999).

Em todas as demais profundidades, não foram detectadas diferenças significativas ( $P > 0,05$ ) para os valores da saturação de bases do solo (V%). No perfil de 20 a 40 cm, percebeu-se que todos os valores da (V%) encontraram-se classificados como nível baixo, apresentando uma média de 27,37 %. No perfil de 40 a 60 cm, os valores da (V%) dos tratamentos encontraram-se em transição da classificação baixa para muito baixa, onde a média foi de 22,02 %. Já na profundidade de 60 a 90 cm, os valores da saturação de bases do solo encontraram-se em nível muito baixo, com uma média entre os tratamentos de 17,98 %.

Deve-se realizar práticas que melhorem a presença de bases no perfil de solo a ser explorado pela cana-de-açúcar. Silveira et al. (2000) obtiveram variação nos valores médios de pH, Ca, Mg, P, K e saturação por bases do solo, os quais variam conforme o método de preparo e profundidade do mesmo. Observaram, ainda, que o plantio direto apresentou teores de nutrientes menores do que no tratamento com uso de preparo do solo com gradagem e aração, com exceção do Mg.

As poucas variações observadas podem ser devido ao experimento ser de primeiro ano e assim ter menos influência do aporte de nutrientes e cultivos subsequentes, normalmente observados na cana-de-açúcar. De acordo com Frazão et al. (2008), em solos da região do cerrado brasileiro, a adoção de práticas conservacionistas, como o cultivo mínimo e o plantio direto, pode aumentar ou pelo menos manter sua

capacidade produtiva, em razão do possível aumento na CTC do solo e da maior disponibilidade de nutrientes às plantas, em função do acúmulo de MOS.

Na tabela 5, encontram-se os resultados analíticos de fósforo, enxofre e matéria orgânica do solo. Para o fósforo, não foram encontrados diferenças significativas ( $P > 0,05$ ) entre os tratamentos em nenhuma das quatro profundidades. Na caracterização da área, obteve-se um teor médio de P no solo de 1,30 e 0,95 mg dm<sup>-3</sup>, classificado como muito baixo na profundidade de 0 a 20 e 20 a 40 cm, respectivamente.

Observa-se (Tabela 5) para a profundidade de 0 a 20 cm, que o tratamento (T3) obteve nível bom no solo, ao passo que o (T2, T4 e T5) tiveram classificação baixa e o (T1 e T6) muito baixa. Apesar de não serem significativas essas variações não eram esperadas, uma vez que não houve variação de dose neste elemento. O tratamento que apresentou o maior teor de P foi onde estava implantado o sistema de plantio direto (T3). É válido pontuar que diferentes manejos do solo alteram a biodisponibilidade do P, tornando necessário o entendimento de sua dinâmica associada à produção e à decomposição de resíduos orgânicos (RHEINHEIMER et al., 1998).

Não é descartada a hipótese de ocorrer alguma contaminação da área por ocasião do plantio, em função da aplicação mecanizada com uso do MAP (fosfato monoamônico) no sulco de plantio, e por isso poderá ter ocorrido, acidentalmente, alguma dispersão do fertilizante nas entrelinhas (local onde coletou-se as amostras).

Na profundidade de 20 a 40 cm, observa-se que não houve diferença estatística entre os tratamentos, o que demonstra não haver motivo para o maior teor de P no tratamento T5. Assim, esperava-se que os teores nesta profundidade fossem menores do que os obtidos na camada mais superficial. O mesmo comportamento era esperado para a profundidades de 40 a 60 e 60 a 90 cm, sendo que nessas profundidades não foram obtidos valores mais elevados em nenhum tratamento. Esses são perfis que não têm a ação dos implementos agrícolas, não havendo incorporação de calcário e administração de fertilizantes fosfatados. Além disso, o “P” é muito pouco móvel no solo, não sendo lixiviado.

Estudando o enxofre na forma de ânion sulfato S-SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>, não foram notadas diferenças significativas ( $P > 0,05$ ) entre os tratamentos nas três profundidades avaliadas, a exceção foi na profundidade de 40 a 60 cm. Para 0 a 20, 20 a 40 e 40 a 60 cm, as médias dos tratamentos foram de 18,71; 41,13 e 38,88 mg dm<sup>-3</sup> de S-SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>. Todos são valores classificados como altos (Vitti, 1989). Já na profundidade de 60 a 90 cm, obteve-se uma média de 3,54 mg dm<sup>-3</sup> de S-SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>, tido como baixo no solo segundo

Vitti (1989). O teor de enxofre adequado observado neste experimento deve-se a aplicação de gesso.

TABELA 5. Valores de fósforo (P), enxofre (S) e matéria orgânica (MO), em função das diferentes formas de preparo de solo e em quatro profundidades

Profundidade cm	Tratamento	P	S-SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> -----mg dm <sup>-3</sup> -----	M.O. dag kg <sup>-1</sup>
0 a 20	T1	2,48	21,75	1,85
	T2	6,40	17,00	1,75
	T3	12,80	16,25	1,85
	T4	6,03	13,00	2,28
	T5	4,05	18,75	1,58
	T6	2,15	25,50	1,58
	Média	5,65	18,71	1,81
	CV (%)	44,38	48,42	18,96
	W;F	0,95; 0,76	0,98; 2,41	0,96; 1,53
	DMS	18,60	20,82	0,79
20 a 40	T1	3,23	21,50	1,50
	T2	0,93	50,00	1,23
	T3	1,18	40,50	1,28
	T4	1,38	40,25	1,58
	T5	15,40	50,50	1,10
	T6	2,33	44,00	1,30
	Média	4,07	41,13	1,33
	CV (%)	18,25*	38,24	17,13
	W; F	0,94*; <b>8,80</b>	0,93; 1,32	0,95; 2,57
	DMS	27,28	36,13	0,52
40 a 60	T1	0,80	15,50 b	1,05
	T2	0,85	57,00 a	0,93
	T3	0,68	30,75 ab	0,95
	T4	2,08	53,50 ab	1,08
	T5	0,83	38,00 ab	0,95
	T6	1,58	38,50 ab	1,05
	Média	1,13	38,88	1,00
	CV (%)	21,47*	43,39	18,47
	W; F	0,92*; 3,12	0,98; 1,29	0,93; 0,74
	DMS	1,88	38,76	0,42
60 a 90	T1	0,65	3,50	0,58 ab
	T2	0,88	3,75	0,48 b
	T3	0,93	4,00	0,50 ab
	T4	1,03	4,25	0,68 a
	T5	0,70	3,00	0,50 ab
	T6	0,88	2,75	0,50 ab
	Média	0,84	3,54	0,54
	CV (%)	27,52	18,77*	15,03
	W; F	0,98; 0,69	0,90*; 2,94	0,92; 1,54
	DMS	0,53	3,88	0,19

T1= Dessecação + calcário + aração + grade; T2= Calcário + subsolador + grade; T3= Dessecação + calcário + plantio direto; T4= Dessecação + calcário + subsolador; T5= Destruidor de soqueira + calcário + subsolador; T6= Destruidor de soqueira + calcário + grade + aração + grade.

Médias seguidas por letras diferentes na coluna diferem estatisticamente, pelo teste F e Tukey, a 5 % de probabilidade. \*Dados transformados com raiz de  $X + 0,5$ . Valores em negrito indicam falta de normalidade dos resíduos, pelo teste de Shapiro-Wilk (W), e heterogeneidade das variâncias, pelo teste de Levene (F), a 0,01 de significância.

Observando os resultados de matéria orgânica no solo (M.O.) não foram detectadas diferenças significativas ( $P > 0,05$ ) entre os tratamentos nas profundidades 0 a 20, 20 a 40 e 40 a 60 cm. As médias dos valores da matéria orgânica constaram-se de 1,81; 1,33 e 1,00 dag kg<sup>-1</sup>, sendo classificadas baixas de acordo com Alvarez V. et al., (1999), para ambas as profundidades. Uma estratégia para aumentar a M.O. é a adoção de práticas de manejo de conservação do solo, onde o revolvimento deste é reduzido. Como está previsto na cultura da cana colhida crua, o depósito de palhada poderá contribuir com a cobertura vegetal morta na superfície do solo. Deve-se considerar essa estratégia como um manejo justificado para aumentar o teor de M.O., pois, como coloca Trivelin et al. (1996) a colheita mecanizada da cana-de-açúcar está cada vez mais presente nos sistemas de produção no Brasil. No sistema de colheita mecanizada sem queima, as folhas, bainhas, ponteiro, além de quantidade variável de pedaços de colmo, são cortados, triturados e lançados sobre a superfície do solo, formando uma cobertura de resíduo vegetal (mulch) denominada palha ou palhada. A quantidade de palhada de canaviais colhidos sem queima varia de 10 a 30 t ha<sup>-1</sup>.

Já no estudo do perfil de 60 a 90 cm, observaram-se diferenças significativas ( $P \leq 0,05$ ) entre os tratamentos. O tratamento (T4), dessecação da área, distribuição do calcário e subsolagem, foi superior ao tratamento (T2) o qual constitui de a aplicação do calcário, subsolagem e gradagem. Apesar da diferença observada, na prática, os valores da (M.O.), em cada tratamento e nesse perfil encontraram-se numa classificação de teor muito baixa no solo, sendo a média de 0,54 dag kg<sup>-1</sup>. Espera-se que, com os cultivos sucessivos nesta área, a M.O fosse incrementada em função da verificação de grande volume de raízes neste perfil do solo, e que, com a morte e crescimento de novas raízes, este fosse incrementado com o tempo. Vale destacar que não há ação efetiva dos implementos nessa profundidade.

Na tabela 6, encontram-se os resultados dos micronutrientes: cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn). Em estudo do cobre nos quatro perfis, não foram constatadas diferenças significativas ( $P > 0,05$ ) em nenhum tratamento. Podia-se esperar maiores teores de Cu, nos perfis de 0 a 20 e de 20 a 40 cm mais superficiais, em função destes apresentarem normalmente maiores valores de pH do solo, devido a incorporação

pelos métodos de preparo de solo aplicados, porém observou-se somente uma pequena redução no perfil de 60 a 90 cm. Segundo Lopes (1999, a maior disponibilidade de Cu ocorre em faixa de pH de 5,0 a 6,5. As médias dos valores de Cu dentre os tratamentos nos perfis de 0 a 20; 20 a 40; 40 a 60 e 60 a 90 cm foram de 0,65; 0,57; 0,42 e 0,26 mg dm<sup>-3</sup>, classificados como sendo de teor baixo, nos três primeiros perfis, e muito baixo, no último perfil (ALVAREZ V. et al., 1999).

Sobre os resultados obtidos com o ferro, não foram notadas diferenças significativas ( $P > 0,05$ ) dos tratamentos em nenhuma das profundidades avaliadas. O que pôde ser notado foi que as médias dos valores de Fe em cada tratamento foram de 32,9; 29,2; 18,9 e 10,5 mg dm<sup>-3</sup>, nos quatro perfis e de cima para baixo, classificadas como sendo de teor bom, médio, baixo e baixo, respectivamente (ALVAREZ V. et al., 1999). Para Lopes (1999), a maior disponibilidade de Fe ocorre em faixa de pH de 4,0 a 6,0. De acordo com Novais et al. (2007), da mesma maneira que o Cu, o Fe tem sua disponibilidade reduzida com o aumento do pH do solo.

Avaliando os teores de manganês no solo, foi possível detectar diferenças significativas ( $P \leq 0,05$ ) entre os tratamentos na profundidade de 0 a 20 cm. O tratamento (T4) onde dessecou-se a área, distribuiu-se o calcário e subsolou-se o solo foi superior ao tratamento (T5) onde destruiu-se as soqueiras, distribuiu-se o calcário e subsolou-se o solo. Entre esses dois tratamentos, pode-se atribuir o maior teor de Mn à dessecação que pode ter permitido uma maior reciclagem deste nutriente, em comparação ao preparo com uso do destruidor de soqueira que causa uma maior mobilização do solo e assim uma maior perda dos nutrientes os quais poderiam estar complexados à MO.

Já para as outras profundidades entre 20 e 90 cm, todas apresentaram diferenças não significativas ( $P > 0,05$ ) entre os tratamentos. As médias dos tratamentos nos perfis de 20 a 40; 40 a 60 e 60 a 90 cm, foram de 1,32; 1,17 e 0,61 mg dm<sup>-3</sup> de solo, respectivamente, sendo classificadas como teores muito baixos (ALVAREZ V. et al., 1999). Lopes (1999) afirma que excesso de cálcio, magnésio e ferro podem provocar deficiências de Mn nas plantas, em função da competição desses cátions pelos mesmos sítios do Mn no solo, tornando-o menos disponível. Neste experimento, não houve diferenças estáticas para o Mn em função da não alteração dos valores de pH, Ca, Mg e Fe nessas profundidades o que poderiam causar efeitos antagônicos para a disponibilidade de manganês.

TABELA 6. Teores de micronutrientes no solo, em função dos diferentes tipos de preparo do solo em área de reforma e em quatro profundidades

Profundidade cm	Tratamento	Cu	Fe	Mn	Zn
-----mg dm <sup>-3</sup> -----					
0 a 20	T1	0,625	31,50	1,875 ab	0,175
	T2	0,650	29,75	2,275 ab	0,250
	T3	0,675	32,50	2,575 ab	0,230
	T4	0,775	34,00	3,625 a	0,375
	T5	0,600	37,00	1,325 b	0,225
	T6	0,600	32,75	1,800 ab	0,200
	Média	0,654	32,92	2,25	0,24
	CV (%)	18,57	19,65	36,42	37,24
	W; F	0,98; 0,95	0,97; 0,76	0,95; 1,22	0,93; 3,82
	DMS	0,279	14,86	1,88	0,25
20 a 40	T1	0,575	29,75	1,475	0,250
	T2	0,525	24,25	1,075	0,150
	T3	0,550	27,00	1,175	0,125
	T4	0,675	34,00	2,050	0,275
	T5	0,550	27,25	0,875	0,575
	T6	0,550	33,00	1,275	0,150
	Média	0,571	29,21	1,32	0,25
	CV (%)	18,53	22,09	61,58	60,83
	W; F	0,94; 0,73	0,91; 2,19	<b>0,80; 3,67</b>	<b>0,83; 2,59</b>
	DMS	0,243	14,83	1,87	0,28
40 a 60	T1	0,450	20,50	1,450	0,150 ab
	T2	0,375	15,50	0,975	0,100 b
	T3	0,400	17,00	1,250	0,125 ab
	T4	0,500	20,50	1,400	0,225 a
	T5	0,425	20,25	0,875	0,125 ab
	T6	0,400	19,75	1,050	0,175 ab
	Média	0,425	18,92	1,17	0,15
	CV (%)	23,00	24,30	63,28	34,43
	W; F	0,94; 1,10	0,96; 3,00	0,91; 0,78	0,94; 3,99
	DMS	0,225	10,56	1,70	0,12
60 a 90	T1	0,275	12,75	0,550	0,100
	T2	0,250	10,25	0,550	0,100
	T3	0,250	10,00	0,625	0,100
	T4	0,300	11,50	0,850	0,100
	T5	0,225	9,25	0,650	0,100
	T6	0,250	9,00	0,450	0,100
	Média	0,258	10,46	0,61	0,10
	CV (%)	23,79	28,34	45,85	0,00
	W; F	0,91; 3,87	0,88; 1,80	0,95; 1,89	<b>0,45; 0,00</b>
	DMS	0,141	6,81	0,65	1,54

T1= Dessecação + calcário + aração + grade; T2= Calcário + subsolador + grade; T3= Dessecação + calcário + plantio direto; T4= Dessecação + calcário + subsolador; T5= Destruidor de soqueira + calcário + subsolador; T6= Destruidor de soqueira + calcário + grade + aração + grade.

Médias seguidas por letras diferentes na coluna diferem estatisticamente, pelo teste F e Tukey, a 5 % de probabilidade.

Valores em negrito indicam falta de normalidade dos resíduos, pelo teste de Shapiro-Wilk (W), e heterogeneidade das variâncias, pelo teste de Levene (F), a 0,01 de significância.

Para os valores de zinco no solo, não foram observadas diferenças significativas ( $P > 0,05$ ) entre os tratamentos nas profundidades de 0 a 20; 20 a 40 e 60 a 90 cm. Já no perfil de 40 a 60 cm, observaram-se diferenças significativas ( $P \leq 0,05$ ). Nota-se que o tratamento (T4) onde dessecou-se a área, distribuiu-se o calcário e subsolou-se o solo foi superior ao tratamento (T2) onde calcareou-se, subsolou-se e gradeou-se o solo antes do plantio. Apesar destes valores apresentarem diferença estatística, ambos são classificados como teores muito baixos, de acordo com Alvarez V. et al. (1999). Todas as médias dos tratamentos dos perfis 0 a 20; 20 a 40; 40 a 60 e 60 a 90 cm apresentaram classificação muito baixa de Zn no solo, sendo de 0,24; 0,25; 0,15 e 0,10  $\text{mg dm}^{-3}$ , respectivamente (ALVAREZ V. et al., 1999).

### 3.3.2. - Macronutrientes foliares

Houve efeito significativo ( $P \leq 0,05$ ) entre os teores foliares submetidos aos diferentes tipos de preparo de solo somente quanto ao potássio. Não foi detectado (Tabela 6) efeito significativo ( $P > 0,05$ ) para os demais macronutrientes (N, P, Ca, Mg e S).

Com relação ao potássio, mesmo apresentando diferenças estatísticas os valores dos teores foliares obtidos em todos os tratamentos encontraram-se dentro da faixa adequada que, segundo Martinez, Carvalho e Souza (1999), é entre 8,8 e 15,2  $\text{g kg}^{-1}$ , ou seja, os teores obtidos podem não estar relacionados aos diferentes tipos de preparo do solo (Tabela 6). Esses teores adequados de potássio, principalmente em áreas com cana-de-açúcar, normalmente ocorrem em função da aplicação de forma rotineira de vinhaça. O fato do teor encontrar-se dentro da faixa adequada é importante pois, de acordo com Junior e Coelho (2008), há uma alta extração de potássio pela cana-de-açúcar, sendo o elemento mais extraído e exportado.

TABELA 7. Teores foliares dos macronutrientes da cana-de-açúcar submetidos a diferentes tipos de preparo de solo em área de reforma no cerrado

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	S
	-----g kg <sup>-1</sup> -----					
T1	18,75	1,60	15,37 a	1,77	1,10	0,92
T2	17,62	1,62	14,87 ab	2,10	1,02	0,80
T3	18,05	1,67	14,50 ab	2,12	1,25	1,02
T4	17,70	1,60	14,12 ab	2,27	1,10	0,92
T5	18,47	1,60	13,12 b	1,95	1,35	0,80
T6	18,57	1,67	13,37 b	1,95	1,12	0,95
Média	18,19	1,62	14,22	2,02	1,15	0,90
CV	6,39	6,93	5,92	13,49	15,87	21,14
W	0,95	0,94	0,96	0,98	0,96	0,92
F	2,02	0,57	<b>9,51</b>	0,41	1,50	1,94
DMS	2,673	0,259	1,937	0,629	0,422	0,439

T1= Dessecação + calcário + aração + grade; T2= Calcário + subsolador + grade; T3= Dessecação + calcário + plantio direto; T4= Dessecação + calcário + subsolador; T5= Destruidor de soqueira + calcário + subsolador; T6= Destruidor de soqueira + calcário + grade + aração + grade.

Médias seguidas por letras diferentes na coluna diferem estatisticamente, pelo teste F e Tukey a 5 % de probabilidade.

Valores em negrito indicam falta de normalidade dos resíduos, pelo teste de Shapiro-Wilk (W), e heterogeneidade das variâncias, pelo teste de Levene (F), a 0,01 de significância.

De acordo com Martinez, Carvalho e Souza (1999), os teores de nutrientes foliares adequados para a cultura da cana-de-açúcar de N, P, K, Ca, Mg e S são aproximadamente 21,0; 2,3; 12,0; 10,0; 3,0 e 2,5 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente. Ainda de acordo com esses autores, detectou-se que somente o K encontrou-se dentro da faixa ideal. Os demais nutrientes ficaram abaixo do teor ideal, sendo, em média, o N 10%, o P 30%, o Ca 80%, o Mg 62% e o S 64% abaixo do nível ideal.

De acordo com Martins et al. (2002), o fornecimento de calcário e gesso, além de alterar o pH do solo e neutralizar o alumínio, contribui com nutrientes como cálcio, magnésio e enxofre. Neste experimento, mesmo com a adição de nutrientes no preparo do solo via calcário e gesso e na cobertura com fertilizante líquido, sem alterações de doses entre os tratamentos e aplicados de maneira uniforme, não foram originados diferenças significativas entre os mesmos. Não se esperava que somente as diferentes formas de preparar o solo fossem suficientes para promover alterações significativas nos teores foliares de macronutrientes.

### 3.3.3. - Micronutrientes foliares

Não foi detectado efeito significativo ( $P > 0,05$ ) para os micronutrientes estudados: Cu, Fe, Mn e Zn (Tabela 7). Entre os micronutrientes avaliados, somente o

Zn foi aplicado na adubação via solo, porém este foi aplicado na mesma dose em todos os tratamentos. As diferentes formas de preparar o solo poderiam causar maior liberação destes elementos que normalmente ficam complexados com a MO, porém isso não ocorreu.

Para Martinez, Carvalho e Souza (1999), os teores ideais de Cu, Fe, Mn e Zn estão em torno de 8 a 10; 100 a 500; 50 a 250 e 25 a 50 mg kg<sup>-1</sup>. Em média os teores de Fe, Mn e Zn encontraram-se abaixo do nível ideal e o teor de Cu, encontrou-se 20% acima do ideal.

Apesar das controvérsias sobre a necessidade de se atender aos teores de micronutrientes para a cana-de-açúcar, sabe-se que quanto melhor atendida a exigência da planta, maior será a resposta desta com aumentos de produtividade e resistência à pragas e doenças. Vazquez e Sanchez (2010) encontraram aumento de produtividade com aplicação de micronutrientes na cana-de-açúcar. Ou seja, não só deve-se dar atenção ao melhor sistema de preparo do solo, como aliar a melhoria na nutrição da planta para aumentar a eficiência do sistema.

TABELA 8. Teores foliares dos micronutrientes da cana-de-açúcar submetidos a diferentes tipos de preparo de solo em área de reforma no cerrado

Tratamentos	Cu	Fe	Mn	Zn
	-----mg kg <sup>-1</sup> -----			
T1	15,27	61,00	50,50	12,20
T2	11,80	67,75	38,00	11,85
T3	14,82	63,25	34,00	12,30
T4	11,35	78,00	38,25	12,20
T5	10,70	75,50	33,00	12,37
T6	8,95	74,25	40,25	12,10
Média	12,15	69,95	39,00	12,17
CV	13,93*	25,12	21,54	5,38
W; F	0,91*;2,55	0,92; 2,08	0,95; 0,75	0,96; 0,27
DMS	9,013	40,391	19,3	1,5

T1= Dessecação + calcário + aração + grade; T2= Calcário + subsolador + grade; T3= Dessecação + calcário + plantio direto; T4= Dessecação + calcário + subsolador; T5= Destruidor de soqueira + calcário + subsolador; T6= Destruidor de soqueira + calcário + grade + aração + grade.

Médias seguidas por letras diferentes na coluna diferem estatisticamente, pelo teste F e Tukey a 5 % de probabilidade. \* Dados transformados com raiz de X + 0,5.

### 3.5. - Conclusões

Em área de reforma de canavial, os diferentes preparos de solo, no primeiro ano de avaliação, não influenciaram os atributos químicos deste.

Os teores de macronutrientes e micronutrientes foliares, não foram influenciados pelos diferentes preparos de solo.

O uso do plantio direto foi indiferente entre os tratamentos independente do ambiente de produção adotado, reforçando o potencial de viabilidade desta prática para a cana de açúcar.

Há importância em avaliar na cana-de-açúcar um perfil de solo mais profundo, em função de possíveis variações nos atributos químicos do solo e no perfil de nutrientes.

## REFERÊNCIAS

- ALVAREZ V, V.H. et al. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. **Comissão de fertilidade do solo do Estado de Minas Gerais**. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5º Aproximação. Viçosa, MG, p25 - 32. 1999.
- BARBIERI, J. L.; ALLEONI, L. R.; DONZELLI, J. L. Avaliação agronômica e econômica de sistemas de preparo de solo para cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 21, n. 1, p.89-98, 1997.
- CORSINI, P. C.; FERRAUDO, A. S. Efeitos de sistemas de cultivo na densidade e na macroporosidade do solo e no desenvolvimento radicular do milho em Latossolo roxo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 2, p.289-298, 1999.
- DIAS, F.L.F. et al. Estudo agroeconômico de sistemas de preparo do solo, em área de colheita mecanizada de cana crua. **STAB – Açúcar, Álcool e Subprodutos**, v. 20, p.26-29, 2001.
- EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. 2. ed. Brasília, DF: **Embrapa informação tecnológica**. 627p. 2009.
- EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Sistema Brasileiro de classificação de Solos. 2. ed. **Embrapa Solos**. Rio de Janeiro, RJ. 306p. 2006.
- FRAZÃO, L.A. et al. Propriedades químicas de um Neossolo Quartzarênico sob diferentes sistemas de manejo no Cerrado mato-grossense. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43: p.641-648, 2008.
- GALVÃO, F.A.D. VAHL, L.C. Calibração do método SMP para solos orgânicos. **R. Bras. Agroci.**, Pelotas, v. 2, n. 2, p121-130, 1996.
- JOUKHADAR, S.I. **Métodos de preparo de solo e impacto na produtividade da batateira em Ibicoara – BA**. 62f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia, campus de Vitória da conquista. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, 2006.
- JÚNIOR, J.B.D.; COELHO, F.C.; A cana-de-açúcar em sistema de plantio direto comparado ao sistema convencional com e sem adubação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 6, p.576-583, 2008
- KAMINSKI, J. et al. Estimativa da acidez potencial em solos e sua implicação no cálculo da necessidade de calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v 26, n. 4, p.1107-1113, 2002.

- LOPES, A.D. **Micronutrientes:** filosofias de aplicação e eficiência Agronômica. São Paulo: ANDA - Associação Nacional para Difusão de Adubos, 1999, 58p. (Boletim técnico nº 8, 1999).
- MARTINEZ, H.E.P.; CARVALHO, J.G. de; SOUZA, R.B. de. Diagnose Foliar. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. **Comissão de fertilidade do solo do Estado de Minas Gerais. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais.** Viçosa, MG, p143 – 167, 1999.
- MARTINS, O. C. et al. Respostas à aplicação de diferentes misturas de calcário e gesso em solos. Alterações químicas no perfil do solo. **Rev. Ceres**, Viçosa, v. 49, n. 282, p. 123-135, 2002.
- NOVAIS, R.F. et al. **Fertilidade do solo.** Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Viçosa, 1017p. 2007.
- PAVINATO, P.S.; MERLIN, A.; ROSOLEM, C.A. Disponibilidade de cátions no solo alterada pelo sistema de manejo. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Viçosa, v. 33, n. 4, ago. 2009.
- PRADO, R. M.; CENTURION, J. F.; Alterações na cor e no grau de floculação de um Latosso Vermelho-Escuro sub cultivo contínuo de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 1, p.197-2003, 201.
- QUEIROZ-VOLTRAN, R.; PRADO, H.; MORETTI, F. C. Aspectos estruturais de raízes de cana-de-açúcar sob o efeito da compactação do solo. **Bragantia**, Campinas, v. 57, n. 1, p.49-55, 1998.
- RAIJ, B. van; et al. **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo.** 2. ed. Campinas. Instituto Agronômico e Fundação, IAC, 285 p. 1996.
- RHEINHEIMER, D. S., et al. Modificações em atributos químicos de solo arenoso sob sistema plantio direto. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v. 22, n. 4, p.713-721, 1998.
- ROSSETTO, R; et al. Fertilidade do solo e nutrição de plantas: calagem para a cana-de-açúcar e sua interação com a adubação potássica. **Bragantia**, Campinas, v. 63, n.1, p.105-119, 2004.
- SANTIAGO, A.D.; ROSSETTO, R. **Preparo do solo.** Disponível em: [www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01\\_20\\_711200516716.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_20_711200516716.html). Acesso em: 31 jan. 2011.
- SILVEIRA, P.M.; et al. Amostragem e variabilidade espacial de características químicas de um Latossolo submetido a diferentes sistemas de preparo. **Pesq. Agropec. Bras.**, v. 35, n. 10, p.2057-2064, 2000.
- SILVA, I. F.; MIELNICZUK, J. Sistemas de cultivo e características do solo afetando a estabilidade de agregados. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Campinas, v. 22, n. 2, p.311-317, 1998.

- SILVA, E. de B., et al.. Comparação de métodos para estimar a acidez potencial mediante determinação do pH SMP em Organossolos da Serra do Espinhaço Meridional. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Viçosa, v. 32, n. 5, 2008.
- SMITH, D. M.; INMAN-BAMBER, N.G.; THORNBURN, P. J. Growth and function of the sugarcane root system. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 92, p.163-189, 2005.
- TORMENA, C.A.; ROLOFF, G.; SÁ, J.C.M. Propriedades físicas do solo sob plantio direto influenciadas por calagem, preparo inicial e tráfego. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Campinas, v. 22, n. 2, p.301-9, 1998.
- TRIVELIN, P.C.O., et al. Utilização por soqueira de cana-de-açúcar de início de safra do nitrogênio da aquamônia-15 N e uréia-15 N aplicado ao solo em complemento a vinhaça. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 31, p.89-99, 1996.
- VERMA, R. S. Ratoon decline in sugar cane. **Cooperative Sugar**, [S. l.], v. 26, n. 5, p.349-351, 1995.
- VITTI, G. C.; **Avaliação e interpretação do enxofre no solo e na planta**. Jaboticabal, FUNEP, 1989, 37p.
- VAZQUEZ, G. H.; SANCHES, A. C.; Formas de aplicação de micronutrientes na cultura da cana-de-açúcar, **Núcleo**, Ituverava, v. 7, n. 1, p.267-276, 2010.
- WEIRICH NETO, P.H., et al. Correção da acidez do solo função de modos de incorporação de calcário. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, n. 2, p.257-261, 2000.

### **CAPÍTULO 3 - ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO E TEORES FOLIARES DE NUTRIENTES EM ÁREA DE EXPANSÃO DE CANAVIAL SUBMETIDOS A DIFERENTES TIPOS DE PREPARO DE SOLO.**

#### **Resumo**

Em área de expansão, onde tem-se restrições à fertilidade, o preparo do solo contribui imensamente para fornecer as condições físicas, químicas e hídricas para um bom desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar. O objetivo desse estudo foi avaliar os atributos químicos do solo e o teor foliar de nutrientes na cana-de-açúcar submetido a diferentes tipos de preparo de solo em área de expansão de canavial, na região do cerrado. O experimento foi instalado na usina Jalles Machado, sendo utilizada a variedade CTC - 2. O experimento foi implantado em delineamento de blocos casualizados (DBC) com seis tratamentos e quatro repetições, num total de 34.650 m<sup>2</sup> de área experimental. Os tratamentos foram: dessecação + calcário + aração + grade (T1); calcário + aração + grade (T2); calcário + grade + aração + grade (T3); dessecação + calcário + plantio direto (T4); dessecação + calcário + subsolador (T5) e grade + calcário + aração + grade (T6). Foram avaliados os atributos químicos do solo: pH, H+Al, Al, m%, V%; a matéria orgânica; os macronutrientes e micronutrientes do solo (Cu, Fe, Mn e Zn) e o teor de nutrientes foliares (macros e micronutrientes). As variáveis analisadas foram submetidas aos testes de pressuposições, a análise de variância e ao teste de Tukey, a 1 e 5% de probabilidade. Concluiu-se que no primeiro ano de cultivo as diferentes formas de manejar o solo contribuíram com a melhoria das características químicas deste, não havendo interferência nos valores de micronutrientes foliares e no solo.

Palavras-chaves: *Saccharum* spp, expansão de canavial, fertilidade do solo, absorção de nutrientes.

### **CHAPTER 3 - SOIL CHEMICAL ATTRIBUTES AND LEAVES NUTRIENTS CONTENT IN A SUGARCANE EXPANSION AREA UNDER DIFFERENT SOIL TILLAGES.**

#### **Abstract**

At the expansion areas, where there are soils with some fertility restrictions, the soil tillage contribute immensely favoring physical, chemical and water conditions for a good plant development. However the objective of the present work was to verify the influence of different tillage over soil chemical properties and the macro and micronutrients absorptions by the leaves in a sugarcane expansion area at savannah region. The experiment was set at Jalles Machado's Mill. It was used the variety CTC - 2 and there were set the following treatments, with four replications: desiccation + limestone + harrowing + plowing (T1); limestone + harrowing + plowing (T2); limestone + plowing + harrowing + plowing (T3); desiccation + limestone + zero till (T4); desiccation + limestone + subsoiler (T5) e plowing + limestone + harrowing + plowing (T6). There were evaluated the following soil chemical attributes: pH, H+Al, Al, m%, V%; the organic matter; macronutrients and micronutrients from soil and plant leaves. The analyzed variables were submitted to presuppositions test, variance and Tukey, at 1 and 5% of probability. It was concluded that at the first year of cultivation the different ways of managing the soil did not contribute to the chemical soil characteristics improvement as well as to leaves' micronutrients.

**Keywords:** *Saccharum* spp, sugarcane expansion area, soil fertility, nutrients absorption.

#### 4.1. - Introdução

A produtividade da cultura da cana-de-açúcar em uma dada área é influenciada em função do efeito combinado do clima, de características e propriedades do solo, do manejo e da própria planta que, em conjunto, compõem os fatores de produção. A lavoura de cana-de-açúcar continua em expansão no Brasil. A expansão da área plantada com cana-de-açúcar tem comportamento diferenciado em todo o país. O maior percentual de aumento está na região Sul, estado do Paraná, que teve um incremento de 122,54% em relação à safra anterior, mas em relação à extensão o maior aumento aconteceu na região Sudeste, que embora com aumento de 28,11%, a expansão chega a 297.825,68 hectares. Em segundo lugar fica a região Centro-Oeste com aumento de 21,09%, ou seja, 195.316,5 hectares. O menor incremento na expansão está na região Nordeste com expansão de apenas 12.898,3 hectares (CONAB, 2011).

A cana está expandindo suas áreas ocupando lugar de áreas anteriormente ocupadas por pastagens, principalmente, mas de acordo com Zanzarini, Santos e Albino (2009) a cana está se sobrepondo em outras atividades agrícolas, como a pecuária, os cafezais e plantios de soja.

De acordo com Silva et al. (2009), áreas de expansão são áreas que nas safras anteriores eram destinadas a outros usos do solo e na safra corrente estão sendo cultivadas com cana-de-açúcar e estarão disponíveis para colheita pela primeira vez. Lavouras de cana-de-açúcar que foram convertidas em outro uso por um período igual ou maior a duas safras e voltaram a ser cultivadas com cana-de-açúcar também se inserem nessa classe.

São grandes os questionamentos sobre qual preparo de solo deve ser adotado visando à melhoria da produtividade e sustentabilidade do canavial. Os preparos convencionais e o manejo conservacionista tradicionalmente chamado de “plantio direto” necessitam de adaptações quando o sistema é a cana-de-açúcar, pois como essa cultura é semi-perene, a rotação de culturas prevista no plantio direto não ocorre, o que está sendo utilizado é o termo cultivo mínimo e ainda manutenção de palhada com colheita de cana crua, como nomes para o sistema conservacionista na cana.

Benedini e Conde (2008) citam que o revolvimento exagerado do solo no preparo tradicional prejudica o controle das águas da chuva, dificultando a infiltração e aumentando o escoamento superficial, que leva a processos erosivos. Por outro lado, os sistemas de produção que priorizam a manutenção da estabilidade do solo, como o

plantio direto, o cultivo mínimo e o preparo reduzido, entre outros, tendem a predominar nessas áreas, mas com adaptações como a remoção de terraços, como preparação para a entrada da colheita mecanizada.

Foltran (2008), em estudo de aplicação de calcário, silicato e gesso em soqueira de cana-de-açúcar sem despalha a fogo, diz que resultados de pesquisas sobre a aplicação de corretivos em superfície e sem incorporação no sistema de plantio direto têm se mostrado promissores, porém, restringem-se a culturas graníferas, estando escassos na literatura brasileira trabalhos que relatam a aplicação de corretivos na cultura da cana crua. Do mesmo modo, encontram-se pesquisas relacionadas à expansão da cana-de-açúcar para áreas degradadas de pastagens no cerrado utilizando o plantio.

O preparo de solo visa ao menos minimizar as condições adversas à obtenção das máximas produtividades econômicas. Para isso, devem ser considerados os fatores físicos, químicos, biológicos e fatores externos do solo, como infestações de plantas daninhas. Áreas sem limitações físicas, químicas e biológicas podem atingir boa produtividade de forma muito mais econômica, gerando, portanto, maiores lucros, através da adoção do plantio direto (VITTI e MAZZA, 2002).

Com a finalidade de estudar a interferência do preparo do solo e do plantio direto nas características químicas do solo, foram avaliados os atributos químicos do solo e os teores foliares de nutrientes na cana-de-açúcar submetidos a cinco tipos de preparo de solo, mais o plantio direto, em área de expansão de canavial na região do cerrado.

## 4.2. - Material e Métodos

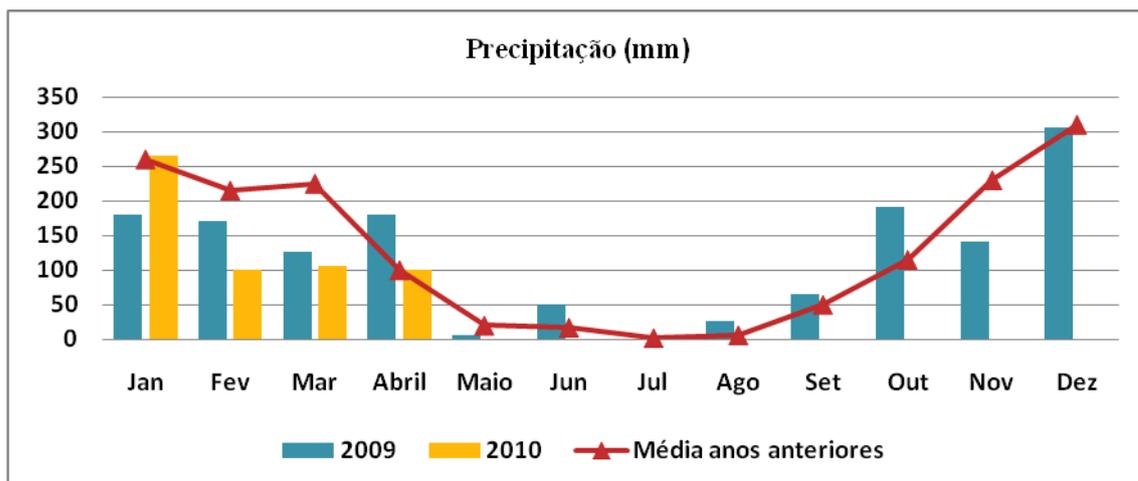
### 4.2.1. - Localização e implantação do experimento

A área experimental situa-se na usina Jalles Machado, localizada nas coordenadas 15° 10' de latitude sul e 49° 15' de longitude oeste, com aproximadamente 640 m de altitude. Historicamente, utilizava-se pastagem com capim *Brachiaria decumbens* sp, caracterizando área de expansão.

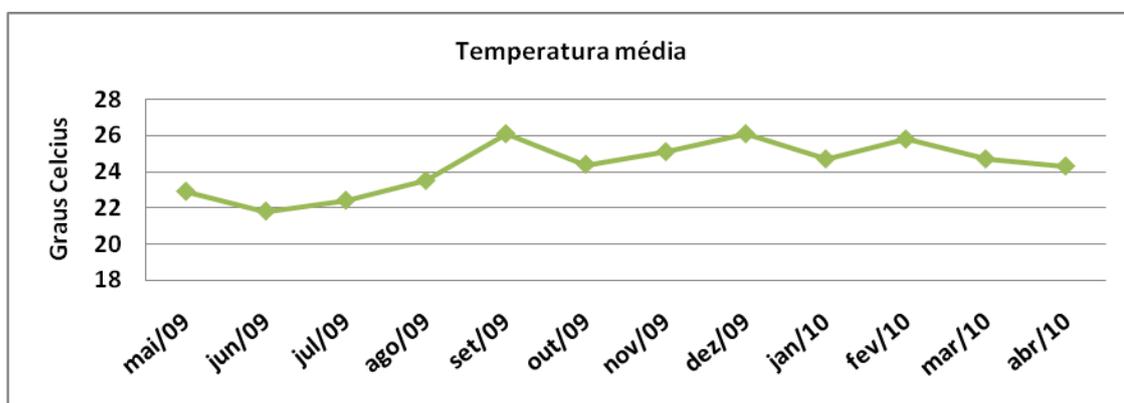
O início da implantação do experimento aconteceu no período de janeiro de 2009, quando se realizaram as demarcações e dessecação da área, manejos de preparo do solo e sistemas conservacionistas, os quais caracterizaram os tratamentos avaliados, se estendendo até julho de 2010, quando se realizaram a colheita da cana e dos dados experimentais.

### 4.2.2. - Caracterização do clima

O clima da região predomina o tipo climático Aw (Megatérmico) ou tropical de savana, com invernos secos e verões chuvosos e temperaturas médias de 23,7 °C e 25,4 °C, respectivamente, de acordo com a classificação de Köppen. Durante a condução do experimento ocorreram variações de temperatura de 21,8 °C, no mês de junho, a 26,1 °C, em setembro e dezembro de 2009. O índice pluviométrico anual médio é de entorno 1500 mm. De acordo com fontes da usina, ocorreu uma precipitação de 1435 mm durante o ano de 2009 e 570 mm nos primeiros meses do ano de 2010, como consta no gráfico 1.



**GRÁFICO 1.** Precipitação pluviométrica média dos anos anteriores e durante a condução do experimento nos anos de 2009 e 2010. Usina Jalles Machado (2010)



**GRÁFICO 2.** Temperatura média em °C durante a condução do experimento. Usina Jalles Machado (2010)

#### 4.2.3. - Caracterização físico-química do solo

Amostras de solo classificado como LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico (EMBRAPA, 2006) foram retiradas em duas profundidades e levadas para análises no laboratório próprio da usina Jalles Machado antes da implantação do experimento. Na tabela 1, encontra-se a caracterização química do solo da área e, na tabela 2, a caracterização física.

TABELA 1. Caracterização química do solo da área do experimento amostrado na profundidade de 0 a 20 e 20 a 40 cm, em Janeiro de 2009

pH (H <sub>2</sub> O)	Ca	Mg	Al	P	K	H+Al	T	V	m	M.O.
1:2,5	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>			mg dm <sup>-3</sup>	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>			%	g kg <sup>-1</sup>	
-----0 a 20 cm-----										
4,01	0,45	0,29	1,65	1,4	78	8,25	9,19	10,25	63	16,2
-----21 a 40 cm-----										
3,97	0,23	0,15	2,0	0,7	19,2	8,70	9,12	4,8	82	10,4

Ca, Mg, Al, (KCl 1 mol L<sup>-1</sup>); P, K = (HCl 0,05 mol L<sup>-1</sup> + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,0125 mol L<sup>-1</sup>) P disponível (extrator Mehlich<sup>-1</sup>); H + Al = (Solução Tampão – SMP a pH 7,5); CTC a pH 7,0; V = Saturação por bases; m = Saturação por alumínio, M.O. = Método Colorimétrico (EMBRAPA, 2009).

TABELA 2. Caracterização física do solo da área do experimento amostrado na profundidade de 0 a 20 e 20 a 40 cm, em Janeiro de 2009

Prof. cm	AG	AF	Silte	Argila	Textura <sup>1</sup>
-----g kg <sup>-1</sup> -----					
0 a 20	77	284	159	480	Argilosa
20 a 40	122	206	139	533	Argilosa
40 a 60	43	275	162	520	Argilosa
60 a 90	58	237	147	558	Argilosa

Prof. = Profundidade; AG = Areia grossa; AF = Areia fina.<sup>1</sup> Método da pipeta, (EMBRAPA, 2009).

#### 4.2.4. - Delineamento experimental

O experimento foi implantado em delineamento de blocos casualizados (DBC) com seis tratamentos e quatro repetições. A área experimental possuiu um total de 34505 m<sup>2</sup>, incluindo carregadores. Cada repetição consistiu de seis parcelas, contendo cada uma 50 m de comprimento e 19,5 m de largura, composta por 13 linhas de cana-de-açúcar espaçadas de 1,5 m. Separando os blocos e as parcelas foram feitos carregadores com largura de 5 m, no propósito de efetuar manobras com máquinas e implementos. Ver croqui (Anexo 2).

#### 4.2.5. - Tratamentos

Os tratamentos consistiam em diferentes opções de preparar o solo para o cultivo da cana-de-açúcar, sendo eles:

Tratamento 1: dessecação + calcário + aração + grade;

Tratamento 2: calcário + aração + grade;

Tratamento 3: calcário + grade + aração + grade;

Tratamento 4: dessecação + calcário + plantio direto;

Tratamento 5: dessecação + calcário + subsolador;

Tratamento 6: grade + calcário + aração + grade.

Dependendo do tratamento, foram realizados os seguintes manejos:

1 - Dessecação - Foram utilizados herbicidas de largo espectro, glyphosate adicionando 2, 4 - D, nas doses de 3,0 e 2,0 L ha<sup>-1</sup>, respectivamente, 30 dias antes da implantação dos experimentos.

2 - Correção de Acidez (calcário) – O corretivo utilizado foi um calcário dolomítico com PRNT de 85 %, sendo a dose de 1,5 t ha<sup>-1</sup> distribuída em todos os tratamentos, de forma uniforme.

3 - Aração - Foi realizada com arado de aivecas, atingindo uma profundidade efetiva de 35 a 40 cm.

4 - Gradagem - Foi utilizada uma grade intermediária/niveladora, atingindo profundidades de 20 a 25 cm.

5 – Subsolador - Foi utilizado um subsolador, atuando em profundidades médias de 40 cm.

6 – Plantio direto – Foi realizado a sulcação com sulcador, atingindo profundidades de 30 a 40 cm.

Foi realizada uma gessagem após a implantação de todos os tratamentos. A dose fornecida foi de 800 kg ha<sup>-1</sup> distribuída a lanço, sendo única para todos os tratamentos.

#### 4.2.6. - Plantio da cana-de-açúcar

O plantio da cana-de-açúcar foi realizado no sulco aberto pelo sulcador, colocando-se os toletes de forma organizada sem deixar nenhum espaço com ausência de gemas.

A adubação de plantio foi realizada no sulco com distribuição de 250 kg ha<sup>-1</sup> de fosfato monoamônico (MAP), o equivalente a 120 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 27 kg ha<sup>-1</sup> de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>.

Foi utilizada a variedade CTC 2, sendo o plantio realizado manualmente no dia 25 de abril de 2009, colocando-se de 15 a 20 gemas m<sup>-2</sup> numa profundidade de 30 a 40 cm. Logo após a distribuição da cana nos sulcos, realizou-se a cobertura dos mesmos. Também foi realizada uma adubação de cobertura no dia 05 de setembro de 2009, com o formulado líquido 05-00-13 + 0,3% de Zn + 0,3 % de B na quantidade de 1000 L ha<sup>-1</sup>.

#### 4.2.7. - Avaliações realizadas

##### 4.2.7.1. - Análise do solo

Após a realização da colheita do canavial no mês de julho, foram realizadas amostragens de solo em quatro diferentes profundidades: 0 a 20; 20 a 40; 40 a 60 e 60 a 90 cm. Foram coletadas três amostras simples aleatórias, por parcela e nas entre linhas, das quais foram homogeneizadas formando uma amostra composta.

Foi utilizado um enxadão para retirada das amostras no primeiro perfil, o de 0 a 20 cm. Para as demais profundidades, utilizou-se um trado holandês.

As amostras foram transportadas para o laboratório de análises de solo, folhas, corretivos e fertilizantes da Universidade Federal de Uberlândia – LABAS – UFU, onde foram analisados os seguintes atributos: químicas de macronutrientes (K, S-SO<sub>4</sub>, Ca e Mg), (P) pelo método de mehlich<sup>1</sup>, e micronutrientes (Cu, Fe, Zn e Mn), além do pH em H<sub>2</sub>O, matéria orgânica (MO), pelo método colorimétrico, e avaliação dos atributos químicos do solo Acidez trocável (Al<sup>3+</sup>), Acidez total (H + Al), saturação por alumínio (m%), saturação por bases (V%), segundo metodologias descritas por EMBRAPA (2009).

#### 4.2.7.2. - Análise foliar

As amostras foliares foram coletadas quando o canavial estava com oito meses pós plantio. Coletou-se uma amostra composta por parcela. Cada amostra composta foi formada por 20 folhas, sendo cada folha originada de uma planta que foi escolhida aleatoriamente nas cinco linhas centrais da parcela.

Identificaram-se as linhas no início da parcela, percorrendo todas elas até o fim e coletando quatro folhas por linha. Para escolher qual folha a ser coletada na planta, adotou-se a folha +1, ou seja, a primeira com bainha visível com a lígula totalmente aberta. Após a coleta de todas as folhas, foram descartadas as bases e as pontas das mesmas, utilizando-se somente uma parte mediana de 20 a 25 cm, aproximadamente. Essas amostras foram identificadas, acondicionadas em sacos de papel e transportadas para o LABAS, em Uberlândia.

Foram realizadas a lavagem do material foliar e análise de macronutrientes (P, K, S-SO<sub>4</sub>, Ca e Mg) e micronutrientes (Cu, Fe, Zn e Mn), conforme metodologia descrita por EMBRAPA (2009).

#### 4.2.8. - Análise estatística

Os resultados foram submetidos aos testes de normalidade de Shapiro-Wilk, para testar a distribuição dos resíduos e de homogeneidade, e de Levene, para as variâncias, todos a 1% de probabilidade. Os dados sem distribuição normal e com heterogeneidade foram submetidos à transformação de dados com raiz quadrada de  $x + 0,5$ . A análise de variância foi feita pelo teste F, a 1 e 5% de probabilidade, e posteriormente as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,01$  e  $0,05$ ).

### 4.3. - Resultados e Discussão

#### 4.3.1. - Atributos químicos do solo

As características químicas do perfil do solo, amostradas após a colheita da cana, estão contidas nas tabelas 3, 4, 5 e 6.

Não foram observadas diferenças significativas em função dos diferentes tipos de preparo do solo ( $P > 0,05$ ), entre os valores de pH e nas três profundidades (Tabela 1). O que se observou é que, na camada mais superficial do solo de 0 a 20 cm, no tratamento em que houve gradagem antes da aplicação do corretivo e posterior aração e gradagem novamente (T6), o valor apresentado de pH foi maior. Nesse tratamento, o pH que antes da implantação dos tratamentos era de 4,01, classificado agronomicamente como muito baixo, saltou para 5,5, considerado de nível bom.

Para a média dos tratamentos, na camada de 0 a 20 cm, (Tabela 1) foi encontrado um valor de pH de 5,1, classificado como sendo de acidez ativa baixa, de acordo com Alvarez V. et al. (1999). Como o pH do solo encontrava-se antes da implantação do experimento no valor de 4,01 (Tabela 1), observou-se que houve um aumento dos valores de pH, inclusive com mudança de classe de interpretação, de acordo com a Alvarez V. et al. (1999), do pH inicial classificado como muito baixo. Essa menor correção do pH pode ser atribuída a dosagem baixa aplicada nos tratamentos,  $1,5 \text{ t ha}^{-1}$  com PRNT de 85%. Para uma área de expansão, a dose a ser aplicada deveria ter seguido a recomendação de calagem, preconizada no estado de Minas Gerais, na dose de  $3,8 \text{ t ha}^{-1}$ .

Na profundidade de 20 a 40 cm (Tabela 3) também não apresentou alterações entre os tratamentos nos valores de pH estando numa média de 4,87 classificado como baixo, antes da implantação do experimento o pH nessa profundidade era de 3,97 classificado como muito baixo (ALVAREZ V. et al., 1999). Isso pode ser atribuído pelos efeitos da calagem associada com gessagem onde há o carregamento das bases para esse perfil e também pela incorporação do corretivo realizado por implementos de preparo de solo que atingem essa profundidade como o arado de aivecas. Isso é confirmado por Sumner (1995) que atribui ao gesso pela sua característica de ser relativamente solúvel, quando aplicado na superfície do solo movimenta-se ao longo do perfil sob influência do excesso de umidade.

TABELA 3. Valores de pH, acidez potencial (H+Al) e trocável (Al) e saturação por Al (m%), sob diferentes formas de preparo do solo e em quatro profundidades

Profundidade cm	Tratamento	pH (H <sub>2</sub> O)	H+Al	Al	m
			-----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----		%
0 a 20	T1	5,10	4,97 ab	1,60 ab	58,35 ab
	T2	4,95	5,87 b	2,06 b	75,30 b
	T3	5,10	4,22 ab	1,12 ab	37,52 ab
	T4	4,92	4,20 ab	1,31 ab	45,85 ab
	T5	5,02	4,52 ab	0,97 ab	34,60 ab
	T6	5,50	3,45 a	0,48 a	16,40 a
	Média	5,10	4,54	1,26	44,67
	CV (%)	5,25	19,47	49,53	30,43*
	W; F	0,92; 2,66	0,90; 1,65	0,96; <b>6,38</b>	0,96; 3,31*
	DMS	0,61	2,03	1,43	50,91
20 a 40	T1	4,77	5,45	2,20	79,52 ab
	T2	4,82	5,87	2,27	82,27 ab
	T3	5,05	4,50	1,41	46,72 a
	T4	4,95	4,90	2,23	86,17 b
	T5	4,85	5,90	2,25	78,90 ab
	T6	4,80	5,70	2,22	71,62 ab
	Média	4,87	5,38	2,10	74,20
	CV (%)	4,27	20,75	20,45	20,90
	W; F	0,91; 2,73	0,95; 1,87	0,95; 2,19	0,90; 3,80
	DMS	0,48	2,57	0,98	35,63
40 a 60	T1	4,67	4,70	1,96	80,87
	T2	4,95	5,07	2,07	85,12
	T3	4,95	4,57	1,80	71,05
	T4	4,97	4,37	2,10	91,25
	T5	4,97	4,92	2,10	82,12
	T6	5,07	4,90	2,06	87,15
	Média	4,93	4,76	2,01	82,92
	CV (%)	4,62	16,54	9,99	12,56
	W; F	0,96; <b>12,40</b>	0,94; 2,42	0,95; 1,44	0,91; 2,91
	DMS	0,52	1,80	0,46	23,93
60 a 90	T1	5,07	4,17	1,44	84,85
	T2	5,15	4,20	1,50	87,35
	T3	5,20	4,25	1,50	88,57
	T4	5,12	3,95	1,50	92,22
	T5	5,27	4,62	1,48	83,55
	T6	5,15	4,35	1,45	81,85
	Média	5,16	4,25	1,48	86,36
	CV (%)	2,78	10,38	21,64	5,26*
	W; F	0,90; 1,28	0,96; 0,66	0,99; 2,92	3,24*;2,99
	DMS	0,34	1,01	0,28	19,89

T1= Dessecação + calcário + aração + grade + plantio; T2= Calcário + aração + grade + plantio; T3= Calcário + grade + aração + grade + plantio; T4= Dessecação + calcário + plantio direto; T5= Dessecação + calcário + subsolador + plantio; T6= Grade+ calcário + aração + grade + plantio.

Médias seguidas por letras diferentes na coluna diferem estatisticamente, pelo teste F e Tukey. a 5 % de probabilidade. \*Dados transformados com raiz de X + 0,5.

Valores em negrito indicam falta de normalidade dos resíduos, pelo teste de Shapiro-Wilk (W) e heterogeneidade das variâncias pelo teste de Levene (F), a 0,01 de significância.

Para as demais profundidades estudadas, as de 40 a 60 e 60 a 90 cm não ocorreram maiores variações de pH, estando a média dos tratamentos na faixa de 4,9 a 5,1, respectivamente, classificados como de acidez baixa em ambos os casos, onde os implementos incorporadores não revolveram o solo. Não se esperava uma alteração muito significativa do pH nestas profundidades pois, de acordo com Rheinheimer et al., (2000), a correção ocorre principalmente na camada superficial. Em experimento deste autor com aplicação de doses de calcário em sistema de plantio direto (SPD) e sistema de cultivo convencional (SCC), a medida que a dose de calcário aplicada foi aumentando na superfície do solo, a correção da acidez em profundidade foi maior, porém a incorporação teve efeito imediato. Este mesmo autor obteve resultado semelhante ao observado neste experimento, visto não ter ocorrido migração dos efeitos da calagem no perfil do solo, quando a quantidade aplicada em superfície foi menor do que a necessidade para neutralizar o Al trocável das camadas adjacentes.

Em relação à acidez potencial, podemos observar que houve diferença significativa ( $P \leq 0,05$ ) entre os tratamentos, na profundidade de 0 a 20 cm, local onde efetivamente ocorreu incorporação do corretivo. O tratamento T6 onde houve gradagem antes da aplicação do corretivo e posterior aração e gradagem novamente destacou-se por apresentar um menor valor da acidez, estando classificado como médio. Já o T2, onde foi realizada a distribuição do calcário com posterior aração e gradagem, apresentou a classificação da acidez potencial como alta (ALVAREZ V. et al. 1999). Uma possível explicação para essa maior redução da acidez com o tratamento T6 seria pelo fato de que quando realiza-se gradagem antes da aplicação do corretivo tem-se um solo já revolvido e por isso, ao realizar uma aração e gradagem novamente, a eficiência na incorporação seria maior. Outro motivo seria uma maior área de cobertura do corretivo sobre o solo já revolvido, assim o calcário estaria em maior contato com o solo na superfície e posteriormente também aumentaria a eficiência na incorporação. Os demais tratamentos também apresentaram classificação alta, porém, não apresentaram diferenças.

É importante ressaltar que a acidez potencial antes da implantação do experimento era de  $8,25 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , classificado como alta (Alvarez V. et al. 1999), e em média após os tratamentos observou-se uma redução de 50% neste atributo. É importante colocar também que, mesmo com a dose inferior a recomendada, a aplicação dos corretivos de solo e do gesso agrícola permitiu uma melhoria neste atributo.

Para os demais perfis, não ocorreram diferenças significativas ( $P > 0,05$ ), porém pôde-se observar que na profundidade de 20 a 40 ocorreram menores reduções nos valores da acidez potencial, saindo de  $8,70 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  e saltando para uma média de  $5,38 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , ou seja, mantendo-se na mesma classificação alta. Isso pode ser explicado pela menor incorporação de calcário nessa camada onde os implementos não conseguiram incorporar de maneira eficiente o corretivo. Além disso, a utilização do gesso agrícola pode ter atuado com mais eficiência nas camadas abaixo de 40 cm, sendo então 20 a 40 cm uma camada onde a incorporação do calcário foi menor e ocorreu uma transição de ânions sulfato para camadas inferiores. Para os perfis de 40 a 60 e 60 a 90 cm, a redução dos valores da acidez potencial foi maior que as de 20 a 40 cm, estando numa média de 4,76 e 4,25  $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , respectivamente. Isso pode ser atribuído diretamente aos benefícios da gessagem, onde a função é indisponibilizar o  $\text{Al}^{3+}$  pela reação de complexação do ânion sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ).

Em trabalhos com preparo do solo, espera-se que os implementos atuem até a camada de 40 cm. Sá (1999), após quatro anos da incorporação de calcário, observou que o uso de arado de discos e de aivecas propiciaram as melhores incorporações de calcário em profundidade até cerca de 30 cm. Já Neto et al. (2000) encontraram efeito da calagem quando incorporada por lavração e duas gradagens até 15 cm de profundidade. Richards et al. (1995) com a utilização de um subsolador com dispositivo acoplado visando à incorporação de calcário em profundidade, destacaram que, com a incorporação de calcário, ocorreu um incremento de Ca e redução da toxidez de alumínio, sendo uma excelente estratégia para melhorar o ambiente ao crescimento profundo do sistema radicular. Esses autores relatam que as técnicas de preparo de solo utilizadas neste experimento são eficientes para incorporação do calcário.

Para a acidez trocável do solo ( $\text{Al}^{3+}$ ), detecta-se que apresentou diferença significativa ( $P \leq 0,05$ ) entre os tratamentos na profundidade de 0 a 20 cm (Tabela 1). Observou-se, no tratamento onde realizou-se uma gradagem antes da distribuição do calcário e posterior aração e gradagem (T6), menor valor de  $\text{Al}^{3+}$  ( $0,48 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) classificado como baixo, sendo diferente do tratamento que iniciou-se com a distribuição do corretivo e posterior aração e gradagem (T2). Antes da implantação do experimento, o valor da acidez trocável era de  $1,65 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , tido como alta (Alvarez V. et al. 1999). Neste atributo, foram observadas diferenças entre os sistemas de preparo e pôde-se inferir que houve uma melhor incorporação do corretivo no perfil, onde teve-se um solo já revolvido e posterior aplicação do calcário, e assim a incorporação seria

beneficiada por uma penetração mais eficiente do implemento no solo e melhor homogeneização do corretivo. Além disso, como a camada superficial já foi rompida pela prática da gradagem, uma maior área entrará em contato superficial com o calcário. Esse comportamento era esperado uma vez que a calagem com incorporação é considerada uma das práticas secularmente empregada na agricultura como forma de elevar o pH e aumentar as bases trocáveis, complexando o Al trocável (ROSSIELO e JACOB NETO, 2006).

Para as demais profundidades as de 20 a 40, 40 a 60 e 60 a 90 cm, não houve diferenças ( $P > 0,05$ ) entre os tratamentos. Nota-se que os valores de  $Al^{3+}$ , nessas profundidades, foram maiores que o valor no perfil de 0 a 20 em função da ação do calcário. Comparando os teores de  $Al^{3+}$ , nos perfis de 20 a 40, 40 a 60 e 60 a 90 cm, observa-se que os teores de  $Al^{3+}$  foram menores à medida que aumentou-se a profundidade estudada. Isso pode estar diretamente ligado a ação do gesso agrícola que pode complexar o alumínio, como tem demonstrado Alva et al. (1986), e Cameron, Ritchey e Robson (1986) os quais pontuam que o gesso pode reduzir a atividade do alumínio em solução.

Para Faquin (1994), o principal efeito da acidez dos solos é a toxidez do Al, sendo a saturação por alumínio (m%) o índice que melhor afere esse componente da acidez do solo (Sousa et al., 1980), pois com a observação deste atributo é possível observar quanto da CTC do solo está ocupada pelo Al, um elemento tóxico à maioria das culturas.

Quanto à saturação do alumínio (Tabela 3) foram verificadas diferenças ( $P \leq 0,05$ ) entre os tratamentos nas duas primeiras profundidades, a de 0 a 20 e de 20 a 40 cm. Para os outros dois perfis, o de 40 a 60 e 60 a 90 cm, não ocorreram diferenças significativas ( $P > 0,05$ ). Observando-se o primeiro perfil, notamos que o tratamento (T6) foi superior ao tratamento (T2), apresentando 16,40 % de  $Al^{3+}$  e ocupando a capacidade de troca de cátions (CTC), essa concentração é classificada como baixa. Já no tratamento (T2), a percentagem de ocupação do  $Al^{3+}$  na CTC do solo chegou a 75,30 %, sendo uma classificação muito alta (ALVAREZ V. et al. (1999). Esse comportamento é um reflexo da presença do alumínio no solo, em que a gradagem antes da aplicação do calcário, favoreceu a maior eficiência da incorporação do corretivo. Neste atributo, fica claro que há necessidade de realizar para o próximo ano agrícola uma nova aplicação de calcário, pois a estratégia utilizada de aplicação de  $1,5 \text{ t ha}^{-1}$  não representou as melhorias na correção da acidez e na complexação do  $Al^{3+}$ , que poderiam

representar em ganhos para a fertilidade do solo. Para Tomé Jr. (1997), saturação de alumínio, em relação à CTC do solo, de 6%, já é limitante à produção de culturas.

Verificando-se o segundo perfil, 20 a 40 cm, nota-se que o tratamento (T3), onde foi realizada a aplicação do calcário com posterior gradagem, aração e gradagem, foi o que apresentou menor saturação do alumínio na CTC do solo, na ordem de 46,72 %, sendo classificada como teor médio. Apesar de não encontrar-se dentro do ideal, observa-se que este tratamento, na profundidade de 0 a 20 cm, foi o segundo menor valor de saturação por alumínio, 37,42%, ou seja, observou-se uma uniformidade no perfil. Já na profundidade de 0 a 20 cm, o teor de m% do T3 foi superior ao observado no tratamento T6. Em compensação, a profundidade de 20 a 40 cm apresentou teor elevado no perfil, de 72 % de saturação por alumínio.

O contrário, ou seja, onde foram observadas maiores percentagens de  $Al^{3+}$  na CTC do solo com uma classificação muito alta de 86,17 % foi no tratamento T4, o qual foi realizado a dessecação da área com posterior aplicação do corretivo e realizado o plantio direto. O motivo dessa grande percentagem de alumínio na CTC do solo está relacionado diretamente ao plantio direto, pois para uma alta eficiência do corretivo de acidez há a necessidade de efetivar sua incorporação ao solo, evento que não acontece no plantio direto.

De acordo com Alvarez V. et al. (1999), observa-se que a saturação máxima de alumínio tolerada pela cultura da cana é de 30%, ou seja, somente no tratamento T6, na profundidade de 0 a 20 cm, esse atributo estaria dentro do teor considerado adequado para o desenvolvimento da cultura.

Os valores de cálcio, magnésio, potássio e saturação de bases encontram-se na tabela 2. Houve diferença significativa ( $P \leq 0,05$ ) entre os teores de cálcio no solo, na profundidade de 0 a 20 cm. O tratamento T6 apresentou maior valor de cálcio, sendo de  $1,72 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , classificado como médio. Diferentemente, o tratamento T2 apresentou o menor teor de Ca no solo sendo de  $0,25 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , que fica classificado como muito baixo, de acordo com Alvarez V. et al. (1999). Esse comportamento do cálcio apresenta correlação com a saturação por alumínio. pode-se inferir que os preparos do solo, nestes tratamentos, foram mais eficientes no T6 e menos eficiente no T2, na disponibilização de hidroxilas para complexar o alumínio e no fornecimento de Ca. Com exceção do tratamento T2, observou-se aumento do teor de Ca original do solo (Tabela 2). Neste experimento, o tratamento com plantio direto, sem revolvimento de solo, apresentou teor de cálcio na camada superficial equivalente aos tratamentos com preparo de solo.

Já na camada de 20 a 40 cm observou-se o menor teor entre os demais tratamentos. Alguns autores, como Oliveira e Pavan (1994), já relataram redução da acidez, revelada pela elevação do pH e redução do alumínio trocável, até 40 cm de profundidade, após trinta e dois meses da aplicação de calcário na superfície, em sistema de cultivo sem preparo do solo. Esses autores atribuem à movimentação física do calcário em profundidade, provavelmente através de canais formados por raízes mortas mantidos intactos em razão da ausência de preparo do solo, o que não ocorreu neste experimento.

Almeida et al. (2005) observaram uma tendência de aumento no teor de Ca trocável no Sistema de Plantio Direto (SPD) com rotação de culturas, em relação ao sistema convencional, até 30 cm de profundidade, em um Cambissolo de Santa Catarina, não sendo constatada acumulação de Ca na superfície do SPD. Esse mesmo comportamento foi observado neste experimento, não constatando diferença entre o tratamento com plantio direto e convencional com revolvimento, com exceção do T6.

O magnésio e a saturação de bases do solo também apresentaram diferenças ( $P \leq 0,05$ ) com o mesmo comportamento observado para o Ca. O teor de magnésio no solo está com nível bom e a saturação de bases (V%) classificada como médio, ambos para o T6, onde houve gradagem antes da aplicação de calcário e posterior aração e gradagem novamente. Já para o tratamento que foi realizada a distribuição do corretivo e posterior aração e gradagem T2, a classificação do teor de magnésio e da saturação de bases ficaram em baixo e muito baixa, respectivamente (ALVAREZ V. et al. (1999). Toda essa diferenciação do tratamento T2 para o aumento da fertilidade no tratamento T6, considerando os níveis de Ca, Mg e V%, podem ser explicados pela maior eficiência na incorporação do corretivo, semelhante ao ocorrido para o pH, H + Al, Al e m%.

Para os estudos de potássio no solo, não foram observadas diferenças ( $P > 0,05$ ) entre os tratamentos em nenhuma das quatro profundidades estudadas. Esperava-se que não houvesse alteração em função do não fornecimento de K, diferenciado entre os tratamentos. Mas como o preparo de solo pode fornecer condições mais propícias para o desenvolvimento radicular e assim aumentar a eficiência na absorção de água e nutrientes, o K pode ser alterado. Pavinato et al. (2009) afirmaram que o sistema de cultivo promove mudanças na disponibilidade de K na camada considerada arável do perfil do solo (até 25 cm), sendo observada menor disponibilidade no sistema de semeadura direta em relação ao sistema convencional.

TABELA 4. Teores de cátions trocáveis e saturação de bases (V %) do solo, em função dos diferentes tipos de preparo de solo e em quatro profundidades

Profundidade cm	Tratamento	Ca	Mg	K	V
		-----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----	-----	mg dm <sup>-3</sup>	%
0 a 20	T1	0,70 ab	0,27 ab	67,00	19,30 ab**
	T2	0,25 b	0,22 b	78,25	10,35 b
	T3	1,12 ab	0,57 ab	68,50	31,35 ab
	T4	1,00 ab	0,50 ab	46,75	27,22 ab
	T5	1,27 ab	0,55 ab	55,00	28,50 ab
	T6	1,72 a	0,92 a	72,75	44,50 a
	Média	1,01	0,50	64,70	26,87
	CV (%)	57,43	59,13	44,60	42,38
	W; F	0,89; 1,98	0,90; 1,73	0,97; 0,70	0,96; 2,29
	DMS	1,33	0,69	66,32	32,99
20 a 40	T1	0,30 ab	0,25	54,00	9,12 ab
	T2	0,20 b	0,15	50,25	7,92 b
	T3	1,15 a	0,52	55,25	28,97 a
	T4	0,17 b	0,12	24,50	6,82 b
	T5	0,32 ab	0,12	34,00	9,25 ab
	T6	0,50 ab	0,30	33,00	13,45 ab
	Média	0,44	0,25	41,83	12,59
	CV (%)	89,62	13,46*	62,27	28,98*
	W; F	<b>0,81</b> ; 3,63	0,89; 4,12*	0,90; 2,56	0,92*;4,05
	DMS	0,90	0,52	59,86	20,27
40 a 60	T1	0,27	0,12	28,50	8,87
	T2	0,15	0,12	34,75	6,70
	T3	0,50	0,20	31,75	14,70
	T4	0,12	0,02	22,00	4,35
	T5	0,27	0,12	25,00	8,80
	T6	0,15	0,10	24,50	5,75
	Média	0,24	0,11	27,75	8,19
	CV (%)	13,11*	69,99	37,82	67,09
	W; F	0,89*;4,14	<b>0,84</b> ; 1,20	0,92; 2,11	0,90; 2,55
	DMS	0,49	0,18	24,11	12,63
60 a 90	T1	0,12	0,10	22,25	6,32
	T2	0,10	0,07	22,00	5,27
	T3	0,10	0,07	19,00	5,05
	T4	0,10	0,00	18,75	3,62
	T5	0,17	0,10	22,25	6,85
	T6	0,17	0,10	23,00	0,07
	Média	0,12	0,07	21,20	5,70
	CV (%)	72,42	5,16*	26,50	21,83*
	W; F	<b>0,70</b> ; <b>6,16</b>	1,76*;1,64	0,92; <b>4,86</b>	1,96*;2,81
	DMS	0,21	0,13	12,91	6,97

T1= Dessecação + calcário + aração + grade + plantio; T2= Calcário + aração + grade + plantio; T3= Calcário + grade + aração + grade + plantio; T4= Dessecação + calcário + plantio direto; T5= Dessecação + calcário + subsolador + plantio; T6= Grade+ calcário + aração + grade + plantio.

Médias seguidas por letras diferentes na coluna diferem estatisticamente, pelo teste F e Tukey, a 5 % de probabilidade. \*Dados transformados com raiz de X + 0,5. \*\*Teste F e Tukey, a 1% de probabilidade.

Valores em negrito indicam falta de normalidade dos resíduos pelo teste de Shapiro-Wilk (W) e heterogeneidade das variâncias, pelo teste de Levene (F), a 0,01 de significância.

Não foi possível detectar diferenças significativas ( $P > 0,05$ ) estudando os valores de Ca, Mg e V%, nos perfis de 40 a 60 e 60 a 90 cm. Havia previsão para que ocorresse maior concentração, principalmente de Ca, em função do deslocamento das bases promovidas pela gessagem aplicada em superfície. Esse comportamento era esperado, principalmente, nos tratamentos em que incorporou-se o calcário com maior profundidade possível, como nos tratamentos: T1, T2, T3 e T6, nos perfis de 40 a 60 e 60 a 90 cm, pois acreditava-se que, assim, o gesso agrícola completaria o restante da percolação em profundidade das bases iniciadas com a incorporação pelo uso dos implementos.

Os valores de fósforo, enxofre e da matéria orgânica do solo estão contidos na tabela 3. Observando os valores de fósforo, nota-se diferenças significativas ( $P \leq 0,05$ ) na camada de 0 a 20 cm do solo. Verifica-se que o tratamento T6, onde houve gradagem antes da aplicação de calcário e posterior aração e gradagem, foi superior a todos os outros tratamentos. Detecta-se também que o tratamento T3, onde foi realizada a aplicação do calcário com posterior gradagem, aração e gradagem novamente, superou os tratamentos T1 e T2, os quais sofreram dessecação seguida da distribuição do corretivo, aração e gradagem; e aplicação do calcário, aração e gradagem, respectivamente. A superioridade do tratamento T6 sobre todos os outros pode ser explicada pela maior eficiência da incorporação do calcário ao solo, assim como acontece com todas as outras variáveis onde o T6 é superior. Quando tem-se essa melhor eficiência da incorporação do calcário, o pH será maior, aumentando a disponibilidade de fósforo lábil no solo. Como no tratamento T6 iniciou-se o preparo do solo com a gradagem seguida de distribuição do corretivo mais a aração e gradagem novamente, o calcário ficou melhor distribuído sobre o solo já gradeado, atingindo uma maior distribuição no perfil do solo. Além disso, o solo já estava com a camada superficial rompida, favorecendo então a aração do solo, pois o implemento penetrou com mais facilidade, além de promover a homogeneização mais completa. Posteriormente houve a gradagem, completando o preparo do solo.

Diferente do que aconteceu no T6, o tratamento T3, onde ocorreu a distribuição do calcário antes de todas as operações de preparo do solo idênticas às realizadas no T6, não promoveu uma incorporação tão desejável quanto a que ocorreu no T6, mas foi mais eficiente do que onde aconteceu o menor revolvimento do solo e, conseqüentemente, menor homogeneização e reação do calcário, disponibilizando

menores quantidades de fósforo para as plantas. Com base nesses resultados, pode-se afirmar que quanto mais bem homogeneizado o calcário ficar no solo, melhor será sua reação, trazendo conseqüências indiretas desejáveis.

Convém salientar também que o tratamento T4, onde foi distribuído o calcário e realizado o plantio direto, não se destacou, mantendo teores intermediários e mostrando que talvez seja benéfico, economicamente, a longo prazo investir no plantio direto, pois ele pode não ter apresentado grandes valores de nutrientes disponíveis no solo, por conseqüência da época inicial de implantação deste sistema. Porém, espera-se que ao longo do tempo, com a incorporação da palhada, o fornecimento de P e demais nutrientes seja mais efetivo, podendo trazer grandes benefícios para a vida do solo e, conseqüentemente, para a fertilidade. Alguns autores, como Amaral Sobrinho et al. (1987) e Trivelin et al. (1997), observaram que a manutenção da palha e a aplicação de resíduos da indústria sucroalcooleira podem beneficiar o solo pela ciclagem de nutrientes, reduzindo a aplicação de fertilizantes industriais.

No sistema de plantio direto, sabe-se que a preservação da M.O. é fundamental para manter a capacidade produtiva em ambientes tropicais, uma vez que é fonte importante de nutrientes, tais como: N, S e P às culturas (BAYER e MIELNICZUK, 1999). Canellas et al. (2003) observaram aumento significativo no conteúdo de P disponível em um Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar que não efetuou a queima do canavial antes da colheita durante longo tempo. Com isso, o grande ganho econômico da adoção do plantio direto seria quanto a redução do número de preparo do solo, reduzindo serviços com maquinário e gastos com combustíveis, e as melhorias em função da atividade biológica e ciclagem de nutrientes.

O não revolvimento do solo, em virtude do aproveitamento da cana soca, poderá contribuir para o aumento do P disponível, uma vez que ao longo do tempo, como observado por Rheinheimer, Anghinoni e Conte (2003), o maior aporte de material orgânico, bem como sua conseqüente mineralização, pode contribuir com a diminuição da capacidade de adsorção de P e a energia de ligação do fosfato aos grupos funcionais dos colóides inorgânicos do solo.

TABELA 5. Valores de fósforo (P), enxofre (S) e matéria orgânica (M.O.) em função das diferentes formas de preparo de solo e em quatro profundidades

Profundidade cm	Tratamento	P -----mg dm <sup>-3</sup> -----	S-SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	M.O. dag kg <sup>-1</sup>
0 a 20	T1	1,02 c	18,25	1,55
	T2	1,10 c	15,75	1,52
	T3	5,97 b	3,25	1,67
	T4	4,70 cb	13,00	1,55
	T5	3,47 cb	16,50	1,80
	T6	11,62 a	21,50	1,80
	Média	4,65	14,70	1,65
	CV (%)	44,81	95,58	17,85
	W; F	0,90; 2,49	0,92; 2,35	0,94; 1,18
	DMS	4,78	32,30	0,67
20 a 40	T1	0,57 b	18,50	1,20
	T2	0,62 b	10,25	1,12
	T3	7,63 a	15,75	1,52
	T4	0,85 b	5,75	1,40
	T5	0,62 b	22,50	1,22
	T6	0,87 b	10,75	1,17
	Média	1,86	13,91	1,27
	CV (%)	37,83*	66,73	11,63*
	W; F	0,52; 3,27*	0,98; 3,77	0,89*; 3,98
	DMS	5,94	21,34	1,00
40 a 60	T1	0,37	20,75	0,80
	T2	0,50	19,75	0,82
	T3	1,55	22,75	1,00
	T4	1,30	20,00	0,80
	T5	0,50	18,50	0,82
	T6	0,55	11,25	0,80
	Média	0,79	18,83	0,84
	CV (%)	88,87	84,36	22,54
	W; F	<b>0,77; 6,47</b>	0,90; 0,81	0,93; 0,80
	DMS	1,62	36,51	0,43
60 a 90	T1	0,27	5,75	0,57
	T2	0,40	25,25	0,55
	T3	0,40	15,50	0,57
	T4	0,60	10,25	0,45
	T5	0,32	16,00	0,77
	T6	0,40	6,75	0,60
	Média	0,40	13,25	0,58
	CV (%)	52,11	106,00	8,18*
	W; F	0,91; 2,67	0,92; 2,89	2,16*; 2,77
	DMS	0,47	32,27	0,44

T1= Dessecação + calcário + aração + grade + plantio; T2= Calcário + aração + grade + plantio; T3= Calcário + grade + aração + grade + plantio; T4= Dessecação + calcário + plantio direto; T5= Dessecação + calcário + subsolador + plantio; T6= Grade+ calcário + aração + grade + plantio.

Médias seguidas por letras diferentes na coluna diferem estatisticamente, pelo teste F e Tukey, a 5 % de probabilidade. \*Dados transformados com raiz de X + 0,5.

Valores em negrito indicam falta de normalidade dos resíduos, pelo teste de Shapiro-Wilk (W), e heterogeneidade das variâncias, pelo teste de Levene (F), a 0,01 de significância.

Observando os valores de fósforo para o perfil de 20 a 40 cm, nota-se diferença ( $P \leq 0,05$ ). O tratamento T3 onde foi realizada a aplicação do calcário com posterior gradagem, aração e gradagem novamente apresentou superioridade sobre todos os outros tratamentos. Esperava-se um comportamento similar para os demais tratamentos, pois a fosfatagem foi realizada no momento da sulcação e na profundidade de 30 a 40 cm. Busato, Canellas e Velloso (2005) observaram, em sistema com manutenção de palhada, um aumento do teor de P na camada de 0 a 20 cm, com manutenção do teor na camada de 20 a 40 cm. Quando houve queima, foram observados menores teores em ambos os compartimentos. Este mesmo comportamento não foi observado neste experimento, uma vez que houve redução superior a 50% no teor de P da camada de 0 a 20 cm em relação a camada de 20 a 40 cm, independente do tratamento.

Não foram apresentadas diferenças ( $P > 0,05$ ) nas profundidades de 40 a 60 e 60 a 90 cm entre os tratamentos testados. Como a gessagem teve dosagem igual para todos os tratamentos e não houve variações de dosagens de fósforo, esse comportamento era esperado. Além disso, o fósforo encontrava-se prontamente disponível para as plantas pela forma aniônica do ortofosfato primário e secundário ( $H_2PO_4^-$ ,  $HPO_4^{2-}$ ), não sendo arrastado para as camadas mais profundas pelo ânion sulfato ( $SO_4^{2-}$ ), pois possuem cargas semelhantes e não se ligam, e pelo fato da pouca mobilidade do P em solos.

Observando os dados de enxofre (Tabela 5) não foi detectada diferença significativa ( $P > 0,05$ ) para nenhuma das profundidades estudadas. Esse fato é coerente, pois a gessagem foi realizada com uma dosagem fixa de  $800 \text{ kg ha}^{-1}$  em todos os tratamentos e nenhuma outra fonte de enxofre foi administrada.

Não foram constatadas (Tabela 5), diferenças significativas ( $P > 0,05$ ) para os teores de matéria orgânica no solo em todas as profundidades estudadas. São valores não esperados, pois quando há o revolvimento do solo ou quanto mais vezes o solo for revolvido, maiores perdas de matéria orgânica são esperadas. As perdas são oriundas da exposição do solo com maior volume de oxigênio após a aeração do solo. Então, esperava-se que nos tratamentos (T1, T4 e T5), onde houve aporte de MO pela dessecação e não revolvimento de solo, as quantidades de matéria orgânica do solo nos perfis, principalmente de 0 a 20 cm, fossem maiores e significativas, o que não ocorreu. Divergindo do que ocorreu no trabalho de Bayer, Mielniczuk e Martin-Neto (2000), a redução do revolvimento do solo resultou numa expressiva diminuição das taxas de perda de matéria orgânica. No preparo convencional, a taxa de perda foi de  $0,054 \text{ ano}^{-1}$

(5,4%), diminuindo para 0,039 ano<sup>-1</sup> (3,9%), no preparo reduzido, e para 0,029 ano<sup>-1</sup> (2,9%), no plantio direto, representando reduções na ordem de 28 e 46%, respectivamente.

O efeito dos sistemas de preparo sobre a taxa de perda de matéria orgânica depende do tipo de solo, basicamente da sua mineralogia e textura (Parfitt et al. 1997). Neste experimento, o solo é argiloso e, de acordo com Bayer, Mielniczuk e Martin-Neto (2000), quanto mais argiloso o solo e com predominância de minerais de carga variável, como óxidos de ferro e de alumínio e caulinita, menor a diferença entre as taxas de decomposição da matéria orgânica do solo submetido a diferentes sistemas de preparo.

Os teores de micronutrientes cobre, ferro, manganês e zinco estão contidos na tabela 6. Observando-se os valores de cobre, não houve diferenças entre os tratamentos nas quatro profundidades ( $P > 0,05$ ). Os diferentes tratamentos de preparo do solo não foram capazes de propiciar maiores disponibilidade de Cu na solução do solo. Talvez fosse de se esperar que os valores de micronutrientes avaliados (Cu, Fe, Zn e Mn), em função da disponibilidade ser dependente da acidez do solo, diminuíssem mais acentuadamente à medida que a eficiência da incorporação aumentasse, pois sabe-se que solos com pH muito alto podem afetar a absorção de micronutrientes, podendo causar deficiências nas plantas. Esse fato não ocorreu, pois em média o teor de pH obtido foi menor do que 5,5, considerado ainda um pH que permite a disponibilidade de micronutrientes.

Não foram constatadas diferenças significativas ( $P > 0,05$ ) para os valores de ferro no solo, nas quatro profundidades estudadas. As diferentes formas de preparar o solo não foram suficientes para alterar os níveis de Fe no solo.

Estudando o manganês no solo, não foram notadas diferenças ( $P > 0,05$ ) no perfil de 0 a 20 cm, local onde foi incorporado o calcário de diferentes maneiras e também nos perfis de 40 a 60 e 60 a 90 cm, onde somente esperava-se a atuação do gesso agrícola. Apesar de ter sido observada diferença ( $P \leq 0,05$ ) na profundidade 20 a 40 cm, os teores foram todos classificados como muito baixos, de acordo com (ALVAREZ V. et al. (1999).

TABELA 6. Teores de micronutrientes no solo, em função dos diferentes tipos de preparo do solo e em quatro profundidades

Profundidade cm	Tratamento	-----mg dm <sup>-3</sup> -----			
		Cu	Fe	Mn	Zn
0 a 20	T1	0,47	55,00	1,42	0,22
	T2	0,47	60,25	1,95	0,27
	T3	0,47	60,25	1,62	0,27
	T4	0,37	51,75	1,00	0,30
	T5	0,47	41,25	1,07	0,20
	T6	0,52	47,75	1,45	0,32
	Média	0,46	52,70	1,42	0,26
	CV (%)	19,03	24,34	33,89	28,50
	W; F	<b>0,83</b> ; 2,41	0,95; 0,59	0,96; 2,14	0,95; 0,50
	DMS	0,20	29,48	1,10	0,17
20 a 40	T1	0,30	34,25	0,87 ab	0,20 ab
	T2	0,35	36,75	1,07 ab	0,25 ab
	T3	0,35	42,75	1,42 a	0,32 a
	T4	0,20	23,50	0,60 b	0,20 ab
	T5	0,25	27,50	0,80 ab	0,17 b
	T6	0,27	28,75	0,72 ab	0,20 ab
	Média	0,28	32,25	0,91	0,22
	CV (%)	34,5	15,35*	10,59*	24,79
	W; F	0,96; <b>4,53</b>	0,98; 3,75*	0,97; 3,38*	0,93; 3,84
	DMS	0,22	23,95	0,73	0,12
40 a 60	T1	0,17	15,00	0,60	0,17
	T2	0,20	19,00	0,65	0,20
	T3	0,20	22,50	0,70	0,17
	T4	0,15	14,25	0,42	0,20
	T5	0,15	15,00	0,62	0,15
	T6	0,15	14,75	0,57	0,17
	Média	0,17	16,75	0,59	0,17
	CV (%)	37,91	28,99	32,08	38,47
	W; F	0,92; 2,26	0,91; 3,20	0,98; 1,64	0,92; 2,55
	DMS	0,14	11,15	0,44	0,15
60 a 90	T1	0,07	7,25	0,40	0,15
	T2	0,07	7,75	0,40	0,10
	T3	0,07	8,50	0,32	0,10
	T4	0,07	9,00	0,22	0,12
	T5	0,10	7,00	0,30	0,10
	T6	0,07	6,50	0,32	0,10
	Média	0,08	7,66	0,32	0,11
	CV (%)	59,17	27,05	53,47	26,08
	W; F	<b>0,62</b> ; 1,80	0,88; 2,84	0,91; 1,25	<b>0,77</b> ; <b>20,2</b>
	DMS	0,10	4,76	0,40	0,06

T1= Dessecação + calcário + aração + grade + plantio; T2= Calcário + aração + grade + plantio; T3= Calcário + grade + aração + grade + plantio; T4= Dessecação + calcário + plantio direto; T5= Dessecação + calcário + subsolador + plantio; T6= Grade+ calcário + aração + grade + plantio.

Médias seguidas por letras diferentes na coluna diferem estatisticamente, pelo teste F e Tukey, a 5 % de probabilidade. \*Dados transformados com raiz de X + 0,5.

Valores em negrito indicam falta de normalidade dos resíduos, pelo teste de Shapiro-Wilk (W), e heterogeneidade das variâncias, pelo teste de Levene (F), a 0,01 de significância.

#### 4.3.2. - Macronutrientes foliares

Dentre as várias finalidades e benefícios do preparo do solo para plantio da cana-de-açúcar, tem-se alterações das propriedades físico-hídricas fundamentais, como porosidade de aeração, retenção de água, disponibilidade de água às plantas e a resistência do solo à penetração (TORMENA, ROLOFF e SÁ, 1998). Com isso, diferentes tipos de preparo do solo poderiam trazer um melhor desenvolvimento do sistema radicular, melhorando a absorção de nutrientes.

Houve efeito significativo ( $P \leq 0,05$ ) entre os teores foliares submetidos aos diferentes tipos de preparo de solo quanto o nitrogênio e o cálcio. Não foi detectado efeito significativo ( $P > 0,05$ ) para os demais macronutrientes: P, K, Mg e S (Tabela 7). De acordo com Ribeiro et al. (1999), os teores nutrientes foliares adequados para a cultura da cana-de-açúcar de N, P, K, Ca, Mg e S são aproximadamente 21,0; 2,3; 12,0; 10,0; 3,0 e 2,5 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente.

Com relação ao nitrogênio, foi observada diferença significativa ( $P \leq 0,05$ ) entre o tratamento que teve a prática da dessecação anterior à aplicação do calcário e posterior aração e gradagem (T1) com o tratamento que realizou-se intenso revolvimento do solo (T6). Tal destaque de N foliar pode estar relacionado com a antecipação da taxa de mineralização da matéria orgânica dos restos vegetais onde foi realizada a dessecação, pois após a morte da cobertura vegetal houve sua incorporação ao solo, ou seja, os restos vegetais foram incorporados já mortos. Assim, a decomposição, mineralização e liberação do N da cobertura morta foi devolvida ao solo sendo absorvido pelas plantas com mais antecedência.

Argenta e Silva (1999) recomendam o atraso na época de semeadura do milho em 20 dias após a dessecação em função da imobilização do N após a dessecação, portanto quanto mais próximo a incorporação dos restos vegetais do plantio menor será a taxa de aproveitamento inicial de N pela cultura implantada. Já o tratamento que obteve-se menores quantidades de N absorvido, onde foi realizado a gradagem mais a aplicação do corretivo, aração e gradagem novamente, pode ter ocorrido perdas de carbono do solo pelo intenso revolvimento do solo como observado em trabalho de Bayer, Mielniczuk e Martin-Neto (2000) avaliando o efeito de sistemas de preparo do solo interferindo nas perdas da matéria orgânica do solo. Desse modo, menores teores de matéria orgânica no solo influenciará na disponibilidade de N para as plantas de cana.

Apesar dessas argumentações, é importante colocar que o mesmo efeito verificado no tratamento T1, em que houve dessecação, não foi observado no tratamento T4, que também apresentou o manejo da dessecação, e que não houve diferença entre esses dois tratamentos. Comparando os teores observados neste experimento somente o teor do T1, 21,00 g kg<sup>-1</sup>, atendeu o nível crítico proposto por Martinez, Carvalho e Souza. (1999).

Na tabela 7 são mostrados valores significativos de cálcio foliar, onde os tratamentos que constaram de maior incorporação do corretivo no solo (T3, T6) apresentaram teores foliares superiores os demais tratamentos. Essa maior incorporação do corretivo ao solo provavelmente possibilitou uma maior disponibilidade de cálcio tornando-o mais disponível para a absorção pelas plantas. Esperava-se que em função dos tratamentos houvesse uma maior diferença nos teores de Ca, Mg e S pois, segundo Martins et al., (2002), o fornecimento de calcário e gesso, além de alterar o pH do solo, neutralizar o alumínio fornece nutrientes como cálcio, magnésio e enxofre.

TABELA 7. Teores foliares dos macronutrientes da cana-de-açúcar submetidos a diferentes tipos de preparo de solo no cerrado

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	S
	-----g kg <sup>-1</sup> -----					
T1 <sup>1</sup>	20,40 a	1,87	17,50	2,35 ab	1,60	1,05
T2 <sup>2</sup>	18,75 ab	1,75	15,87	1,85 b	1,55	0,80
T3 <sup>3</sup>	19,27 ab	1,87	20,62	2,72 a	1,47	1,02
T4 <sup>4</sup>	19,10 ab	1,92	16,50	2,57 ab	1,50	1,00
T5 <sup>5</sup>	19,52 ab	1,97	16,62	2,65 ab	1,45	0,97
T6 <sup>6</sup>	17,52 b	1,90	16,50	2,85 a	1,40	1,07
Média	19,09	1,88	17,27	2,50	1,49	0,98
CV	5,52	8,03	14,64	15,08	12,95	24,55
W	0,92	0,94	<b>0,70</b>	<b>0,86</b>	0,98	0,95
F	2,20	3,55	<b>6,24</b>	3,31	<b>8,42</b>	0,43
DMS	2,42	0,35	5,81	0,86	0,44	0,56

T1= Dessecação + calcário + aração + grade + plantio; T2= Calcário + aração + grade + plantio; T3= Calcário + grade + aração + grade + plantio; T4= Dessecação + calcário + plantio direto; T5= Dessecação + calcário + subsolador + plantio; T6= Grade+ calcário + aração + grade + plantio.

Médias seguidas por letras diferentes na coluna diferem estatisticamente pelo teste F e Tukey a 5 % de probabilidade. \* Dados transformados com raiz de X + 0,5.

Valores em negrito indicam falta de normalidade dos resíduos pelo teste de Shapiro-Wilk (W) e heterogeneidade das variâncias pelo teste de Levene (F) a 0,01 de significância.

Em relação ao fósforo (P), observa-se que não houve diferença significativa e o teor médio observado encontra-se 18% menor do que o nível crítico proposto por Martinez, Carvalho e Souza. (1999) (Tabela 7). Observando o teor de potássio (K),

magnésio (Mg) e enxofre (S) também não verificou diferença entre os tratamentos sendo que em média somente o teor de K atendeu ao nível crítico proposto por Martinez, Carvalho e Souza. (1999), com incremento de 43% e os demais apresentaram respectivamente redução em relação ao nível crítico proposto de 50% e 61%.

#### 4.3.3. - Micronutrientes foliares

Não foi detectado efeito significativo ( $P > 0,05$ ) para os micronutrientes estudados Cu, Fe, Mn e Zn (Tabela 8). Pelo mesmo motivo dos macronutrientes o valor não significativo de Zn é decorrente do fornecimento de zinco de maneira padronizada em todos os tratamentos. Já para o Cu, Fe, e Mn não houve diferenças em virtude do não fornecimento destes ao solo. As diferentes formas de preparar o solo não causaram maiores disponibilizações dos micronutrientes para a solução do solo.

TABELA 8. Teores foliares dos micronutrientes da cana-de-açúcar submetidos a diferentes tipos de preparo de solo em área de expansão no cerrado.

Tratamentos	Cu	Fe	Mn	Zn
	-----mg kg <sup>-1</sup> -----			
T1	15,65	86,75	97,50	15,82
T2	16,27	74,25	78,25	14,97
T3	15,30	67,75	76,00	14,47
T4	13,32	75,25	74,25	13,95
T5	11,67	72,00	71,50	14,30
T6	13,62	73,00	92,25	14,75
Média	14,30	74,83	81,62	14,71
CV	14,68	12,06	17,84	9,58
W; F	0,96; 0,28	0,97; <b>5,12</b>	0,97; <b>6,52</b>	0,90; 2,32
DMS	4,82	20,75	33,47	3,23

T1= Dessecação + calcário + aração + grade + plantio; T2= Calcário + aração + grade + plantio; T3= Calcário + grade + aração + grade + plantio; T4= Dessecação + calcário + plantio direto; T5= Dessecação + calcário + subsolador + plantio; T6= Grade+ calcário + aração + grade + plantio.

Médias seguidas por letras diferentes na coluna diferem estatisticamente pelo teste F e Tukey a 5 % de probabilidade.

Valores em negrito indicam falta de normalidade dos resíduos pelo teste de Shapiro-Wilk (W) e heterogeneidade das variâncias pelo teste de Levene (F) a 0,01 de significância.

De acordo com Martinez, Carvalho e Souza (1999) os níveis críticos médios para a cultura da cana-de-açúcar são 8 a 10 mg kg<sup>-1</sup> para o Cu, de 100 a 500 mg kg<sup>-1</sup> para o ferro, de 50 a 250 mg kg<sup>-1</sup> para o Mn e de 25 a 50 mg kg<sup>-1</sup> para o Zn. Comparando com os resultados obtidos neste experimento observa-se que os teores de

Cu, Fe e Zn estão 71,4; 25 e 41,6% inferiores ao limite inferior do nível crítico proposto, respectivamente. O teor de Mn encontra-se dentro da faixa proposta. Ou seja, com exceção do Mn os demais micronutrientes podem estar causando redução de produtividade pelo não fornecimento correto desses micronutrientes. Esses baixos teores podem estar também relacionadas com as variações de eficiências de utilização e absorção desses micronutrientes pelas cultivares (EPSTEIN e BLOOM, 2006).

#### 4.4. - Conclusões

Em área de expansão de canavial os diferentes manejos de solo, interferiram nos atributos químicos e na disponibilidade de macronutrientes no solo.

Os teores de micronutrientes no solo e nos tecidos foliares não foram influenciados pelos diferentes tipos de preparo de solo.

O sistema de preparo do solo com utilização de gradagem, distribuição do calcário, aração e gradagem foi o que apresentou maiores ganhos de fertilidade para o solo.

O uso do sistema de plantio direto mostrou-se como uma prática viável para o cultivo da cana-de-açúcar

Há importância em avaliar na cana-de-açúcar um perfil de solo mais profundo, em função de possíveis variações nos atributos químicos do solo e no perfil de nutrientes.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, J.M., et al. Propriedades químicas de um cambissolo húmico sob preparo convencional e semeadura direta após seis anos de cultivo. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v. 29, n. 3, 437-445, 2005.
- ALVA, A.K., et al. An evolution of aluminum indices to predict aluminum toxicity to plants grown in nutrient solutions. **Communication Soil Science Plant Analyse**, New York, v. 17, n. 2, p.1271-1280, 1986.
- ALVAREZ V, V.H., et al. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. **Comissão de fertilidade do solo do Estado de Minas Gerais. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. Viçosa, MG, p25 - 32. 1999.
- AMARAL SOBRINHO, N.M.B., et al. Transformações do nitrogênio mineral em solo Podzólico Vermelho-Amarelo tratado com vinhaça. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v. 22, n. 3, p.249-256, 1987.
- ARGENTA, G.; SILVA, P.R.F. da. Adubação nitrogenada em milho implantado em semeadura direta após aveia preta. **Cienc. Rural**, Santa Maria, v. 29, n. 4, p.745-754, 1999.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G.A. e CAMARGO, F.A.O., eds. Fundamentos da matéria orgânica no solo. **Gênesis**, Porto Alegre, p.9-23, 1999.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; MARTIN-NETO, L. Efeito de sistemas de preparo e de cultura na dinâmica da matéria orgânica e na mitigação das emissões de CO<sub>2</sub>. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v. 24, n. 3, p.599-607, 2000.
- BENEDINI, M. S.; CONDE, A.J. **Sistematização de área para a colheita mecanizada da cana-de-açúcar**. Revista Coplana – 23. 2008. Disponível em: <<http://www.coplana.com/gxpfiles/ws001/design/RevistaCoplana/2008/Novembro/pag23-24-25.pdf>> Acesso: 09 jan. 2011.
- BUSATO, J.G.; CANELLAS, L.P.; VELLOSO, A.C.X. Fósforo num Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar por longo tempo: I - fracionamento seqüencial. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Viçosa, v. 29, n. 6, p.935-945, 2005.
- CAMERON, R.S.; RITCHEY, G.S.P. e ROBSON, A.D. Relative toxicities of inorganic aluminum complexes to barley. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v. 50, n. 5, p.1231-1236, 1986.
- CONAB. Segundo levantamento de safra. **Companhia Nacional de Abastecimento**. Brasília: Conab, 2011. Disponível em: <[www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/11\\_05\\_27\\_11\\_53\\_13\\_boletim\\_cana\\_portugues\\_-\\_maio\\_2011\\_1o\\_lev..pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/11_05_27_11_53_13_boletim_cana_portugues_-_maio_2011_1o_lev..pdf)> Acesso em: 25 maio 2011.

CANELLAS, L.P., et al. Propriedades químicas de um Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhico e adição de vinhaça por longo tempo. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 27, n. 5, p.935-944, 2003.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. 2. ed. **Embrapa informação tecnológica**. Brasília, DF. 627p. 2009.

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

EPSTEIN, E.; BLOOM, A.J. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. 2. ed. Londrina: Planta, 403p. 2006.

FAQUIN, V. **Nutrição mineral de plantas**. Lavras: UFLA/FAEPE, 227p. 1994.

FOLTRAN, R. **Aplicação de calcário, silicato e gesso em soqueira de cana-de-açúcar sem despalha a fogo**. 111f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus de Botucatu, Botucatu – SP, 2008.

MARTINS, O. C., et al. Respostas à aplicação de diferentes misturas de calcário e gesso em solos. Alterações químicas no perfil do solo. **Rev. Ceres**, Viçosa, v. 49, n. 282, p.123-135, 2002.

MARTINEZ, H.E.P.; CARVALHO, J.G. de; SOUZA, R.B. de. **Diagnose Foliar**. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. Comissão de fertilidade do solo do Estado de Minas Gerais. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. Viçosa, MG, p143 - 167. 1999.

NETO, P.H.W., et al. Correção da acidez do solo função de modos de incorporação de calcário. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, n. 2, p.257-261, 2000.

OLIVEIRA, E.L.; PAVAN, M.A. Redução da acidez do solo pelo uso de calcário e gesso e resposta da soja cultivada em plantio direto. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 21, Petrolina, 1994. **Anais...** Petrolina, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/ EMBRAPA-CPATSA, p.178. 1994.

RHEINHEIMER, D.S.; ANGHINONI, I. e CONTE, E. Sorção de fósforo em função do teor inicial e de sistemas de manejo de solos. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v. 27, p.41-49, 2003.

RHEINHEIMER, D. S.; et al. Alterações de atributos do solo pela calagem superficial e incorporada a partir de pastagem natural. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 24, n. 4. p.797-805, 2000.

RICHARDS, J. E., et al. Incorporation of limestone into naturally compacted subsoil during deep-ripping. **Soil e Tillage Reseach**. Amsterdam, v. 36, p.21-32, 1995.

ROSSIELO, R.O.P.; JACOB NETO, J. Toxidez de alumínio em plantas: novos enfoques para um velho problema. In: Nutrição mineral de plantas. Viçosa, MG: **Sociedade Brasileira de Ciência do solo**, Viçosa, 432p. 2006.

SÁ, J. C. M. Manejo da fertilidade do solo no sistema plantio direto. In: SIQUEIRA, J.O. **Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas**. Viçosa: SBCS; Lavras: UFLA/DCS, p.267-319. 1999.

SILVA, W.F. da, et al. Análise da expansão da área cultivada com cana-de-açúcar na região Centro-Sul do Brasil: safras 2005/2006 a 2008/2009. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, XIV, São José dos Campos – SP, 2009. **Anais...**, Natal, Brasil. INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, p.467-474, 2009.

SOUSA, D.M.G., et al. Avaliação de métodos para determinar as necessidades de calcário em solos de Cerrados de Goiás e do Distrito Federal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 4, n. 2, p.144-148, 1980.

SUMNER, M.E. Amelioration of subsoil acidity with minimum disturbance. In: JAYAWARDANE, N.S. e STEWART, B.A. **Subsoil management techniques**. Athens, Lewis Publishers, p.147-185. 1995.

TOMÉ JR., J. B. **Manual para interpretação de análises de solo**. Guaíba, Agropecuária, 247p. 1997.

TORMENA, C.A.; ROLOFF, G.; SÁ, J.C.M. Propriedades físicas do solo sob plantio direto influenciadas por calagem, preparo inicial e tráfego. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Campinas, v. 22, n. 2, p.301-309, 1998.

TRIVELIN, P.C.O.; BERDASSOLLI, J.A.; OLIVEIRA, M.W. Potencialidade da mistura de aquamônia com vinhaça na fertilização de canaviais colhidos sem despalha a fogo. Parte I: estabilidade química da mistura. **STAB**. Açúcar, Álcool e Subprodutos, Piracicaba, v. 16, n. 2, p.26-29, 1997.

VITTI, G. C.; MAZZA, J. A. **Planejamento, estratégias de manejo e nutrição da cultura de cana-de-açúcar**. Piracicaba: Potafós, 16p, 2002.

ZANZARINI, R.M.; SANTOS R.J.; ALBINO, K.G. A expansão da cana-de-açúcar no triângulo mineiro – uma análise das alterações de cultivo no município de Araguari - MG. In: SIMPÓSIO DE GEOGRAFIA APLICADA, XIII, 2009. **Anais...**Viçosa – MG.

## 5. - CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar do experimento da área de reforma não ter sido observado grandes incrementos nos atributos avaliados em função dos tratamentos aplicados, acredita-se que esse fato deve-se a ser uma avaliação de primeiro ano e que ao longo do ciclo da cana-de-açúcar os diferentes preparos e o sistema conservacionista avaliado, plantio direto, possam expressar maiores diferenças.

Ressalta-se que há intenções de avaliar estes mesmos experimentos nos cultivos posteriores como cana-soca.

Sabe-se que dentre as várias finalidades e benefícios do preparo do solo para plantio da cana-de-açúcar tem-se alterações das propriedades físico-hídricas fundamentais, como porosidade de aeração, retenção de água, disponibilidade de água às plantas e a resistência do solo à penetração (TORMENA, ROLOFF e SÁ, 1998). Com isso, diferentes tipos de preparar o solo poderiam trazer um melhor desenvolvimento do sistema radicular, melhorando a absorção de nutrientes. Assim como o sistema de cultivo mínimo também causaria benefícios como observado por Dias et al., (2001), em um estudo sobre agroecologia de sistemas de preparo do solo, em área de colheita mecanizada de cana crua em Latossolo, observaram que o sistema reduzido com incorporação da palha com aiveca mostrou-se um sistema de manejo promissor.

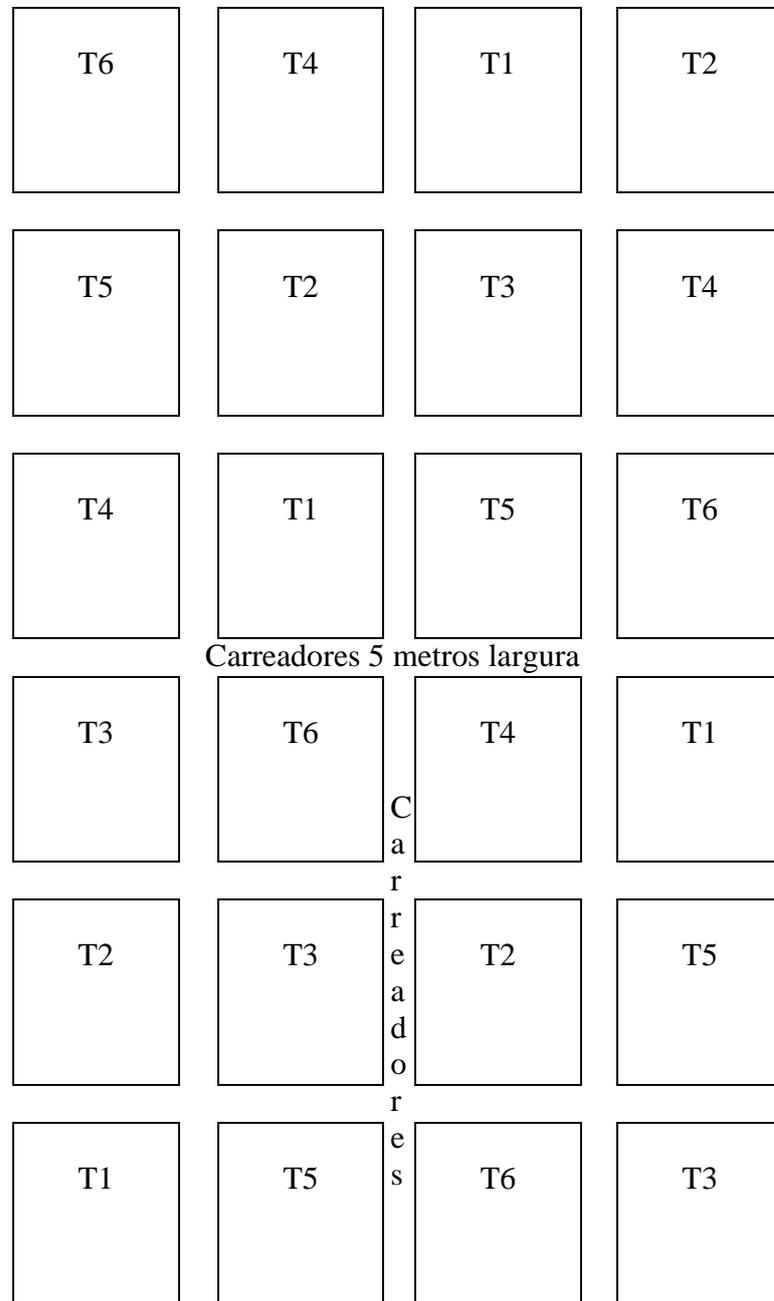
Espera-se que pesquisas neste sentido sejam implementadas para que possa ser definida com base técnica qual a melhor estratégia de manejo para essa cultura de grande importância econômica.

## 6. - AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Minas Gerais – FAPEMIG, pelo apoio financeiro; à Usina Jalles Machado, pela concessão da área para a implantação dos experimentos e de todo apoio com o fornecimento de máquinas e de seus funcionários empenhados e competentes e a CAPES, pela concessão da bolsa de estudos.

## 7 - ANEXOS

### 7.1. - Croqui do experimento da área de renovação de canavial



7.2. - Croqui do experimento da área de expansão de canalial

