



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de Ilha Solteira

Programa de Pós-graduação em Agronomia

**IMPLANTAÇÃO DA CULTURA DA CANA-DE-
AÇÚCAR EM ARGISSOLO VERMELHO DO
NOROESTE PAULISTA: PREPARO DO
SOLO E USO DE GESSO**

RONALDO CINTRA LIMA

Orientador: Prof. Dr. Luiz Malcolm Mano de Mello

ILHA SOLTEIRA - SP
FEVEREIRO/2012

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

**IMPLANTAÇÃO DA CULTURA DA CANA-DE-
AÇÚCAR EM ARGISSOLO VERMELHO DO
NOROESTE PAULISTA: PREPARO DO
SOLO E USO DE GESSO**

RONALDO CINTRA LIMA

Orientador: Prof. Dr. Luiz Malcolm Mano de Mello

Tese apresentada à Faculdade de
Engenharia - UNESP – Campus de Ilha
Solteira, para obtenção do título de Doutor
em Agronomia.

Especialidade: Sistemas de Produção

Ilha Solteira – SP

Fevereiro/2012

FICHA CATALOGRÁFICA

Elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação
Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação da UNESP - Ilha Solteira.

- L732i Lima, Ronaldo Cintra.
 Implantação da cultura de cana-de-açúcar em argissolo vermelho do noroeste
Paulista: preparo do solo e uso de gesso / Ronaldo Cintra Lima. -- Ilha Solteira : [s.n.],
2012
 106 f. : il.
- Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de
Ilha Solteira. Especialidade: Sistemas de Produção, 2012
- Orientador: Luiz Malcolm Mano de Mello
 Inclui bibliografia
1. Atributos químicos do solo. 2. Atributos físicos do solo. 3. Solos – Manejo.
4. Produtividade agrícola. 5. Gessagem. 6. Cana-de-açúcar.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ILHA SOLTEIRA

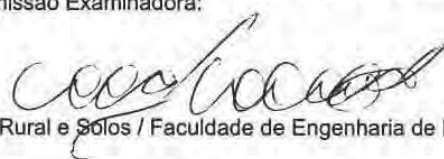
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

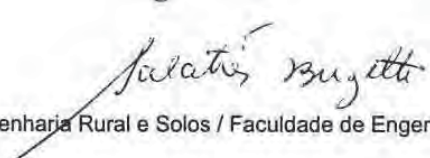
TÍTULO: Implantação da Cultura da Cana-de-Açúcar em Argissolo Vermelho do Noroeste Paulista: Preparo do Solo e Uso de Gesso

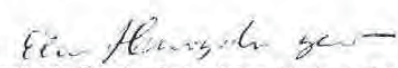
AUTOR: RONALDO CINTRA LIMA

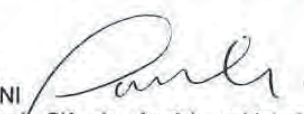
ORIENTADOR: Prof. Dr. LUIZ MALCOLM MANO DE MELLO

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de DOUTOR EM AGRONOMIA ,
Área: SISTEMAS DE PRODUÇÃO, pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. LUIZ MALCOLM MANO DE MELLO 
Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Prof. Dr. SALATIER BUZETTI 
Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Prof. Dr. ELCIO HIROYOSHI YANO 
Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Prof. Dr. CARLOS EDUARDO ANGELI FURLANI 
Departamento de Engenharia Rural / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal

Prof. Dr. CARLOS SERGIO TIRITAN 
Departamento de Solos / Universidade do Oeste Paulista

Data da realização: 24 de fevereiro de 2012.

DEDICO

Aos meus familiares

Meus pais, Ranulfa Alves Lima e Sebastião de Souza Lima (*in memoriam*)

Pelos ensinamentos e lições de vida sempre pautados na honestidade e respeito ao próximo.

Minha esposa Leo e Filhos: Gustavo, Maurício e Vitor

Pelo companheirismo, respeito e compreensão; pelo amor e carinho

recebido de todos, durante essa jornada...

...estímulos que me fizeram sempre forte.

A todos os meus familiares, pelo apoio e incentivos constantes...

AGRADECIMENTOS

Primeiro a **Deus**, por guiar todos os meus passos, direcionando o meu caminho.

À **Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira/UNESP** – Campus de Ilha Solteira, pela oportunidade que me foi concedida para realização de mais este curso de doutorado em Agronomia – área de concentração em Sistema de Produção.

Ao **Prof. Dr. Luiz Malcolm Mano de Mello** pela orientação, amizade e confiança em mim depositados e mais uma vez, pelo incentivo constante.

À **Usina Vale do Paraná Açúcar e Alcool**, pela concessão da área e apoio contribuindo para que esse trabalho de pesquisa se realizasse.

Aos **Professores e funcionários do DEFERS**, pela paciência e presteza na realização dos trabalhos referentes ao curso, pela amizade e espírito de coleguismo recebido; e também a concessão e flexibilização da minha jornada de trabalho, pois, sem isto não seria possível à realização do meu aprimoramento acadêmico.

Aos **amigos e colegas** dos cursos de graduação e pós, Carlos Peres, José Leonardo, César Gustavo, Renato, Carlos Chioderolli, Zé Oscar, André Cesarin, Henrique, Paola, Diego, Eduardo, Ronaldo Tomagoshi, Patrícia, pela ajuda, apoio, amizade, companheirismo e pelos bons momentos de convívio.

A **todos** os professores da pós-graduação pelos ensinamentos, que tanto contribui para o meu aprimoramento acadêmico e profissional.

A todos que direta ou indiretamente tiveram participação nesta minha trajetória.

Meu muito obrigado ...

"Mantenha seus pensamentos positivos, porque seus pensamentos tornam-se suas palavras.

Mantenha suas palavras positivas, porque suas palavras tornam-se suas atitudes.

Mantenha suas atitudes positivas, porque suas atitudes tornam-se seus hábitos.

Mantenha seus hábitos positivos, porque seus hábitos tornam-se seus valores.

Mantenha seus valores positivos, porque seus valores

Tornam-se seu destino."

Mahatma Gandhi

LIMA, R. C. **Implantação da cultura da cana-de-açúcar em argissolo vermelho do noroeste paulista: preparo do solo e uso de gesso.** 2012. 106 f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia, Unesp – Campus de Ilha Solteira, Ilha Solteira, 2012.

Autor: Engº. Agrº. Ronaldo Cintra Lima

Orientador: Prof. Dr. Luiz Malcolm Mano de Mello

RESUMO

A cana-de-açúcar se destaca como sendo uma importante cultura do mundo tropical, e em especial para o Brasil que vem se destacando como o maior produtor mundial. A demanda crescente, no mercado interno e externo, por combustíveis renováveis, especialmente o Etanol, passou a atrair investimentos para a implantação de novas áreas de cana-de-açúcar para atender a indústria. A inclusão de novas regiões no processo produtivo de cana-de-açúcar, requer maior atenção aos fatores de produção, dentre eles o manejo e correção dos solos, pois é imprescindível a eliminação de impedimentos físicos e químicos do solo, causados por camadas compactadas, toxidez por alumínio, acidez e teores inadequados de cálcio e outros nutrientes. Para tanto, a escolha da modalidade e equipamento de preparo do solo mais adequado, além do uso de corretivos de acidez e condicionador de subsuperfície do solo, é de grande importância para proporcionar um ambiente mais propício para que a cultura da cana-de-açúcar desenvolva-se e expresse o seu potencial produtivo. O trabalho foi conduzido em área de implantação de cana-de-açúcar, anteriormente ocupada com pastagem há mais de 15 anos, da Usina Vale do Paraná no município de Suzanópolis - SP, região do Noroeste Paulista. Foi utilizada a variedade RB92-5345 com espaçamento de 1,5 m entrelinhas, em Argissolo Vermelho Distrófico abrupto textura arenosa/média. O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso, com seis tratamentos, em esquema fatorial 3 x 2 e seis repetições, sendo os tratamentos constituídos por preparo de solo com três modalidades: arado de aivecas, escarificador e grade pesada; com (1 t ha⁻¹) de gesso e sem gesso. O trabalho objetivou avaliar qual sistema de preparo do solo, com e sem uso de gesso proporciona melhores condições de desenvolvimento e qualidades tecnológicas na cultura da cana-de-açúcar. Para isso foram efetuadas avaliações quali-quantitativas: em cana planta e 1ª cana soca e os atributos químicos e físicos do solo, nas camadas de 0,0-0,15; 0,15-0,30 e 0,30-0,45 m. As diferenças nos valores dos atributos químicos do solo, devido às modalidades de preparo, ocorridas na cana planta, não perduraram até a colheita da 1ª cana

soca e também não refletiram na produtividade da cultura. Embora o preparo com arado de aivecas tenha proporcionado melhor condicionamento físico do solo, com afeito duradouro até a 1ª cana soca. O uso do gesso foi o fator de maior impacto na cultura, pois afetou positivamente os teores de S-SO_4^{-2} , Ca^{+2} e Al^{+3} em todo o perfil do solo nos dois cultivos da cana-de-açúcar, proporcionando maiores valores de açúcar total recuperado (ATR) e produtividade de tonelada de colmo por hectare (TCH), para cana planta e 1ª cana soca, respectivamente, porém não mostrou alterações nos atributos físicos estudados. As produções acumuladas de colmos e de ATR foram maiores no tratamento com gesso.

Palavras-chave: Atributos químicos e físicos do solo. Produtividade. Manejo do solo. Gessagem e *Saccharum spp.*

LIMA, R. C. **Implementation of sugarcane crop in the northwest red Argisol paulista: soil tillage and use gypsum** 2012. 106 f. Thesis (Doctor Science) - Faculdade de Engenharia, Unesp – Campus de Ilha Solteira, Ilha Solteira, 2012.

Author: Engº. Agrº. Ronaldo Cintra Lima

Adviser: Prof. Dr. Luiz Malcolm Mano de Mello

ABSTRACT

The sugarcane stands out as being an important crop in the tropical world, and especially to Brazil that has emerged as the largest producer. The increasing demand in domestic and foreign markets for renewable fuels, especially ethanol, began to attract investments to roll out new areas of sugarcane to meet the needs of industry. The inclusion of new regions in the productive process of `sugarcane requires greater attention to factors of production, including management and correction of soil, it is necessary to eliminate physical and chemical impediments of the soil, caused by compacted layers, aluminum toxicity, acidity, and inadequate levels of calcium and other nutrients. To this end, the choice of modality and tillage equipment most appropriate, besides the use of corrective agents of acidity and subsurface soil conditioner is of great importance to provide a more favorable environment for sugarcane crop develop itself and to express their productive potential. The experiment was conducted in an area of expansion of sugarcane at Usina Vale do Paraná in the city Suzanápolis - SP, in the Northwest of Sao Paulo in the area previously occupied by grazing for over 15 years. In the implementation of crop was used variety RB92-5354 at a spacing of 1.5 m between rows in Red Argisol Dystrophic abrupt sandy texture / medium. The experimental design used was a randomized block design with six treatments in a factorial scheme 3 x 2 and six repetitions, and the main treatments consisting of soil preparation with three modalities: moldboard plow, chisel plow and harrow and two secondary treatments with (1 t ha⁻¹) and without gypsum. The study aimed to evaluate which system of tillage, with and without the use of gypsum provides better conditions for development and technological qualities in the sugarcane crop. For this evaluation were performed qualitative and quantitative: in plant cane and 1st cane ratoon and the chemical and physical properties of soil in the layers 0.0 to 0.15; 0.15 to 0.30 and from 0.30 to 0.45 m. The differences in values of soil chemical attributes due to the methods of preparation have taken place in plant cane, did not affect up to last the harvest of the 1st ratoon cane and also did not

reflect the productivity. Although the preparation with moldboard plow has provided better conditioning of the soil, with fond lasting until the 1st ratoon cane. The use of gypsum was the greatest impact factor in the crop since has positively affected the levels of S-SO_4^{-2} , Ca^{+2} and Al^{+3} in the whole soil profile on the two crops of cane sugar, providing greater total recovered sugar values (TRS) and productivity of tons of straw per hectare (TSH) for sugar cane plant and 1st cane ratoon, respectively, but showed no changes in physical attributes studied. The cumulative production of sugarcane stem and TRS were higher in treatment with gypsum.

Keywords: Chemical and physical attributes of soil. Productivity. Soil management. Gypsum application and *Saccharum spp.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Valores de precipitação pluvial (mm) mensal, umidade relativa do ar (%) mensal, temperaturas ($^{\circ}\text{C}$) máxima, média e mínima mensais durante a condução do experimento com cana planta (A) na safra 2008/09 e com cana 1ª cana soca (B) na safra 2009/11, Fazenda N ^{Sa} . Aparecida, Nova Canaã Paulista – SP.....	39
Figura 2	Esquema da área experimental.....	41
Figura 3	Perfil da área da seção transversal mobilizada em função das modalidades de preparo de solo, em Argissolo Vermelho para implantação de cana planta.....	46
Figura 4	Distribuição de gesso nas parcelas.....	47
Figura 5	Caracterização da resistência mecânica à penetração e umidade gravimétrica no perfil do solo, 0,0 a 45 cm, antes da implantação do experimento.....	73
Figura 6	Resistência mecânica à penetração e umidade gravimétrica no perfil do solo, 0,0 a 45 cm, em cana planta (2009), na linha (L) e entrelinha (E), sob preparo do solo com: A - arado de aivecas (AV), B - grade pesada (GP) e C - escarificador (ES).....	75
Figura 7	Resistência mecânica à penetração e umidade gravimétrica no perfil do solo, 0,0 a 45 cm, em 1ª cana soca (2011), na linha (L) e entrelinha (E), sob preparo do solo com: A - arado de aivecas (AV), B - grade pesada (GP) e C - escarificador (ES).....	76
Figura 8	Resistência mecânica à penetração e umidade gravimétrica no perfil do solo, 0,0 a 45 cm, em cana planta e 1ª cana soca (2011), na linha (L), sob preparo do solo com: A - arado de aivecas (AV), B - grade pesada (GP) e C - escarificador (ES).....	77
Figura 9	Resistência mecânica à penetração e umidade gravimétrica no perfil do solo, 0,0 a 45 cm, em cana planta (2009) e 1ª cana soca (2011), na entrelinha (E), sob preparo do solo com: A - arado de aivecas (AV), B - grade pesada (GP) e C - escarificador (ES).....	78
Figura 10	Efeito da interação épocas de avaliação (DAP) dentro de preparo do solo, da análise de variância referente ao número de perfilhos por metro em cana-de-açúcar (cana planta).....	82
Figura 11	Efeito da interação épocas de avaliação (DAP) dentro da aplicação de gesso, da análise de variância referente ao número de perfilhos por metro em cana-de-açúcar (cana planta).....	83
Figura 12	Efeito da interação épocas de avaliação (DAC) dentro de preparo do	

solo, da análise de variância referente ao número de perfilhos por metro em cana-de-açúcar (1ª cana-soca).....	84
---	----

Figura 13 Efeito da interação épocas de avaliação (DAC) dentro da aplicação de gesso, da análise de variância referente ao número de perfilhos por metro em cana-de-açúcar (1ª cana soca).....	85
---	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Caracterização granulométrica do solo da área antes da implantação do experimento, Nova Canãa Paulista (SP), 2008.....	37
Tabela 2	Caracterização química do solo da área na implantação do experimento, Nova Canãa Paulista (SP), 2008.....	37
Tabela 3	Caracterização física do solo da área antes da implantação do experimento, Nova Canãa Paulista (SP), 2008.....	38
Tabela 4	Umidade gravimétrica do solo antes da operação de preparo.....	45
Tabela 5	Caracterização química do gesso agrícola.....	47
Tabela 6	Valores médios de profundidade de sulcação e umidade do solo após a sulcação, em função de tipos de preparo do solo.....	49
Tabela 7	Valores médios dos atributos químicos do solo nas camadas de 0,0-0,15, 0,15-0,30 e 0,30-0,45 m, em sistemas de preparo do solo, associados à aplicação de gesso, na cana planta.....	56
Tabela 8	Valores médios dos atributos químicos do solo nas camadas de 0,0-0,15, 0,15-0,30 e 0,30-0,45 m, em sistemas de preparo do solo, associados à aplicação de gesso na 1ª cana soca.....	61
Tabela 9	Valores médios de macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo, em função de implementos de preparo de solo, associados com e sem aplicação de gesso na cana planta, na camada de 0 a 0,15 m.....	64
Tabela 10	Valores médios de macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo, em função de implementos de preparo de solo, associados com e sem aplicação de gesso na cana planta, na camada de 0,15 a 0,30 m.....	64
Tabela 11	Valores médios de macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo, em função de implementos de preparo de solo, associados com e sem aplicação de gesso na cana planta, na camada de 0,30 a 0,45 m.....	65
Tabela 12	Valores médios de macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo, em função de implementos de preparo de solo, associados com e sem aplicação de gesso na 1ª cana soca, na camada de 0 a 0,15 m.....	67
Tabela 13	Valores médios de macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo, em função de implementos de preparo de solo, associados com e sem aplicação de gesso na 1ª cana soca, na	

	camada de 0,15 a 0,30 m.....	68
Tabela 14	Valores médios de macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo, em função de implementos de preparo de solo, associados com e sem aplicação de gesso na 1ª cana soca, na camada de 0,30 a 0,45 m.....	68
Tabela 15	Valores médios de macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo, em função de implementos de preparo de solo, associados com e sem aplicação de gesso, na linha da cana planta e 1ª cana soca, na camada de 0 a 0,15 m.....	70
Tabela 16	Valores médios de macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo, em função de implementos de preparo de solo, associados com e sem aplicação de gesso, na linha da cana planta e 1ª cana soca, na camada de 0,15 a 0,30 m.....	71
Tabela 17	Valores médios de macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo, em função de implementos de preparo de solo, associados com e sem aplicação de gesso, na linha da cana planta e 1ª cana soca, na camada de 0,30 a 0,45 m.....	72
Tabela 18	Valores médios do número de perfilhos por metro, na cana-de-açúcar (cana planta e 1ª cana soca), em função de implementos de preparo de solo, associados com e sem aplicação de gesso.....	80
Tabela 19	Resultados do desdobramento da interação entre implementos de preparo de solo, com e sem aplicação de gesso para número de perfilhos (1ª cana soca) por metro.....	81
Tabela 20	Valores médios de tonelada de colmos por hectare (TCH), massa por colmo (MC), número de colmos por metro (NCM), comprimento de colmo (CC) e diâmetro de colmo (DC) em cana planta e 1ª cana soca, em função de implementos de preparo de solo, associados com e sem aplicação de gesso.....	88
Tabela 21	Valores médios de pureza do caldo (Pza), Fibra, Brix da cana, ar do caldo (AR), pol do caldo (PolC) e ATR por tonelada de cana (ATR) da cana planta e 1ª cana soca, em função de implementos de preparo de solo, associados com e sem aplicação de gesso, safras 2008/09 e 2009/11.....	90
Tabela 22	Valores médios da produção acumulada (cana planta + cana soca) de colmos e de ATR por hectare em função de implementos de preparo de solo, associados com e sem aplicação de gesso, 2009/11.....	92

LISTA DE QUADROS

Quadro 1	Máquinas e implementos utilizados no experimento, cana planta e 1ª cana soca.....	43
-----------------	---	----

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	19
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	21
2.1	Cultura da cana-de-açúcar.....	21
2.2	Preparo do solo para implantação da cultura da cana-de-açúcar	23
2.3	Gessagem em cana-de-açúcar.....	28
2.4	Comportamento do preparo do solo em alguns atributos físicos do solo.....	30
2.5	Comportamento do gesso em alguns atributos químicos do solo.....	33
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	36
3.1	Caracterização da área experimental.....	36
3.1.1	<i>Localização.....</i>	36
3.1.2	<i>Solo e histórico da área.....</i>	36
3.1.3	<i>Delineamento experimental e tratamentos utilizados.....</i>	40
3.1.4	<i>Características da cana-de-açúcar.....</i>	42
3.2	Instalação do experimento.....	42
3.2.1	<i>Máquinas e Implementos.....</i>	42
3.2.2	<i>Tratamentos, plantio e tratos culturais.....</i>	44
3.2.2.1	<i>Pré-implantação.....</i>	44
3.2.2.2	<i>Tratamento - preparo do solo.....</i>	44
3.2.2.2.1	<i>Avaliação do perfil do preparo do solo</i>	45
3.2.2.3	<i>Tratamento – gessagem.....</i>	46
3.2.2.4	<i>Plantio.....</i>	48
3.2.2.4.1	<i>Análise da profundidade de sulcação.....</i>	48
3.2.2.5	<i>Tratos culturais.....</i>	49
3.3	Variáveis analisadas.....	49
3.3.1	<i>Análises dos atributos químicas do solo – cana planta e 1ª cana soca.....</i>	49
3.3.2	<i>Análises dos atributos físicos do solo – cana planta e 1ª cana soca.....</i>	50
3.3.2.1	<i>Macroporosidade, microporosidade e porosidade total.....</i>	50
3.3.2.2	<i>Densidade do solo.....</i>	50
3.3.2.3	<i>Resistência mecânica à penetração.....</i>	50
3.3.3	<i>Avaliações realizadas em cana planta e 1ª cana soca.....</i>	51

3.3.3.1	<i>Características agronômicas.....</i>	51
3.3.3.2	<i>Indicadores de qualidade tecnológica da cana-de-açúcar.....</i>	52
3.4	<i>Análise estatística.....</i>	52
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	53
4.1	<i>Avaliação dos atributos químicos do Solo.....</i>	53
4.1.1	<i>Cana planta.....</i>	53
4.2.1	<i>1ª cana soca.....</i>	57
4.2	<i>Avaliação dos atributos físicos do Solo.....</i>	62
4.2.1	<i>Macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo – cana planta.....</i>	62
4.2.2	<i>Macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo – 1ª cana soca.....</i>	65
4.2.3	<i>Macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo em duas épocas – cana planta e 1ª cana soca.....</i>	69
4.2.4	<i>Resistência mecânica do solo à penetração– caracterização da área em 2008, cana planta (2009) e 1ª cana soca (2011).....</i>	73
4.3	<i>Características Agronômicas.....</i>	79
4.3.1	<i>Números de perfilhos por metro.....</i>	79
4.3.2	<i>Produtividade em toneladas de colmos por hectare (TCH), massa por colmo (MC), número de colmos por metro (NCM), comprimento de colmo (CC) e diâmetro de colmos (DC).....</i>	85
4.3.3	<i>Características da qualidade tecnológica da cana-de-açúcar.....</i>	89
4.3.3.1	<i>Rendimento industrial da pureza do caldo (Pza), Fibra, Brix da cana, ar do caldo (AR), pol do caldo (PolC) e kg de ATR por tonelada de cana (ATR).....</i>	89
4.3.3.2	<i>Produção acumulada de colmos e de ATR.....</i>	91
5	CONCLUSÕES.....	93
	REFERÊNCIAS.....	94

1 INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar (*Saccharum* spp, família das poáceas) se destaca como sendo uma importante cultura do mundo tropical, e em especial para o Brasil que vem se consolidando como o maior produtor mundial. No cenário atual sua economia agrícola e industrial tem tido um incremento significativo, tanto da receita do aumento da produção do complexo cana: açúcar, etanol, cogeração de energia e outros derivados de cana, como também do aumento de receitas geradas apartir do setor industrial ligados direta ou indiretamente à cadeia sucroalcooleira.

A demanda crescente, no mercado interno e externo, por combustíveis renováveis, especialmente o Etanol, passou a atrair investimentos para a implantação de novas áreas de cana-de-açúcar para atender a Usina. De acordo com a CONAB (2011), a área de cana-de-açúcar cultivada no Brasil foi de 8,4 milhões de hectares em 2011, sendo o estado de São Paulo o principal produtor, representando 52,60% em área plantada e 56,77% da produção nacional. O plantio da cana continua em expansão no país com maior índice de aumento de área nos estados de São Paulo, Mato Grosso do Sul, Goiás e Minas Gerais.

Essa expansão agrícola necessita do conhecimento das atividades envolvidas com a cultura da cana-de-açúcar, desde o preparo até a sua colheita, é uma etapa importante na sua exploração econômica. O planejamento deve objetivar a análise de todos os componentes de produção, assim como aqueles envolvidos com os custos de implantação. Esta análise deverá nortear a eleição de uma série de técnicas a serem adotadas, insumos, máquinas e implementos, serviços, variedades, e a distribuição destas nos tipos de solo a serem explorados, épocas de plantio, finalizando-se com a elaboração do próprio cronograma físico-financeiro. Considerando-se o preparo do solo, a correção e a adubação e nutrição da cana-de-açúcar dentro deste contexto, pode-se dizer que a sua eficiência no incremento da produtividade será tanto maior quanto melhor for o ajuste dos fatores de produtividade (VITTI ; MAZZA, 2002).

Para tanto, preparar o solo e mantê-lo em boas condições para o desenvolvimento das plantas, em grandes áreas, é o que justifica o uso de grandes máquinas e implementos nos talhões de cana-de-açúcar. O preparo do solo pode ser feito com subsoladores, arados e grades, e tem o objetivo de proporcionar ambiente adequado à implantação e desenvolvimento das plantas (AZEVEDO, 2008).

A camada compactada no solo pode ser eliminada por processos mecânicos e/ou adubação verde. O manejo correto do solo para evitar a compactação compreende o uso

correto de equipamentos agrícolas, para diferentes situações, impedindo o preparo excessivo ocasionando em maior perda de água e solo por erosão, além de favorecer as operações subseqüentes. Ademais, a expansão do canavial é onerosa e necessita de um planejamento minucioso, especialmente nos anos de crise.

Em relação aos problemas químicos, a calagem corrige a acidez dos solos principalmente na superfície, entretanto essa prática pode ocasionar no excesso de alumínio e falta de cálcio em subsuperfície, que inviabiliza o crescimento das raízes em profundidade e prejudica a absorção de água e nutrientes pelas plantas.

Com a gessagem, o subsolo é favorecido pela diminuição da saturação por alumínio, o aumento dos teores de cálcio e enxofre, tornando esse ambiente apto para a maior exploração das raízes, sendo uma técnica fundamental para utilização na maioria dos solos brasileiros para fins agrícolas.

Foi lançada a hipótese que a mobilização do solo em camadas mais profundas possibilita a distribuição do gesso de forma mais uniforme e melhora o condicionamento físico do perfil do solo. Devido à importância desses eventos na implantação da cana-de-açúcar em novas áreas sob pastagens, o presente trabalho teve como objetivo verificar o efeito de três tipos de equipamentos de preparo de solo (arado de aivecas, grade pesada e escarificador), associados à aplicação de gesso agrícola nos atributos físicos e químicos de um Argissolo Vermelho e na produtividade e qualidade tecnológica da cana.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Cultura da cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) é originária da Nova-Guiné e foi levada para o sul da Ásia onde foi usada, de início, principalmente em forma de xarope. A primeira evidência do açúcar em sua forma sólida, data do ano 500, na Pérsia (SEGATO et al., 2006a). No Brasil há indícios de que o cultivo da cana-de-açúcar seja anterior a época do descobrimento, mas seu desenvolvimento se deu posteriormente, com a criação dos engenhos e plantações com mudas trazidas pelos portugueses (CESNIK, 2004).

Pertencente à família Poaceae (Gramíneas) (CRONQUIST, 1981), a cana-de-açúcar é uma planta que se desenvolve em forma de touceira e sua parte aérea é formada por colmos, folhas e inflorescências e a subterrânea por raízes e rizomas. As raízes são fasciculadas, sendo que 85% delas encontram-se nos primeiros 50 cm do solo e aproximadamente 60% entre os primeiros 20-30 cm de profundidade, havendo pequenas variações nessa porcentagem dependendo, sobretudo das variedades (MOZAMBANI et al., 2006). Cada entrenó da planta produz uma nova folha em cerca de dez dias, e uma folha mais velha morre, deixando um número constante de oito a nove folhas por colmo. A maior porção de luz incidente é interceptada pelas seis folhas mais apicais. A gradativa queda de temperatura e redução das precipitações são determinantes para a ocorrência do processo de maturação da planta, dessa forma, na região Sudeste do Brasil, o processo tem ocorrência natural a partir de abril/maio, com clímax em setembro (RUDORFF, 1995).

A cana-de-açúcar apresenta alta eficiência fotossintética e elevado ponto de saturação luminosa, característica dos representantes das plantas C_4 . O crescimento dos colmos encontra-se sujeito à variação da temperatura do ar, estando à faixa ótima localizada entre 25 e 35 °C, sendo que em temperaturas situadas entre 19 e 25° C seu crescimento é lento e encontra-se nulo quando em temperaturas inferiores a 10 °C (CASAGRANDE, 1991).

Cultivada principalmente nas regiões tropicais e sub-tropicais, compreendida entre os paralelos 35° de latitude Norte e Sul do Equador, o clima ideal para a cultura da cana-de-açúcar é aquele que apresenta duas estações distintas, uma quente e úmida, para proporcionar a brotação, perfilhamento e desenvolvimento vegetativo, seguido de outra fria e seca, para promover a maturação e conseqüente acúmulo de sacarose nos colmos (BRUNINI, 2008). Cerca de 30% da massa desta planta é representada pela matéria seca e 70% pela água,

contudo esta proporção pode variar dependendo do estágio fenológico da cana-de-açúcar (SEGATO et al., 2006a).

Para Taupier e Rodríguez (1999), a cana-de-açúcar é a planta que possui mecanismos fisiológicos mais aperfeiçoados para a produção de sacarose, pois as suas vias para produzi-la (C4 ou via do ácido dicarboxílico), a partir dos açúcares simples, são mecanismos altamente eficientes, que o homem, através de um longo processo continuado de melhoria, vem aperfeiçoando e desenvolvendo.

Por ser uma cultura semi-perene e com ciclo de cinco a sete anos, o sistema radicular da cana se desenvolve em maior profundidade e assim passa a ter uma estreita relação com pH, saturação por bases, porcentagem de alumínio e teores de cálcio nas camadas mais profundas do solo (STAUT, 2005). Apesar de seu cultivo ter se estabelecido sobre os mais diversos tipos de solo no país, de texturas arenosas a argilosas, com teores de matéria orgânica de baixos a altos, a cana-de-açúcar é bastante tolerante à acidez e à alcalinidade do solo, entretanto seu desenvolvimento máximo é atingido em solo com pH 6,5 (LIMA et al., 1999).

A cana planta é a denominação utilizada para cana-de-açúcar até a sua primeira colheita ou corte, tendo um período de crescimento em torno de 12 ou 18 meses, dependendo da época de plantio. Se for plantada de setembro a outubro geralmente é colhida com cerca de 12 meses, é denominada cana de ano. Se for plantada de janeiro a março, ela será colhida por volta de 18 meses e, portanto, é denominada cana de ano e meio. Após a primeira colheita a cana sofre uma rebrota que é chamada de soca. As demais colheitas ocorrem anualmente por volta do mesmo período (mês), sendo chamadas de ressocas (RUDORFF, 1995). As rebrotas da cana são utilizadas por 4 a 5 cortes em média, ou mais dependendo do nível de produtividade da cultura.

O ambiente de produção de cana-de-açúcar é definido em função das condições físicas, hídricas, morfológicas, químicas e mineralógicas dos solos sob manejo adequado da camada arável em relação ao preparo, calagem, gessagem, adubação, adição de vinhaça, torta de filtro, palha no plantio direto, do controle de plantas daninhas e pragas, mas sempre associadas às propriedades da subsuperfície dos solos e, principalmente, ao clima regional (precipitação pluvial, temperatura, radiação solar, evaporação). Portanto, ambiente de produção é a soma das interações dos atributos de superfície e principalmente de subsuperfície, considerando-se, ainda, o grau de declividade onde os solos ocorrem na paisagem, associadas com as condições climáticas (PRADO, 2005).

Dentre os fatores que influenciam a composição química e tecnológica da cana-de-açúcar, destacam-se variedades, ambientes de produção e manejo adotado (SEGATO et al.,

2006a). De acordo com Marques et al. (2001), a cana-de-açúcar apresenta em sua composição de 8-18% de fibra (celulose, lignina e pentosanas) e 86-92% de caldo. O caldo contém de 75-82% de água e de 18-25% de sólidos solúveis. Os sólidos solúveis apresentam de 15,5-27% de açúcares e de 1-2,5% de não-açúcares (impurezas), sendo este último dividido em inorgânicos (0,2-0,7%) e orgânicos (0,8-1,8%) que são compostos por aminoácidos, ácidos, ceras, corantes e gorduras. Os açúcares contém cerca de 12-18% de sacarose, de 0,2-1% de glicose e de 0-0,5% de frutose. Para as indústrias, quanto mais elavados os teores de sacarose melhor para os processos de produção de açúcar e álcool.

Portanto, práticas de preparo do solo são necessárias para reverter parcialmente o quadro da porosidade, porém, tendo como objetivos a atenuação ou eliminação dos fatores limitantes ao desenvolvimento radicular tais como: as físicas (compactação, adensamento, encharcamento), as químicas (baixo teor de nutrientes, elevado teores de Al e Mn, sais de Na) e biológicas e ao mesmo tempo, controlar a erosão e a infestação de ervas daninhas. Em relação às restrições químicas, o diagnóstico é feito por meio de análises de solos em diversas profundidades. Na prática, tem-se utilizado duas profundidades 0-25 e 25-50 cm. Os atributos químicos são devidamente analisados e as decisões são tomadas. As correções são feitas na camada superficial através do calcário, a níveis compatíveis com a cultura e na subsuperfície pelo gesso (DEMATTÊ, 2005).

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, seguido por Índia, Tailândia e Austrália e correspondem às regiões de cultivo o Sudeste, Centro-Oeste, Sul e Nordeste, permitindo duas safras por ano. Portanto, durante todo o ano o Brasil produz açúcar e etanol para os mercados interno e externo (ÚNICA, 2010).

A Regional de Andradina (EDR), localizada no Noroeste do Estado de São Paulo, abrange o município de Suzanópolis, sede da Unidade Sucroalcooleira, Usina Vale do Paraná Açúcar e Álcool S.A., local onde foi realizado o experimento em questão, tradicionalmente apresenta áreas de pecuária de corte. Entretanto, apresentou um crescimento da cultura cana-de-açúcar de 122% de 2005 a 2009, com crescimento da produção de 158% e elevação de 10% na produtividade média da cultura, no período em questão (ARAÚJO, 2010).

2.2 Preparo do solo para implantação da cultura da cana-de-açúcar

A mecanização da cultura da cana-de-açúcar encontrou no Brasil um vasto campo para a introdução das inovações tecnológicas, em função da disponibilidade irregular da mão-de-obra e da busca da redução de custos, a mecanização no processo de produção dessa cultura

cresceu consideravelmente nos últimos anos, tornando irreversível diante das perspectivas para o futuro do setor no país, sendo um importante componente básico na maioria das estratégias de desenvolvimento rural, aumento da produtividade e mão-de-obra.

Atualmente, a modernização no campo é evidenciada pela maximização da mecanização a fim de se reduzir a quantidade de mão-de-obra, aumentar a produtividade agrícola, elevar o rendimento operacional e acelerar o desenvolvimento rural. O preparo do solo é uma das maiores formas de aplicação da mecanização agrícola e sua introdução a diferentes tipos de solos, no entanto, seu emprego maciço, sem adaptação prévia, pode resultar em degradação do recurso natural (SIQUEIRA, 1999).

Para Henklain (1997), a modernização da agricultura tem exigido máquinas maiores e mais potentes, com o objetivo de obter maior capacidade operacional das operações agrícolas. Contudo, essa modernização tem o propósito de lucros imediatos utilizando sistemas intensivos e inadequados de preparo pela mecanização pesada, não fazendo um planejamento racional do uso do solo.

O solo sob cultivo de cana-de-açúcar é muito castigado pela intensa mecanização, que acaba sendo compactado demasiadamente e conseqüentemente levado à necessidade de agressivas práticas corretivas como cultivo ou preparo em profundidade, e ainda muitos solos acabam totalmente pulverizados, facilitando novas compactações (BARBIERI et al., 1985).

O uso intensivo de máquinas e implementos na agricultura moderna pode modificar as propriedades do solo, em relação àquelas de seu estado natural. Tem sido detectadas as camadas compactadas subsuperficiais causadas pelo intenso tráfego de máquinas e implementos agrícolas, que provocam pressões na superfície do solo (MONTOVANI, 1987), afetando a sua densidade (MORAES ; BENEZ, 1996), degradando a macroestrutura e reduzindo o grau de floculação da argila do solo (PRADO ; CENTURION, 2001).

A escolha de um sistema de preparo é extremamente complexa, principalmente devido às variações dos tipos de solos, teores de água, coberturas vegetais sobre a superfície, culturas a serem implantadas, níveis tecnológicos e métodos de conservação, entre outras (FURLANI, 2000). No entanto, o preparo mais adequado deve ser decisivo para a escolha dos equipamentos a serem empregados e não o contrário (GAMERO et al., 1997).

O preparo do solo é uma operação indispensável ao bom desenvolvimento das culturas e compreende um conjunto de técnicas que, utilizadas racionalmente, propiciam alta produtividade e, se mal usadas, podem levar à destruição dos solos em curto prazo, podendo chegar à desertificação de áreas extensas (AQUINO, 2007).

Segundo Boller (2001), o preparo do solo é um dos mais importantes componentes do custo de produção agrícola e, assim, está intimamente relacionado com a sustentabilidade da agricultura, visto que influencia as propriedades físicas do solo, os processos biológicos e condiciona o estabelecimento, o desenvolvimento e a produção das culturas.

Entre os aspectos negativos do preparo intensivo, pode-se destacar a redução da estabilidade de agregados, formação de camadas compactadas subsuperficiais, aumento da taxa de decomposição de matéria orgânica e exposição do solo à chuva, intensificando a erosão hídrica (ALEGRE et al., 1991).

O preparo do solo é definido como um conjunto de operações agrícolas que envolvem a mobilização mecânica da camada arável - onde se desenvolve a maior fração do sistema radicular das plantas - promovendo o seu rompimento em torrões (agregados) de tamanho adequado, assim como a mistura ou a incorporação de material vegetal ou não, encontrado na superfície (BOLLER, 2001).

As respostas das plantas não ocorrem diretamente ao preparo do solo, mas ao ambiente criado em função desta atividade, que favorece a movimentação da água, aeração e disponibilidade de nutrientes, sendo a profundidade a variável mais importante; estas operações demandam energia, tempo e custos, as quais estão diretamente relacionadas à profundidade de trabalho e o número de operações.

Para aumentar a produção das plantas, os sistemas de preparo têm por finalidade favorecer a conservação do solo e da água, estimular o desenvolvimento do sistema radicular das culturas através das condições criadas e manter níveis favoráveis de matéria orgânica no solo. De acordo com Palmeira et al. (1999), embora não seja considerado em si um fator de crescimento para as plantas, o preparo do solo exerce influência na disponibilidade de água e ar às raízes das plantas, no suprimento e no desenvolvimento do sistema radicular.

O preparo com arados de discos ou de aivecas, seguidos de gradagens ou uso de grades pesadas em substituição ao arado, mas não dispensando as gradagens para destorroamento e nivelamento do solo, constituem as operações chamadas de preparo convencional (ZANINE et al., 2006; AQUINO, 2007).

Para o cultivo da cana-de-açúcar é necessária a realização de inúmeras operações de preparo de solo, como a utilização de arados, grades pesadas e subsoladores além de um grande tráfego de tratores e implementos que levam a degradação da estrutura do solo para a efetuação do plantio (CEDDIA et al., 1999).

Esse preparo intensificado do solo para o cultivo da cana, segundo Cerri et al. (1991) causa modificação na estrutura do solo, afetando a aeração, a retenção de água e

consequentemente a disponibilidade de água para as plantas, causando com isso redução de produtividade da lavoura. Este declínio na produção também foi constatado por Dias (2001), quando testou alguns métodos de preparo de solo e percebeu que a diminuição das técnicas de preparo resultou no aumento da produtividade.

Na cultura de cana-de-açúcar as operações de preparo de solo constituem um dos principais fatores para a boa produção, pois seus efeitos na estrutura podem refletir por todo o ciclo da cultura, podendo atingir, normalmente, mais de 5 anos. Segundo Freitas (1987), a utilização inadequada de máquinas e equipamentos agrícolas, aliados ao tráfego, vem intensificando os problemas de compactação, principalmente em solos argilosos, mostrando que a mesma operação pode provocar impactos maiores em solos com altos teores de argila.

Conforme constatou Fernandes (1979), o tráfego atua também como importante agente compactador, com efeitos importantes de queda de rendimento da cultura de cana-de-açúcar. Cerri, Feller e Chauvel (1991) estudaram as modificações nas propriedades de um Latossolo após desmatamento e cultivo contínuo de cana-de-açúcar. A comparação entre solos cultivados e aqueles sob vegetação nativa mostrou que as modificações na estrutura afetaram principalmente a camada superficial do perfil cultivado, provocando o desenvolvimento de estrutura e porosidades diferenciadas, em virtude da fragmentação e compactação dos horizontes superficiais e que poros de diâmetros entre 3 e 30 micrômetros, com formato policôncavo e comunicante no solo nativo tornaram-se planares e descontínuos após o cultivo.

Segundo Bianchini et al. (2001), as características químicas e físicas do solo podem ser melhoradas por meio do manejo adequado do solo e da cultura da cana-de-açúcar envolvendo a utilização de sistemas conservacionistas. Os diferentes implementos disponíveis para o preparo do solo provocam alterações nas suas propriedades químicas, físicas e biológicas.

Lembrando que cada implemento trabalha o solo de maneira própria e altera o solo de forma diferenciada, e segundo Dedeczek et al. (2007), a atividade de preparo do solo varia de acordo com as características dos solos, clima, finalidade, plantas daninhas, impedimentos físicos e resíduos vegetais.

Segundo Boller (2001), ao mobilizar uma camada de solo, os principais efeitos da aração podem ser resumidos em: descompactação do solo, com o conseqüente aumento do volume de poros, mistura de componentes minerais e orgânicos do solo, controle de plantas daninhas, incorporação de restos de culturas, adubos verdes, corretivos como, calcário, gesso e fertilizantes, permitindo a obtenção de um leito de semeadura e plantio, através de operações complementares denominadas preparo secundário.

Entre os diferentes equipamentos de preparo do solo utilizados na cultura da cana-de-açúcar destaca-se os arados de disco, que executam o corte, elevação e inversão da leiva, esta última facilitada pela rotação dos discos, que promove a maior desagregação do solo e os arados de aiveca, que em função dos órgãos ativos fixos, possuem facilidades de penetrar no solo em maiores profundidades, executando melhor inversão da camada arada, promovendo uma melhor incorporação de restos vegetais e das sementes de plantas invasoras, permitindo seu melhor controle (CASTRO, 1989).

Equipamentos como arado de discos, aiveca e grade pesada, seguido de gradagens leves, tem como característica principal um revolvimento de toda a área a ser cultivada, na qual o implemento atua com a incorporação total ou quase total do resíduo (LUCARELLI, 1997).

As grades pesadas geralmente trabalham em profundidades ainda menores e não conseguem inverter a leiva com a mesma eficiência dos arados. Os resíduos culturais ficam bastante próximos à superfície e misturados ao solo (BALASTREIRE, 1990). A grade pesada apresenta a maior capacidade operacional e, conseqüentemente menor custo por unidade de área, sendo amplamente utilizado na maioria das unidades sucroalcooleiras, em relação aos outros implementos de preparo de solo.

O arado escarificador é semelhante a um subsolador, mas trabalha em profundidades menores, exigindo menor esforço tratorio para execução das operações agrícolas, utilizado na operação de preparo de solo na cultura da cana-de-açúcar, sendo composto por uma barra porta ferramentas e hastes de formato variável, que rompe a estrutura do solo, desagregando sua camada superficial em menor intensidade que os arados, ocasionando menor revolvimento do solo e portanto, menor incorporação de resíduos (FIGUEIREDO; MAGALHÃES, 1992).

A escarificação é uma das alternativas recomendadas para reduzir a compactação dos solos. Outra alternativa refere-se ao uso de plantas que apresenta sistema radicular profundo e agressivo capaz de crescer em camadas de solo compactado. Para as condições de solos arenosos não há um sistema que tenha sua eficiência comprovada (CUBILLA et al., 2003).

Nos sistemas de preparo reduzidos, como o escarificador, promovem o arrasto de hastes que cortam o solo quebrando superficialmente a sua estrutura, sem revolvê-lo intensamente, procurando não destruir os agregados e deixando maior quantidade de resíduo na superfície do terreno (LUCARELLI, 1997).

As técnicas de preparo do solo devem ser utilizadas corretamente, pois afetam diretamente a densidade, a porosidade e o armazenamento de água ao longo do perfil do solo, interferindo no desenvolvimento e produtividade das culturas (STONE ; MOREIRA, 2000).

Demaria et al. (1999) afirmam que o constante revolvimento do solo pelo preparo do solo e a incorporação de resíduos culturais, modificam a CTC, teores de matéria orgânica, pH, dinâmica de íons e implicam na agregação de partículas do solo. Tais modificações são mais evidenciadas quando se aumenta o tempo de uso da área.

Paulino et al. (2004) constataram que a escarificação a 0,15 m de profundidade proporcionou maior comprimento de raízes na camada de 0,25 a 0,50 m, mas não houve efeito sobre a produtividade. Porém, um dos problemas na obtenção de dados experimentais de campo com cana-de-açúcar é que o coeficiente de variação é geralmente mais alto que os ensaios de laboratório e, como consequência, diversos trabalhos mostram que não há diferença estatística significativa a 5% de probabilidade entre os tratamentos.

2.3 Gessagem em cana-de-açúcar

A produtividade agrícola da cana-de-açúcar tem apresentado aumentos expressivos no País, mas a produtividade média de 80 t ha⁻¹ ainda é baixa e poderá ser melhorada. Um dos fatores que contribui para essa baixa produtividade é a expansão da cultura em áreas com solos de baixa fertilidade, especialmente no Estado de São Paulo (MELLIS ; QUAGGIO, 2009).

Os solos do Brasil apresentam problemas de acidez subsuperficial, uma vez que a incorporação profunda (>20cm) do calcário nem sempre é possível. Assim, camadas mais profundas do solo (abaixo de 35 ou 40 cm) podem continuar com excesso de alumínio tóxico, mesmo quando tenha sido efetuada uma calagem considerada adequada. Esse problema, aliado à baixa capacidade de retenção de água desses solos, limita a profundidade, principalmente nas regiões onde é freqüente a ocorrência de veranicos.

As limitações dos solos do Brasil com relação à acidez vão além da camada arável, atingindo as camadas subsuperficiais, onde a toxidez e a baixa disponibilidade de cálcio são os principais fatores que impedem a maximização das produções, por limitar o desenvolvimento radicular e, consequentemente, a utilização de água e de nutrientes em profundidade (SILVA et al., 1998).

De acordo com Oliveira et al. (2007), recomenda-se aplicar gesso, quando for verificado teores de Ca⁺² menores que 0,4 cmol_c dm⁻³ e/ou saturação por alumínio maior que 20%, na camada de 20 a 40 cm.

No Estado de São Paulo a gessagem é recomendada quando a saturação por Al³⁺ na CTC efetiva, na camada 20 - 40 cm, encontrar-se superior a 40% e/ou o teor de Ca²⁺ for

inferior a $4 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (QUAGGIO ; RAIJ, 1996). De acordo com Quaggio (2000), para fins práticos, o melhor índice para avaliação da toxidez de alumínio é a saturação na CTC efetiva (m), cujos valores superiores a 20% são para espécies sensíveis, e acima de 30% para as espécies mais tolerantes, provocam redução do crescimento das raízes. Portanto, nesses casos, é recomendável a aplicação de gesso agrícola.

O cálcio é um dos atributos químicos do solo de suma importância para o desenvolvimento e incrementos de produtividades em cana-de-açúcar. A baixa saturação de cálcio e de outras bases em profundidade, bloqueia o desenvolvimento do sistema radicular (MORELLI et al. 1992). A ação corretiva do calcário está restrito a superfície do solo como descritos por Rodrigues e Palhares (1986) e por Morelli et al. (1987). Experimento realizado por Ritchey et al. (1983), no Brasil Central demonstrou que o sistema radicular das culturas tende a se aprofundar no solo se houver disponibilidade de bases, principalmente de cálcio. Morelli et al. (1987) observaram que o uso de gesso propiciou um aumento no nível de Ca^{2+} em profundidade. Em consequência disso houve um aumento de 100% no peso das raízes encontradas na faixa de 25-50 cm e 300% na camada de 50-70 cm, quando comparado com o tratamento que recebeu somente calcário.

Trabalho conduzido por Morelli et al. (1992), mostraram que a aplicação de doses combinadas de calcário e gesso em solo cultivado com cana-de-açúcar, resultou em aumentos de produção da ordem de 18 t ha^{-1} em cana planta. Os dados de produção indicaram que ao longo de quatro cortes, as melhores produções obtidas foram com a associação calcário/gesso devido ao reflexo das melhores condições químicas do solo em subsuperfície.

Em solo arenoso distrófico de Ribeirão Preto-SP, a aplicação de gesso ($1,0 \text{ t ha}^{-1}$) em soqueira de cana aumentou a produtividade em 10 t ha^{-1} (média de 3 cortes, bem como o valor da saturação por bases (V%) em profundidade (DEMATTE, 1986).

Morelli et al. (1987) estudaram a aplicação de calcário e gesso no plantio de cana (SP 70-1143), em solo de baixa fertilidade, Latossolo Vermelho-Escuro distrófico, com teor de argila entre 15 – 20% ($\text{CTC} = 30 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$) observaram que as maiores produções do 1º ao 4º corte foram obtidas nos tratamentos com doses de $4,0 \text{ t ha}^{-1}$ de calcário e $2,0 \text{ t ha}^{-1}$ de gesso.

Medina e Brinholi (1998), estudando os efeitos da aplicação de gesso e calcário no comprimento e diâmetro médio dos colmos, no número de colmos e na produção de cana-de-açúcar, constataram que os maiores incrementos de produção foram obtidos com a associação calcário/gesso. Nesta pesquisa, os resultados mostram, ainda, que as menores produtividades foram obtidas quando se fez uso isolado do gesso. Esse efeito negativo do uso isolado do

gesso agrícola na produção das culturas, certamente está relacionado com a perda de cátions das camadas superficiais que acompanham o sulfato do gesso em seu movimento descendente ao longo do perfil do solo.

Saldanha (2005) em trabalho desenvolvido com cana-de-açúcar variedade SP784764 e 5 doses de gesso, que variou entre 1,1 a 6,9 t ha⁻¹. A dose 1,1 t ha⁻¹ resultou em produtividade média de 15,4 TCH, enquanto a dose máxima produziu 22,9 TCH, indicando que a cana-de-açúcar, responde em aumentos de produtividade com o uso do gesso mineral.

2.4 Comportamento do preparo do solo em alguns atributos físicos do solo

O cultivo da cana-de-açúcar envolve o uso de máquinas agrícolas em todas as etapas, desde o preparo do solo até a colheita. Este tráfego de equipamentos pesados sobre o solo se usado de forma errada pode levar à compactação do perfil, com consequentes efeitos negativos sobre o solo e planta, como aumento da densidade e diminuição do sistema poroso do solo, com isso leva a redução da infiltração da água, aeração e absorção de nutrientes, com menor desenvolvimento de raízes e produtividade da cultura.

Qualquer atividade sobre a superfície do solo altera o sistema poroso e, em consequência, o sistema radicular, influenciando direta ou indiretamente numa série de reações na relação solo-planta-atmosfera e, com isso, reduzindo a produtividade e longevidade da cultura. Dentre as grandes culturas, a cana é seguramente a que mais apresenta operações mecanizadas sobre a superfície do solo, numa faixa de 30 operações num ciclo de cinco cortes, realizadas nas mais diversas condições de umidade.

A modernização da agricultura e a utilização mais intensa de máquinas agrícolas vêm provocando mudanças nos atributos físicos do solo. Diversas pesquisas, realizadas em várias regiões do país, revelam que estão ocorrendo alterações significativas nas condições físicas de alguns solos, em virtude do tráfego contínuo de máquinas pesadas e do uso freqüente de equipamentos agrícolas em dias em que os níveis de água do solo são muito elevados (JORGE, 1983). Essas alterações referem-se ao decréscimo da porosidade, principalmente a macroporosidade ou porosidade de aeração, e da permeabilidade, pelo aumento da compactação em relação às condições originais. Essas alterações, dependendo da intensidade, podem afetar o crescimento do sistema radicular das culturas, com reflexos negativos no rendimento das colheitas (FERNANDES ; GALLOWAY, 1987).

De acordo com Magalhães (1990) a cana-de-açúcar é a cultura cujo solo está sujeito aos mais severos índices de compactação, pelos meios de transportes que transitam com 25

toneladas de carga, em média, nas áreas de cultivo, com compressão média de 490 a 539 kPa, provocando compactação a uma profundidade de 35 a 40 cm, onde estão concentradas 70 a 80 % das raízes da cana planta ou das soqueiras.

Com a adoção do sistema mecanizado de colheita de cana-de-açúcar, utilizando-se colhedoras autopropelidas, o tráfego de máquinas e implementos torna-se intenso e somando ao uso inadequado de máquinas, veículos e equipamentos mais pesados, os seus efeitos podem serem observados ao longo de todo seu ciclo, abrangendo mais de cinco anos, conforme citação de Freitas (1987).

Conhecer os atributos físicos de um solo é extremamente importante para poder manejá-lo corretamente e usá-lo com eficiência, mas, para isso é preciso buscar na agricultura moderna o desenvolvimento sustentável, que objetiva uma produtividade econômica sem degradar o ambiente. Uma exploração agrícola sustentável requer, entre outros fatores, a manutenção e/ou melhoria da qualidade do solo, porém, a intensificação da exploração agrícola aliada ao uso e ao manejo inadequado do solo tem provocado modificações negativas nas propriedades físicas do solo (SOUZA et al., 2004).

Segundo Gupta et al. (1989), a pressão externa sobre o solo imposta por veículos e implementos agrícolas nas atividades de cultivo tem sido enfatizada na literatura como a principal causa da compactação do solo.

O solo, quando submetido a cultivos intensivos, tende a perder a estrutura original, pelo fracionamento dos agregados maiores em unidades menores, tendo, como consequência, diminuição de macroporos e aumento de microporos e da densidade (CARPENEDO ; MIELNICZUK, 1990). O comportamento do solo em relação à porosidade é resultado de diversos fatores inter-relacionados, como, por exemplo, a mobilização mecânica dos implementos agrícolas de preparo periódico, que exercem pressão sobre o solo, provocando alterações nas suas propriedades físicas, como a redução da porosidade total (WU et al., 1995).

Em trabalho desenvolvido por Pierce et al. (1992) foram verificados os efeitos dos modos de preparo do solo em atributos físicos, de um solo franco-arenoso e constataram a redução da densidade após a escarificação, a uma profundidade de 0,35 m. Efeitos residuais na densidade e porosidade do solo foram observados dois anos após ter sido desenvolvido o estudo.

O cultivo contínuo e o preparo do solo para o plantio provocam diversas alterações nas suas propriedades físicas, resultando na degradação da estrutura do solo. A velocidade dessa degradação pode ser acelerada pelo uso intensivo do solo, sendo comum a presença de

camada compactada em subsuperfície ou ocorrência de crostas superficiais (CERRI et al., 1991).

As modificações importantes ocorridas em solos que sofreram compactação dizem respeito ao aumento da resistência mecânica à penetração radicular, à redução da aeração (PEREZ FILHO et al., 1993), a alterações na disponibilidade e fluxo de água, calor e nutrientes. Em determinado tempo e local, um desses fatores pode tornar-se importante para o desenvolvimento das plantas, dependendo do tipo de solo, condição climática, espécie e estágio de desenvolvimento da planta (FARIAS et al., 1985).

Vários trabalhos mostram que o manejo inadequado e o tempo de cultivo contínuo afetam a porosidade do solo e, em particular, a sua macroporosidade. Silva e Ribeiro (1992), estudando o efeito de vários anos de cultivo convencional com cana-de-açúcar, verificaram que, nos solos com maior tempo de cultivo, a porosidade diminuía e, com maior evidência, a macroporosidade. A condutividade hidráulica saturada também sofre alterações expressivas com o cultivo contínuo, pois estão intimamente associados com o volume dos poros, especialmente os chamados macroporos ou poros não capilares, responsáveis pela drenagem, percolação e aeração do solo (CORREIA, 1985).

Um dos atributos que mais interferem no desenvolvimento radicular da cana-de-açúcar é a densidade do solo. A densidade pode apresentar aumento de valores devido à compactação resultante de pressões exercidas pelo tráfego de máquinas, veículos, implementos e animais. O aumento na densidade do solo ocorre simultaneamente à redução da macroporosidade, redução da aeração, redução da condutividade hidráulica e gasosa e aumento da resistência à penetração. Sendo que todas essas alterações interferem, direta ou indiretamente, no desenvolvimento radicular da cultura (VASCONCELOS, 2005).

O aumento do conteúdo volumétrico de sólidos traduz-se em aumento da densidade do solo e drástica redução na macroporosidade, na quantidade de água prontamente disponível à planta, e na aeração (ALVARENGA et al., 1996). Essas alterações, além de favorecerem a formação de ambiente redutor, com possibilidade de profundas alterações químicas, comprometem a infiltração de água e a penetração das raízes, tornando os solos mais suscetíveis à erosão (PRIMAVESI, 1990).

A umidade do solo e os outros atributos como porosidade, aeração e resistência mecânica do solo à penetração, estão interligados quanto à influência sobre o crescimento radicular. Pouco adianta um teor de água no solo ser satisfatório se houver baixa aeração e alta resistência à penetração. A umidade diminui a resistência à penetração se comparada à condição de solo seco. Mas um solo compactado, mesmo estando úmido, tem elevada

resistência à penetração. Principalmente se existir camada de impedimento do crescimento para camadas mais profundas, em períodos de seca, a planta estará mais sujeita ao estresse hídrico (VASCONCELOS, 2005).

Segundo a USDA (1975) a resistência do solo à penetração pode ser classificada em sete faixas: extremamente baixa: $<0,01$ MPa; muito baixa: $0,01 - 0,1$ MPa; baixa: $0,1 - 1$ MPa; moderada: $1 - 2$ MPa; alta: $2 - 4$ MPa; muito alta: $4 - 8$ MPa; extremamente alta: > 8 MPa. De acordo com Arshad et al. (1996), a resistência à penetração é aumentada com a compactação do solo, restringindo o crescimento radicular acima de valores variáveis entre $2,0$ a $4,0$ MPa, Dexter (1987) afirmou que a compactação do solo é mais prejudicial em solo seco, que em condições de maior conteúdo de água pode haver crescimento radicular com valores de resistência do solo à penetração superiores a $4,0$ MPa.

2.5 Comportamento do gesso em alguns atributos químicos do solo

O gesso agrícola, um subproduto da indústria de ácido fosfórico que contém principalmente sulfato de cálcio e pequenas concentrações de fósforo e flúor, sendo largamente disponível em muitas partes do mundo. Somente no Brasil, cerca de 3,3 milhões de toneladas são produzidos anualmente (CAIRES et al., 2003), e a eficiência do gesso na melhoria dos efeitos da acidez no subsolo tem sido demonstrada em vários trabalhos.

Pensando na produtividade agrícola, faz-se necessária a determinação da acidez do solo com a devida correção para o bom desempenho da cultura, pois segundo Quaggio, (2000), o solo ácido é essencialmente fraco em razão da pouca quantidade de cálcio, magnésio, potássio e sódio. Sendo assim, solos ácidos podem apresentar uma barreira química no subsolo, que impede ou dificulta o crescimento das raízes. Nesses casos, em diversos tipos de solos, mas não em todos, o gesso pode estimular o enraizamento profundo no subsolo. Essa ação ocorre pelo aumento dos teores de cálcio, redução da saturação por alumínio e, em alguns casos, pode haver redução da acidez do subsolo. Isso porque o gesso, por ser um sal solúvel em água, penetra no subsolo. Além disso, o aprofundamento radicular promovido pelo gesso favorece a absorção de água de camadas mais profundas do solo, conferindo às culturas maior resistência à seca em verânicos (RAIJ, 2008)

As limitações dos solos do Brasil com relação à acidez vão além da camada arável, atingindo as camadas subsuperficiais, onde a toxidez e a baixa disponibilidade de cálcio são os principais fatores que impedem a maximização das produções, por limitar o

desenvolvimento radicular e, conseqüentemente, a utilização de água e de nutrientes em profundidade (SILVA et al., 1998).

O gesso agrícola ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), por outro lado, tem sido utilizado em solos ácidos como um produto complementar ao calcário, com o objetivo de diminuir a toxicidade do Al e aumentar a concentração de Ca em profundidade (BRAGA et al., 1995; ERNANI, 1986; Silva et al., 1998). A grande mobilidade vertical de cátions ocasionada pelo gesso, deve-se a maior solubilidade desse produto em relação aos calcários, pela inalteração das cargas elétricas, e à permanência do ânion sulfato quase que totalmente na solução do solo (ERNANI, 1986; DIAS et al., 1994). Sendo que, o comportamento do gesso no solo envolve a dissociação nos íons Ca^{2+} , SO_4^{2-} e o próprio CaSO_4^0 . Os íons Ca^{2+} , SO_4^{2-} irão participar de troca catiônica e aniônica respectivamente, enquanto que o CaSO_4^0 , segundo Pavan et al. (1982) é móvel no perfil do solo, contribuindo para o movimento de complexos químicos solúveis neutros (CaSO_4^0 , MgSO_4^0 , K_2SO_4^0 , para o subsolo).

Segundo Saldanha, (2005) o gesso agrícola ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), vem sendo utilizado como um agente promotor de melhoria das condições químicas de subsolo ácidos. Ao solubilizar-se, o gesso libera cálcio trocável (Ca^{2+}) e sulfato (SO_4^{2-}) para a solução do solo e dependendo da quantidade água e da dose aplicada, os cátions trocáveis Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ movem-se em profundidade no solo, acompanhado o ânion SO_4^{2-} . Dados de Dal Bó et al. (1986) e Bruce et al. (1988) revelam que a movimentação de cálcio para subsolos deficientes no nutriente favorecem o crescimento radicular em profundidade, propiciando, conseqüentemente, maior exploração do volume do solo favorecendo a absorção de água e nutrientes pelas plantas.

Nos solos tropicais, principalmente naqueles sob vegetação de cerrado, a deficiência de cálcio, associada, ou não à toxidez de alumínio é uma constante, ocorrendo tanto na camada arável, mas também abaixo desta. Tal fato é de extrema importância, pois estas características interferem na absorção e transporte de nutrientes, como P, Ca, Mg e K, contribuindo ademais para a fixação de P no solo (OLMOS ; CAMARGO, 1976).

O gesso, por apresentar característica de mobilidade, quando aplicado na superfície do solo movimenta-se ao longo do perfil sob influência da umidade, como consequência, obtêm-se aumento no suprimento de cálcio e enxofre reduzindo a toxicidade ocasionada por alumínio no subsolo. Os efeitos positivos do gesso agrícola observado nas mais variadas condições de solo e clima são indicativos de que seu emprego pode constituir como boa alternativa para a melhoria do ambiente radicular em camadas subsuperficiais dos solos (SUMNER, 1995).

No entanto, a distribuição de gesso em solos tem se mostrado uma prática eficiente no manejo ou recuperação da fertilidade do solo, como redução dos teores de alumínio,

manganês (ILLERA et al., 2004), na redução da acidez em profundidade (QUAGGIO, 2000 ; FARINA et al., 2000), no fornecimento de cálcio em profundidade (QUAGGIO, 2000; FARINA et al., 2000; OLIVEIRA ; PAVAN, 1996), no fornecimento de cálcio e enxofre (CAIRES, 2004).

A aplicação de gesso na superfície seguida por lixiviação para subsolos ácidos resulta em melhor crescimento radicular, maior absorção de água e nutrientes pelas raízes das plantas (CARVALHO ; RAIJ, 1997). Dessa maneira, o gesso agrícola tem sido utilizado em solos ácidos como um produto complementar ao calcário (MALUF et al. 2009).

Vários autores observaram a eficiência do gesso quando associado à distribuição de calcário. Soratto e Crusciol (2008) verificaram a redução nos teores de alumínio e aumento nos teores de cálcio trocável em todo perfil do solo.

A movimentação de bases no solo é influenciada por vários fatores, tais como: tipo e dose do corretivo e aditivo, tempo de reação, precipitação, características físicas do solo, capacidade tampão e presença de anions e da modalidade do sistema de preparo de solo (SANTOS et al., 2010).

Diversos trabalhos referentes à distribuição do gesso verificaram a alta lixiviação de potássio e magnésio, contudo os principais problemas constatados foram referentes a lixiviação do magnésio trocável (CAIRES et al., 2004).

O sulfato do gesso agrícola é lixiviado para as camadas subsuperficiais do solo levando consigo potássio, cálcio, magnésio e alguns micronutrientes. Em solos pobres, como os do cerrado, esta propriedade do gesso tem sido aproveitada para melhorar o desenvolvimento do sistema radicular das culturas, com o quimiotactismo positivo das raízes das plantas (crescimento das raízes em direção aos nutrientes minerais), favorecem o aproveitamento de água e nutrientes em maior volume de terra (EMBRAPA, 1998).

Morelli et al. (1987), estudando o efeito do gesso num solo arenoso álico cultivado com cana, encontraram correlação positiva entre teor de Ca e desenvolvimento radicular, com distribuição do Ca e das raízes até 150 cm de profundidade.

Para fazer com que o cálcio seja conduzido para essas camadas mais profundas é recomendada a aplicação de gesso em razão de sua maior solubilidade. Entretanto as evidências experimentais são contraditórias. Enquanto alguns trabalhos evidenciaram resultados satisfatórios com a utilização de gesso em mistura com o calcário, obtendo produtividades ideais com as culturas testadas (MORELLI et al., 1992), outras pesquisas experimentais deixaram de mostrar essas mesmas evidências (DAL BÓ et al., 1986).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área experimental

3.1.1 Localização

O experimento com cana-de-açúcar, variedade RB92-5345, foi implantado e conduzido entre maio de 2008 e junho de 2011, em área comercial da Usina Vale do Paraná, no município de Nova Canaã Paulista – SP, pertencente à microrregião de Jales, localizada nas coordenadas geográficas, de Latitude 20° 23' Sul e Longitude 50° 56' Oeste, com altitude média de 365 m.

O trabalho compreendeu a colheita de dois anos, que ocorreram respectivamente: cana planta em 07/10/09 e 1ª cana soca em 15/06/2011. No ano de 2010 não foi realizada a colheita devido à baixa precipitação pluvial após a colheita da cana planta, conforme Figura 1. Diante disso, optou-se por deixar a cana bisar e colher em 2011.

3.1.2 Solo e histórico da área

A implantação da cana-de-açúcar foi realizada em área de expansão ocupada com pastagem de *Brachiária decumbens* há mais de quinze anos.

O solo⁽¹⁾ foi classificado conforme Embrapa (2006) como ARGISSOLO VERMELHO Distrófico abruptico textura arenosa/média, A moderado, mesodistrófico, muito profundo, moderadamente ácido, conforme análise física da Tabela 1.

⁽¹⁾ CARVALHO, M. P. Comunicação pessoal. 2008. (Depto. de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos – Faculdade de Engenharia-UNESP, Campus de Ilha Solteira, São Paulo, Brasil).

Tabela 1 - Caracterização granulométrica do solo da área na implantação do experimento, Nova Canãa Paulista (SP), 2008.

Profundidade m	Cor	Composição granulométrica			Relação silte/argila	Análise química		
	Seco	areia	silte	argila		pH		
		----- g kg ⁻¹ -----			-	CaCl ₂	KCl	H ₂ O
0 - 0,20	2,5YR 3/4	849	64	88	0,727	5,5	5,3	5,9
0,20 - 0,40	2,5YR 3/4	832	61	106	0,575	5,0	4,9	5,7
0,80 - 1,00	2,5YR 3/6	741	57	202	0,282	5,2	5,1	5,8
1,00 - 1,20	2,5YR3/6	750	55	195	0,282	5,2	5,1	5,8

Os resultados da análise química do solo da área experimental foram determinados antes da instalação do experimento, a amostragem foi realizada em 20 pontos, sendo determinadas segundo metodologia proposta por Raij et al. (1983), e encontram-se na Tabela 2.

Tabela 2 - Caracterização química do solo da área na implantação do experimento, Nova Canãa Paulista (SP), 2008.

Profundidade m	Análise Química												
	P (*)	pH (**)	MO	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	H ⁺ +Al ⁺³	Al ⁺³	SB	CTC	S-SO ₄ ⁻²	V	m
	mg dm ⁻³	-	g dm ⁻³	-----mmol _c dm ⁻³ -----								%	%
0,00 - 0,15	3	5,2	15	2,5	7	6	19	0,0	15,5	34,5	2	45	0
0,15 - 0,30	4	4,8	13	2,2	10	6	20	2	18,2	38,2	2	48	11
0,30 - 0,45	3	5,0	11	1,4	6	4	33	11	11,4	44,4	0	26	49

Análise química realizada no Laboratório de Fertilidade do Solo UNESP/FE. (*) Resina, (**) CaCl₂

Os resultados das análises físicas do solo, macroporosidade, microporosidade, porosidade total, densidade do solo e umidade gravimétrica (UG) foram determinadas segundo metodologia proposta por Embrapa (1997), enquanto a resistência mecânica do solo à penetração (RMSP) foi medida utilizando penetrógrafo tipo Penetrographer PATSC-60. A amostragem e suas respectivas determinações foram efetuadas em 20 pontos, Tabela 3.

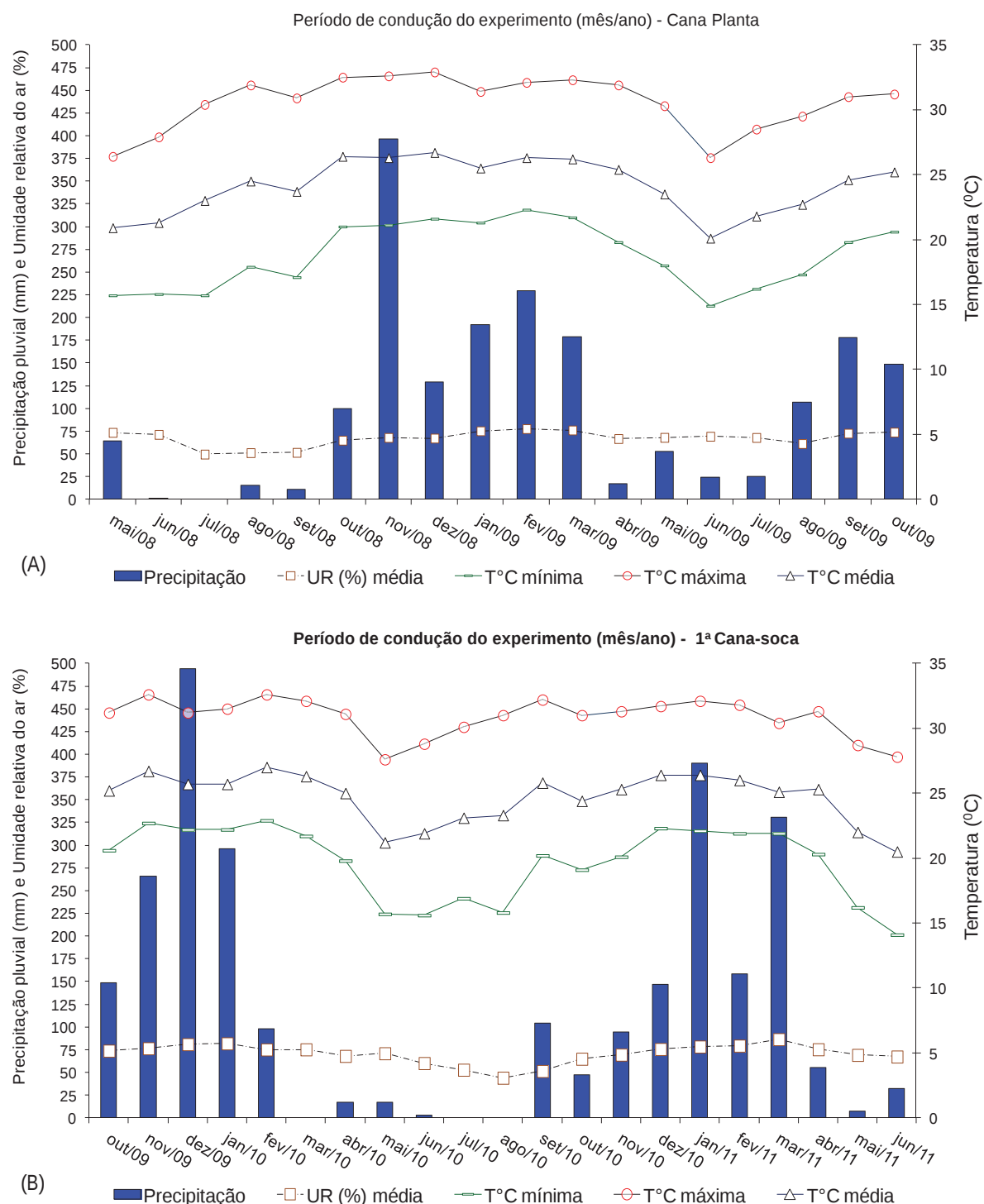
Tabela 3 - Caracterização física do solo da área antes da implantação do experimento, Nova Canãa Paulista (SP), 2008.

Profundidade	Macro	Micro	Porosidade total	Densidade	RMSP	UG
	-----	$\text{m}^3 \text{m}^{-3}$	-----	kg dm^{-3}	MPa	$\text{m}^3 \text{m}^{-3}$
0,0 - 0,15 m	0,110	0,269	0,379	1,508	1,966	0,123
0,15 - 0,30 m	0,103	0,275	0,378	1,550	2,145	0,137
0,30 - 0,45 m	0,106	0,268	0,374	1,510	2,023	0,119

RMSP – Resistência Mecânica do Solo à Penetração, UG – Umidade Gravimétrica

A classificação climática da região de acordo com Köppen o clima da região é do tipo Aw, definido como tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno. Os valores de precipitação pluvial (mm), umidade relativa do ar (%) e temperaturas ($^{\circ}\text{C}$) máxima, média e mínima da área de cultivo durante a condução do experimento da cana planta (safra 2008/2009) e com 1ª cana soca (safra 2009/2011) constam na Figura 1 (A, B). Verifica-se que foram registradas precipitações pluviais acima da média entre os meses de junho a dezembro de 2009 para a Região Noroeste Paulista, quando compara-se os mesmos períodos dos anos de 2008 e 2010, coincidindo com o período de colheita da cana planta (07/10/2009). No entanto, foi constatado um período de seca prolongada entre os meses de março a agosto de 2010.

Figura 1. Valores de precipitação pluvial (mm) mensal, umidade relativa do ar (%) mensal, temperaturas ($^{\circ}\text{C}$) máxima, média e mínima mensais durante a condução do experimento com cana planta **(A)**, safra 2008/09 e 1^a cana soca **(B)**, safra 2009/11, Fazenda N^{Sa}. Aparecida, Nova Canaã Paulista – SP.



* Fonte: Estação Agrometeorológica da Usina Vale do Paraná, Açúcar e Alcool S/A, localizada no município de Suzanópolis – SP, situada a uma distância de aproximadamente 18 km da área experimental.

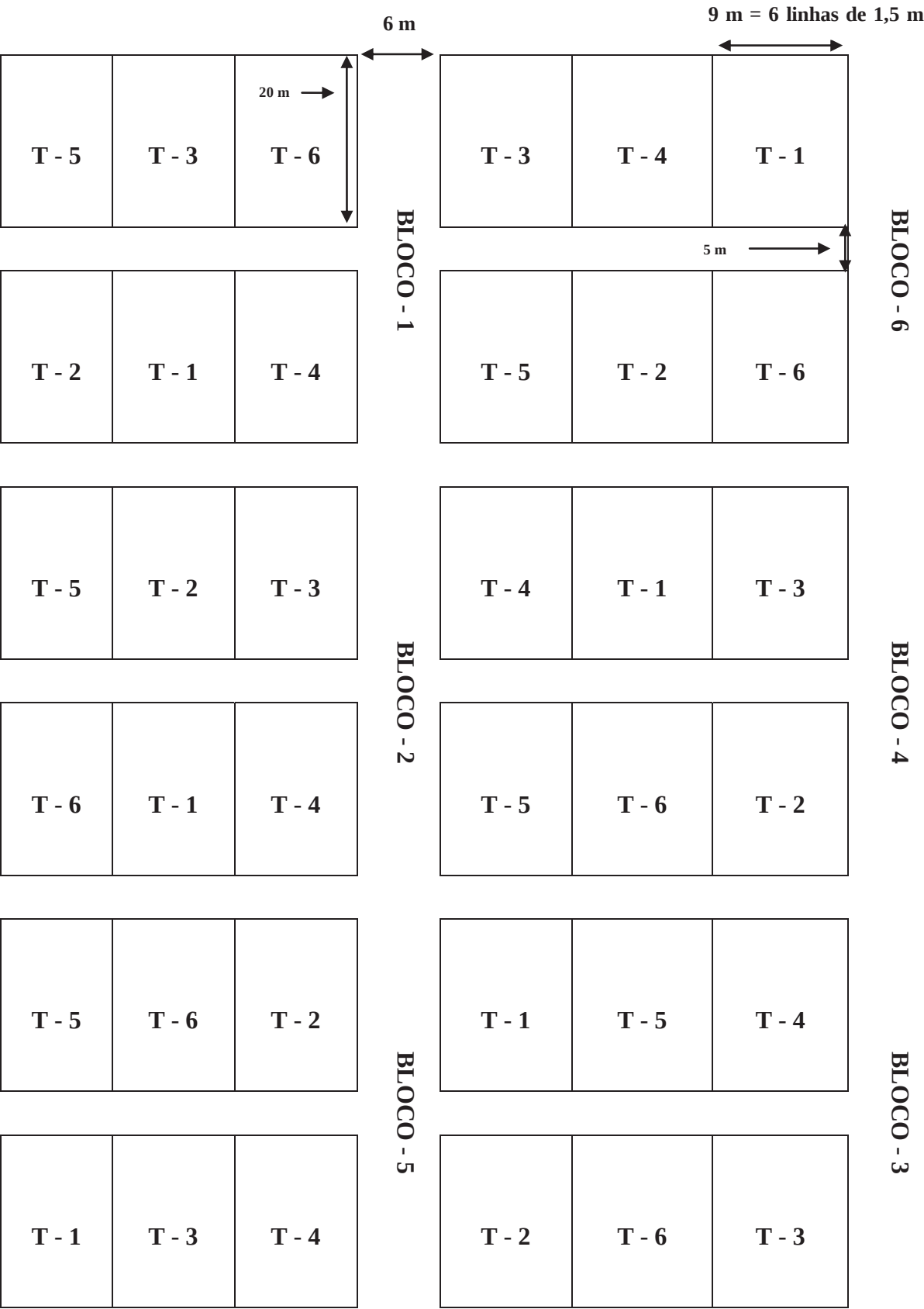
3.1.3 Delineamento experimental e tratamentos utilizados

Foi intitulado o mesmo delineamento experimental para cana planta e 1ª cana soca, de blocos ao acaso, em um esquema fatorial 3 x 2, com 6 blocos (repetições), compostos por três modalidades (equipamentos) de preparo do solo, com e sem uso de gesso.

Os tratamentos foram distribuídos de forma aleatória dentro de cada um dos seis blocos, totalizando 36 parcelas da área experimental. Para o tratamento de gesso (com e sem) realizou-se a aplicação de gesso sobre as parcelas dos tratamentos de preparo, sendo que, estas parcelas receberam a dose 1000 kg ha⁻¹ de gesso e as demais não receberam aplicação desse insumo. Sendo assim, os tratamentos resultaram nas seguintes combinações, a seguir: **Tratamento 1**–Aiveca; **Tratamento 2**–Escarificador; **Tratamento 3**–Grade pesada; **Tratamento 4**–Aiveca + Gesso; **Tratamento 5**–Escarificador + Gesso; **Tratamento 6**–Grade pesada + Gesso.

Na Figura 2 está representado o esquema de como os tratamentos citados estão distribuídos na área experimental.

Figura 2. Esquema da área experimental.



Fonte: Lima (2012)

3.1.4 Características da cana-de-açúcar

A variedade de cana-de-açúcar utilizada foi a RB92-5345, por apresentar ciclo precoce e ser considerada como uma das variedades plantadas no Estado de São Paulo. Apresenta boa brotação de soqueira, mesmo colhida crua; fechamento bom, tombamento frequente, crescimento rápido com alta produtividade e alto teor de sacarose, período de utilização industrial (PUI) curto (HOFFMANN, 2008). Além disso a RB92-5345 tem perfilhamento médio, florescimento frequente e médio chochamento, difícil despalha, alto teor de fibra no início da safra e colheita maio-julho, maturação precoce, diâmetro de colmo médio, e de cor roxo-amarelado quando expostos aos sol, com cera, e gema ovalada. Demonstra resistência ao mosaico, escaldadura-das-folhas, reação intermediária de estrias vermelhas, falsas estrias vermelhas, carvão e ferrugem. Plantar em ambientes favoráveis, devido ao seu comportamento em relação ao carvão (PROGRAMA, 2008). Foi observada baixa incidência de carvão na safra 2008/09 e elevada incidência na safra 2009/11, em todos os tratamentos.

3.2 Instalação do experimento

3.2.1 Máquinas e implementos

No Quadro 1, estão relacionadas as máquinas e implementos utilizados nas operações de preparo, plantio, condução e colheita, tanto para cana planta, como para 1ª cana soca do presente experimento.

Quadro 1 - Máquinas e implementos utilizados no experimento, cana planta e 1ª cana soca.

Operação	Trator	Equipamento
Pulverizações para dessecação e controle de plantas daninhas	Trator de pneu, modelo MF 292, tração 4x2 TDA e potência máxima de 67,67 kW no motor.	Pulverizador modelo Herbiplus G1, barra de 13,5m de largura, provida de 9 pontas do tipo jato plano, espaçadas entre si por 0,50m e tanque com capacidade de 900 L de calda
Gradagem média	Trator de pneu, modelo MF 680, com tração 4x2 TDA, e potência máxima de 127,24 kW no motor.	Grade média com 32 discos recortados de 26”, massa por disco de 99,5 kg.
Calagem e Gessagem	Trator de pneu, modelo MF 283, tração 4x2 TDA, e potência máxima de 62,52 kW no motor.	Carreta distribuidora marca DCA – Matão Equipamentos, modelo DCA 2500-50.
Escarificação	Trator de pneu, modelo MF 680, com tração 4x2 TDA e potência máxima de 127,24 kW no motor.	Escarificador montado no engate de 3 pontos, de 5 hastes do tipo parabólica com ponteiras sem asas de 70 mm, espaçadas em 400 mm.
Gradagem pesada	Trator de pneu, modelo MF 680, tração 4x2 TDA e potência máxima de 127,24 kW no motor.	Grade pesada, controle remoto com 16 discos recortados de 32”, massa por disco de 209,5 kg.
Aração	Trator de pneu, MF 680, com tração 4x2 TDA e potência máxima de 127,24 kW no motor.	Arado de 4 aivecas, Ikeda, modelo M.54 L, montado no engate de 3 pontos.
Gradagem leve	Trator de pneu, MF 680, com tração 4x2 TDA e potência máxima de 127,24 kW no motor.	Grade leve, com 42 discos lisos de 20”, massa por disco de 23,0 kg.
Sulcação/Adubação	Trator de pneu, modelo JD 7515, com tração 4x2 TDA e potência máxima de 106,65 kW no motor.	Sulcador/Adubador DMB, Modelo Novo São Francisco de 2 linhas.
Cobrição	Trator de pneu, modelo MF 275, tração 4x2 TDA e potência máxima de 55,16 kW no motor.	Cobridor da marca CIVEMASA, modelo CCC 2 e 4 discos lisos de 18”.
Colheita	Colhedora automotriz Case 7700, com 246 kW de potência máxima no motor, rodado de esteiras e massa aproximada de 18t.	-----
Transporte	Trator de pneu, MF 680, com tração 4x2 TDA e potência máxima de 127,24 kW no motor.	Transbordos de pneus (4) BPAF, capacidade de 8 t.
Adubação de cobertura	Trator de pneu, Valtra, modelo - BH 165, tração 4x2 TDA e potência de 121,36 kW no motor.	Cultivador de duas linha, marca DMB, 2 linhas e aplicação incorporada com haste simples.

Fonte: Lima (2012)

3.2.2 Tratamentos, plantio e tratos culturais

3.2.2.1 Pré-implantação

Inicialmente para implantação da cana-de-açúcar, foi realizada a dessecação da pastagem, no dia 14/05/2008, utilizando os herbicidas Glyphosate 720 g kg⁻¹ i.a na dose de 4,0 L de p.c. ha⁻¹, taxa de aplicação de 160L ha⁻¹.

A caracterização física da área foi realizada no dia 20/05/2008, onde efetuou amostragens utilizando anéis volumétricos para determinação da macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo, e para medir a resistência mecânica do solo à penetração foi utilizado penetrógrafo tipo Penetrographer PATSC-60, e em conjunto foram coletadas amostras deformadas para determinação dos teores químicos e umidade do solo.

No dia 20/05/2008, o solo da área experimental recebeu a aplicação de 2 t ha⁻¹ de calcário dolomítico (302,3 g CaO kg⁻¹, 108,4 g MgO kg⁻¹ e 75% de PRNT) visando obter 70% de saturação por bases, conforme recomendado por Raij et al. (1997) para cultura da cana-de-açúcar.

Em seguida, no dia 25/05/2008, foi realizado a operação com grade leve com propósito de proporcionar o início da adequação do solo, que apresentava irregular e com presença de micro erosões, pela exploração da pecuária por vários, além de melhorar o condicionamento do solo para efetuar os tratamentos de preparo de solo e implantação da cultura da cana-de-açúcar.

3.2.2.2 Tratamento - preparo do solo

O preparo do solo da área experimental foi realizado no dia 03/06/2008, para os tratamentos de preparo do solo com três modalidades, com os equipamentos: arado de aivecas, escarificador e grade pesada, conforme descritos no Quadro 1.

A Tabela 4, apresenta a umidade volumétrica do solo no dia e antes das operações de preparo de solo, nas camadas 0,0 – 0,15; 0,15 – 0,30 e 0,30 – 0,45 m.

Tabela 4- Umidade gravimétrica do solo antes da operação de preparo.

Tratamentos		Aiveca	Escarificador	Grade pesada
Umidade (%)*	0,0 – 0,15 (m)	13,3	12,9	12,6
	0,15 - 0,30 (m)	14,1	13,7	14,5
	0,30 – 0,45 (m)	13,9	13,5	14,1

*Foi realizada no mesmo dia e antes do início dos preparos do solo.

3.2.2.2.1 Avaliação do perfil do preparo do solo

A avaliação do perfil do preparo do solo foi realizado no mesmo dia da instalação do tratamento, (03/06/2008), com abertura ao acaso de 3 trincheiras (perfís) por tratamento com largura de 1,60 m, no sentido transversal ao preparo do solo, a profundidade avaliada foi de acordo com cada tipo de implemento empregado no tratamento, ou seja, até atingir o alcance da área de solo mobilizada pelos órgão ativo de cada implemento.

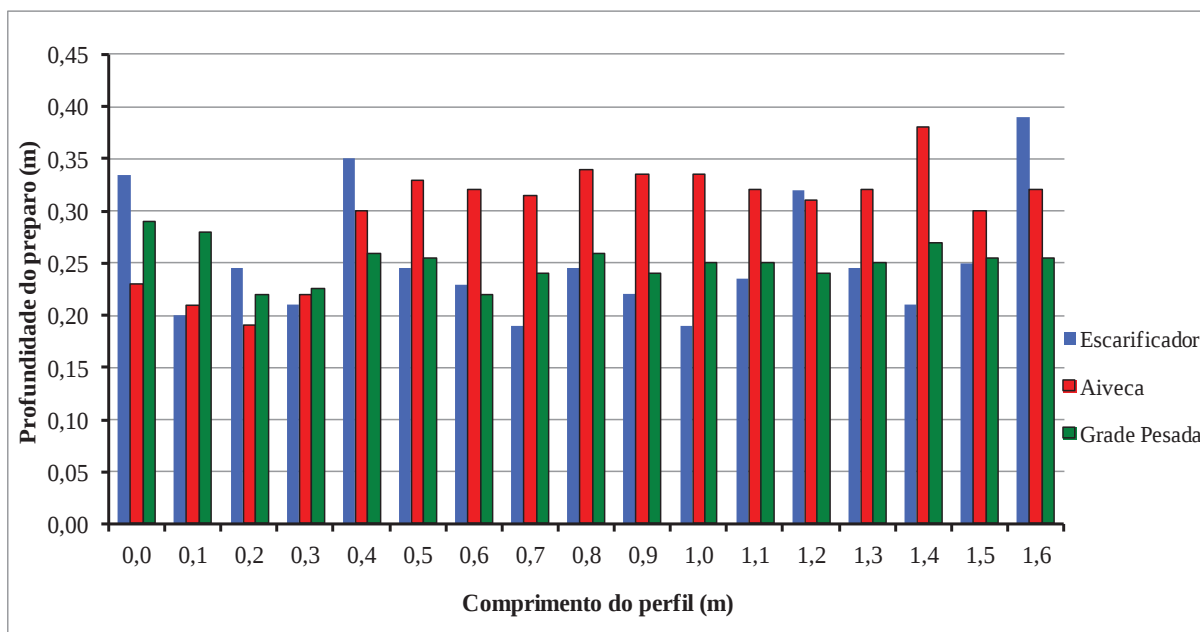
Para fazer o perfil de avaliação foram utilizados os seguintes materiais: enxada, espátula, faca, escova com cerdas de nylon, estacas de madeira para delimitar a extensão do perfil, papel sulfite, prancheta, régua de madeira graduada e trena. Primeiramente removeu o solo mobilizado até identificar a profundidade de ação do equipamento de preparo, caracterizado pelo limite entre o solo revolvido e não revolvido e, em seguida, com a trena e régua de madeira graduada, mediu-se a profundidade a cada 0,10 m de distância conforme mostrado na Figura 3.

O perfil do preparo do solo referente a cada equipamento está ilustrado na Figura 3 e permite a comparação visual e conjunta das modalidades de preparo do solo. Verifica-se a maior uniformidade no perfil de preparo com grade pesada, que apresentou uma profundidade média de 0,25 m e menor variação na amplitude de profundidade, entre 0,22 a 0,29 m.

O preparo com escarificador apresentou uma média de profundidade de 0,26 m e maior amplitude de profundidade de preparo, variando de 0,19 a 0,39 m.

O preparo com arado aiveca apresentou a maior profundidade média 0,30 m e a segunda maior amplitude de preparo, com variação entre 0,19 a 0,38 m.

Figura 3. Perfil da área da seção transversal mobilizada em função das modalidades de preparo de solo, em Argissolo Vermelho para implantação de cana planta.



Fonte: Lima (2012)

3.2.2.3 Tratamento – gessagem

O diagnóstico do uso ou não de gesso foi determinada de acordo com a proposta de Quaggio (2000), que relata para fins práticos, o melhor índice para avaliação da toxidez de alumínio é a saturação na CTC efetiva (m), cujos valores superiores a 20% são para espécies sensíveis, e acima de 30% para as espécies mais tolerantes, provocam redução do crescimento das raízes. Portanto, nesses casos, é recomendável a aplicação de gesso agrícola. A quantidade de gesso utilizada (1000 kg ha^{-1}) foi determinada em função do teor de argila do solo conforme recomendação de Raij et al. (1996).

No dia 17/06/2008 foi realizada a gessagem, a operação de distribuição foi efetuada por carreta distribuidora de corretivos e trator, descrito no Quadro 1, sem incorporação. Antes da aplicação do gesso a área experimental recebeu aplicação do herbicida trifluralina (2 L ha^{-1}) e em seguida foi efetuada a operação de gradagem utilizando grade niveladora leve com objetivo em dar acabamento ao preparo principal e deixar o solo em condições adequadas para realização do sulcamento/adubação para o plantio.

Na Tabela 5 encontra-se a caracterização química e da umidade do gesso agrícola.

Tabela 5- Caracterização química do gesso agrícola.

Atributos químicos	Resultados (%)
Cálcio (Ca)	20
Enxofre (S)	15
Umidade	20

Fonte: Nutrion (2008)

A Figura 4 ilustra como foi realizada a gessagem dentro de cada tratamento contidos em cada bloco. Pode-se ainda observar o cuidado tomado, onde foi utilizado lonas de nylon na projeção de lançamento do gesso efetuado pelo dispositivo de distribuição, visando dar proteção para que o gesso lançado pela distribuidora não contaminasse as demais parcelas que não receberam a dose de 1000 kg ha^{-1} de gesso.

Figura 4. Distribuição do gesso nas parcelas.



Fonte: Lima (2012)

3.2.2.4 Plantio

O plantio da cana-de-açúcar foi realizado no dia 25/06/2008, caracterizado como plantio manual. A variedade utilizada foi a RB92-5345 com mudas provenientes das áreas de plantio comercial da usina, a média das gemas no sulco depois da distribuição das mudas foi de 15,5 gemas por metro para todos os tratamentos. No período da tarde que antecedeu o plantio foi realizada a sulcação e adubação, no espaçamento de 1,5m entrelinhas e aplicação de 500 kg ha⁻¹ de adubo da fórmula 06-30-24, somando 30 kg ha⁻¹ de N, 150 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 120 kg ha⁻¹ de K₂O, para todos os tratamentos. Para o controle fitossanitário, aplicou-se Fipronil na dose de 200 g ha⁻¹ (i.a.), em jato dirigido sobre os toletes no sulco de plantio, durante a operação de cobrição.

No experimento não foi constatado florescimento da cana-de-açúcar, em ambos os cultivos. A colheita para determinação das variáveis analisadas da cana planta (ciclo de 462 dias) e da 1ª cana soca (ciclo de 610 dias) foram realizadas de forma manual e individual de cada parcela experimental, nos dias 07 de outubro de 2009 e 15 de junho de 2011, respectivamente. O sistema de colheita realizado foi de cana crua, tanto para cana planta, quanto para 1ª cana soca.

3.2.2.4.1 Análise da profundidade de sulcação

Foi realizada avaliação de profundidade de sulcação, no mesmo dia do plantio manual, para verificar o efeito dos diferentes tipos de preparo de solo na sulcação.

Foram amostrados ao acaso 3 blocos e para cada bloco 3 parcelas representando cada modalidade de preparo de solo. Nessas parcelas, mediu-se a profundidade do sulco e fez coleta de solo para determinação da umidade nas profundidades de 0,0-0,15; 0,15-0,30 e 0,30-0,45 m, exatamente após a operação de sulcação/adubação, a avaliação de profundidade foi realizada utilizando régua de madeira graduado, tomando as medições entre o fundo do sulco e o nível natural do solo, e em seguida foram calculadas as médias, apresentadas na Tabela 6.

Tabela 6 - Valores médios de profundidade de sulcação e umidade do solo após a sulcação, em função de tipos de preparo do solo

Tratamentos		Aiveca	Escarificador	Grade Pesada
Profundidade média (m)		0,49	0,46	0,48
Umidade (%)	0,0 – 0,15 (m)	12,2	11,8	11,2
	0,15 a 0,30 (m)	13,9	13,4	12,1
	0,30 – 0,45 (m)	13,7	13,5	13,6

3.2.2.5. Tratos culturais

O controle de plantas daninhas foi realizado em ambos cultivos com aplicação dos herbicidas diuron + hexazinone (702 + 264 g do i.a. ha⁻¹), o volume de calda utilizado foi de 160 L ha⁻¹ para ambas aplicações, em pós-emergência da cultura, sendo realizado aos 40 dias após o plantio da cana planta e para 1ª cana soca em 04/01/2010, operações realizadas com pulverizador modelo herbiplus G1, Quadro 1.

Em 04 de janeiro de 2010 foi realizada a adubação da 1ª cana soca ao lado da linha de plantio e a 0,20 m de distância (lado de cima da linha) e entorno de 0,20 m de profundidade, sendo aplicados e incorporados ao solo 90 kg ha⁻¹ de N (uréia) e 120 kg ha⁻¹ de K₂O (cloreto de potássio), utilizou para esta operação um cultivador/adubador de duas linha DMB, portando hastes simples, tracionado por trator valtra, modelo BH 165 (Quadro 1), a adubação foi efetuada pela própria usina. Ressalta-se que não houve a necessidade do controle de doenças e pragas da cultura.

3.3 Variáveis analisadas

3.3.1 Análises dos atributos químicos do solo – cana planta e 1ª cana soca

As análises químicas do solo foram realizadas de acordo com a metodologia descrita por Raij e Quaggio (1983) e avaliados os teores de fósforo, potássio, magnésio e cálcio pelo método de extração com resina trocadora de íons, além de enxofre e matéria orgânica. O pH foi determinado em cloreto de cálcio, acidez potencial (hidrogênio + alumínio) a pH 7,0. Foram calculadas as somas de bases ($SB = Ca^{+2} + Mg^{+2} + K^{+}$), capacidade de troca catiônica ($CTC = SB + (H + Al)$) e saturação por bases ($V\% = (100 \times SB) / CTC$).

As amostras deformadas para fins de fertilidade foram coletadas após a colheita da cana planta (cana crua) 1ª cana soca (cana crua), ao lado da linha da cultura (0,20 m), nas camadas de 0,0-15; 0,15-0,30 e 0,30-0,45 m.

3.3.2 Análises dos atributos físicos do solo – cana planta e 1ª cana soca

Para as análises dos atributos físicos do solo, as amostras foram coletadas nas camadas de 0,0-0,15; 0,15-0,30 e de 0,30-0,45 m.

A primeira amostragem foi realizada após a colheita da cana planta (outubro de 2009) e a segunda em junho de 2011, após a colheita da 1ª cana soca. As amostras das duas épocas foram encaminhadas e analisadas no Laboratório de Física do Solo da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira (FE/UNESP).

3.3.2.1 Macroporosidade, microporosidade e porosidade total

As amostras do solo foram coletadas com anel volumétrico com capacidade de $1,0 \times 10^{-4} \text{ m}^3$, à 0,20 m da linha da cultura nas mesmas camadas do item 3.3.2. A microporosidade foi determinada pelo método da mesa de tensão em coluna de água de 6 kPa; a porosidade total pela saturação do volume total de poros e a macroporosidade pela diferença entre a porosidade total e a microporosidade, seguindo as metodologias descritas pela (EMBRAPA,1997).

3.3.2.2 Densidade do solo

Para determinação da densidade do solo foram utilizadas as mesmas amostras de porosidade total do solo, pelo método do anel volumétrico (EMBRAPA, 1997).

3.3.2.3 Resistência mecânica do solo à penetração

A resistência mecânica do solo à penetração e a umidade gravimétrica foram coletadas concomitantemente. Para a RMSP foi utilizado o penetrógrafo PTSC⁻⁶⁰, enquanto que para a umidade foi utilizado um trado de caneca, cujo volume da amostra deformada foi de $4,05.10^{-4} \text{ m}^3$. As determinações e amostragens foram realizadas à 0,20 m da linha e na entrelinha da

cultura e 3 repetições por parcela experimental, e tomando para avaliação o valor da RMSP no ponto médio, das três camadas, 0,0-0,15; 0,15-0,30 e 0,30-0,45 m de profundidade.

3.3.3 Avaliações realizadas em cana planta e 1ª cana soca

3.3.3.1 Características agronômicas

Foram realizadas as seguintes avaliações:

a) número de perfilhos por metro, os quais foram obtidos pela contagem dos perfilhos das duas linhas centrais de cada parcela de 20 m, totalizando 40 m, e em seguida foram calculadas as médias por metro. Ao longo do ciclo da cana planta foram feitas 8 contagens de perfilhos por metro (aos 63, 118, 187, 248, 305, 357, 421 e 462 dias após o plantio “DAP” da cana-de-açúcar). Para o ciclo da 1ª cana soca realizaram-se 9 contagens de perfilhos por metro (aos 60, 122, 178, 245, 363, 419, 484, 522 e 610 dias após o corte “DAC” da cana planta), no mesmo local de contagem e procedimentos do ciclo da cana planta;

b) Comprimento de colmo (CC), foram realizadas medidas em 10 colmos por parcela na ocasião da colheita, com o auxílio de régua graduada, tomando a altura (de corte) a 0,05 m acima do nível do solo até a primeiro colarinho visível, classificada como folha +1;

c) O número de colmos por metro (NCM) industrializável foi obtido pela média da contagem dos colmos das duas linhas centrais de cada parcela de 20 m, totalizando 40 m, antes da colheita.;

d) diâmetro do colmo (DC), determinado por meio de paquímetro, resultados das médias dos diâmetros da base, meio e ponta de 10 colmos industrializáveis;

e) A colheita da cana planta e 1ª cana soca foi realizada manualmente nas duas linhas centrais (área útil) e nos 5 metros do meio da parcela, em 07 de outubro de 2009, cana planta e 15 de junho de 2011, 1ª cana soca. Após a colheita manual das áreas úteis das parcelas, procedeu-se a colheita mecanizada do restante da cana-de-açúcar das parcelas, sendo que a colhedora transitou por toda a área, inclusive nas áreas úteis já colhidas manualmente.

A produtividade foi determinada com base na massa de colmos, que após o corte foram pesados com auxílio de balança instrumentada com célula de carga (balança rodoviária), e em seguida os dados foram transformados em tonelada de colmos por hectare (TCH).

3.3.3.2 Indicadores de qualidade tecnológica da cana-de-açúcar

No momento da colheita da cana-de-açúcar e depois de pesados foi retirado ao acaso 10 colmos por parcela, em seguida foram enfeixados e identificados com o número da parcela e enviadas ao Laboratório da Usina Vale do Paraná Açúcar e Álcool para a realização das análises de qualidade tecnológica. As análises seguiram a metodologia descrita pelo Conselho dos Produtores de Cana-de-Açúcar, Açúcar e Álcool (CONSECANA-SP, 2006).

As análises realizadas na cana planta e 1ª cana soca foram: Pureza (Pza) do caldo da cana (%), Fibra da cana (%), Brix da cana (%), Açúcares Redutores (AR) do caldo (%), Pol do Caldo (PolC) em %.

Com os dados obtidos a partir das avaliações tecnológicas e produtividade de cana-de-açúcar, foi calculado o Açúcar Total Recuperável (ATR kg t⁻¹), por meio da equação número 1 a seguir:

$$ATR = (10 \times S - 0,76 \times F - 6,9) \times (5/3 - 200/3 \times P) \dots \dots \dots (\text{Eq. 1})$$

onde,

ATR = Açúcares Totais Recuperáveis em kg t⁻¹ de colmos de cana-de-açúcar;

S = Pol (%) do caldo;

F = Fibra (%) da cana;

P = Pureza (%) da cana,

O ATR corresponde à soma total dos açúcares contidos na cana-de-açúcar que são efetivamente, aproveitados no processo industrial para a produção de açúcar e álcool.

3.4 Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância (Teste F) e ao teste de Tukey à 5 e 10% para a comparação das médias, nos dois ciclos de cultivos. Foi utilizado o programa de computacional SISVAR[®] (FERREIRA, 2000).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Avaliação dos atributos químicos do solo

4.1.1 Cana planta (2008/09)

Comparando os valores e teores dos atributos químicos (Tabela 1), analisados antes da implantação da cana-de-açúcar, com os obtidos após a implantação (Tabelas 7 e 8), percebe-se que sofreram alterações positivas, provavelmente devido ao efeito do calcário, independente dos tratamentos de preparo de solo e uso do gesso.

Na Tabela 7 são mostrados os valores de “pH, P, MO, K^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , $(H^+ + Al^{+3})$, Al^{+3} , $S-SO_4^{-2}$ e V%” em cana planta submetida aos tratamentos de preparo de solo, associados com o uso ou não de gesso, para as camadas de 0,0–0,15; 0,15–0,30 e 0,30–0,45 m. Na camada de 0,0–0,15 m, constata-se diferença significativa para pH apenas para sistemas de preparo do solo. O preparo com escarificador apresentou maiores valores em relação ao arado de aivecas e grade pesada, fato explicado pela menor mobilização do solo pelo escarificador e maior concentração do calcário, que apresenta característica de baixa mobilidade no perfil do solo, promovendo maior correção da camada superficial, demonstrado também pelos maiores valores absolutos de Ca^{+2} e menores valores de $H^+ + Al^{+3}$.

Embora os tratamentos não tenham mostrado diferenças significativas entre si para os teores de P e K^+ nas camadas analisadas, observa-se que houve aumento médio aproximado de 229,45% para todos os tratamentos no teor de P quando comparado com os teores entre a época da caracterização inicial do solo (Tabela 2) com os obtidos na época da primeira colheita. Isso é explicado pelo fato deste nutriente ter sido aplicado no momento do plantio. Para o K^+ verifica-se que houve redução nos teores e em profundidade no perfil do solo. Pode-se inferir que parte desse nutriente foi consumido para suprir as necessidades da cultura e o restante possivelmente pode ter sido lixiviado. Segundo Rossetto et al. (2004) o potássio é o macronutriente mais extraído pela cana-de-açúcar por se acumula na planta. Ou ainda, a redução do potássio da camada 0,30-0,45 m pode indicar o início do processo de percolação devido o efeito da aplicação do gesso, visto que houve uma redução de 34% no teor de K^+ , entre o tratamento com e sem gesso nessa camada, que pode ter provocado o arraste do K^+ além das camadas investigadas, potencializado pela textura arenosa do solo e pelas altas precipitações ocorridas no primeiro período estudado (Figura 1). Segundo Rocha (2007), esse

processo de percolação do K^+ foi a resposta de seu estudo realizado com doses de gesso, corroborado pelo relato de diversos autores que obtiveram frequentes respostas desse processo nos estudos com aplicação de gesso em solo (QUAGGIO et al., 1982; DAL BO et al. 1986; ILLERA et al, 2004).

Os teores de matéria orgânica (MO) apresentados nas camadas estudadas não foram estatisticamente diferentes para os tratamentos testados em nenhuma das camadas avaliadas, mas seus valores estão dentro dos valores normais para solos de textura arenosa/média ($0-15 \text{ g dm}^{-3}$) segundo (RAIJ et al.,1997).

O comportamento da matéria orgânica para uso de gesso é semelhante ao descrito por (SORATTO, 2005; ZAMBROSI et al., 2007; FORTRAN, 2008), que constataram em seus estudos que os teores de matéria orgânica não foram afetados pelos tratamentos com aplicação de calcário e gesso em nenhuma profundidade estudada.

Em estudos com cana-de-açúcar Souza et al (2006) avaliando o teor de matéria orgânica em diferentes sistemas de colheita e preparo de solo, observaram que os sistemas de cultivo não diferiram quanto aos teores de matéria orgânica na profundidade de $0,10 - 0,40 \text{ m}$.

A cana-de-açúcar cultivada há mais de 25 anos num mesmo solo (Latossolo coeso na região dos tabuleiros costeiros de Alagoas, Brasil) não mostrou decréscimo no teor de matéria orgânica quando comparado com solo de mata nativa. Já o cultivo por apenas 2 anos, mostrou decréscimo da matéria orgânica e também da estabilidade dos agregados, indicando que a agricultura promove distúrbios ao solo, principalmente nas fases iniciais de sua implantação (SILVA et al. 2007).

Para os teores de Mg^{2+} na camada de $0,0-0,15 \text{ m}$, houve efeitos significativos para todos os tratamentos avaliados. Para preparo do solo, os maiores valores foram para grade pesada, devido a uma provável melhor mistura do calcário feita pela grade nessa camada em relação aos demais equipamentos. O tratamento com gesso proporcionou uma redução de 35,82% desse nutriente, quando comparado com o tratamento sem gesso. Caires et al. (2004) verificaram acentuada lixiviação de Mg^{2+} para as camadas mais profundas com uso isolado de gesso em superfície do solo, fato esse corroborado por Raij (2008) que atribuiu a ocorrência devido ao fato do uso de gesso provocar troca iônica do Mg^{2+} pelo Ca^{2+} , solubilizando o Mg^{2+} na solução do solo, ou de outra forma, o fluxo de solução de sulfato de cálcio descendo ao perfil, irá arrastar o Mg^{2+} para o perfil abaixo, podendo haver perda expressiva.

Os valores de Al^{+3} e de $S-SO_4^{-2}$ demonstram claramente o efeito do gesso na camada superficial, pois com seu uso houve incremento do teor de $S-SO_4^{-2}$ e decréscimo do Al^{+3} . Segundo Saldanha (2005) ação do gesso em reduzir os teores de Alumínio trocável em

profundidade, pode ser explicada pela tendência que o SO_4^{2-} , proveniente da solubilização do $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, tem em se movimentar no perfil do solo e se acumular nas camadas mais profundas, atuando na eliminação do Al^{+3} pela formação de AlSO_4^+ , bem como pela liberação de OH^- da superfície de óxidos e hidróxidos que podem reagir com o alumínio e formar precipitados como o $\text{Al}(\text{OH})_3$.

Na camada 0,15–0,30 m (Tabela 7), para o pH verificam-se maiores valores para tratamento com arado de aiveca em relação ao escarificador. Isto deve ter sido em razão da maior inversão da leiva da camada superficial e incorporação mais profunda do calcário, promovidas pelo arado de aivecas, sendo que, nessa camada o tratamento com aivecas proporcionou menores valores de acidez potencial e maiores valores de Ca^{+2} e saturação por bases. A exemplo do ocorrido na camada superficial, o uso de gesso mostrou valores de S-SO_4^{-2} significativamente superiores aos encontrados no tratamento sem gesso, entretanto, os demais atributos avaliados não foram influenciados pelo uso do gesso.

Diferente dos resultados de Saldanha (2005) e Fortran (2008) que constataram aumento do pH no perfil do solo pela aplicação de gesso ter promovido uma reação de troca de ligantes na superfície das partículas de solo, envolvendo óxidos hidratados de ferro e alumínio, com o SO_4^{-2} deslocando OH^- e, assim, promovendo neutralização parcial da acidez.

Não ocorreram diferenças significativas para teor Ca^{+2} nas camadas 0,0–0,15 m e 0,15–0,30m (Tabela 7) em função do uso de gesso, porém, na camada de 0,30–0,45 m, a adição de gesso incrementou os teores de Ca^{+2} . Tal efeito em profundidade se deve ao fornecimento de Ca^{+2} ao solo pela aplicação de calcário e do gesso na primeira camada, potencializado pela maior solubilidade e dissociação do CaSO_4^0 e arraste de bases trocáveis (Ca^{+2}) pelo íon sulfato (SO_4^{-2}). Este resultado concorda com os de Fortran (2008), que verificou aumento nos teores de Ca^{2+} em todo o perfil do solo estudado (0,0–0,05 até 0,40–0,60 m) com uso de silicato e gesso. Concordando também com Ritchey et al. (2004), que em suas pesquisas constataram que a elevação dos teores de Ca^{2+} em subsuperfície tem sido resposta freqüente com a aplicação de gesso.

Na camada 0,30–0,45 m, os teores de Mg^{2+} proporcionados pelo preparo com escarificador foram inferiores aos obtidos com arado de aivecas, demonstrando mais uma vez que o escarificador incorpora o Mg^{2+} a menores profundidades em relação ao arado. Nesta camada, também ficou evidente o efeito do gesso, pois esse tratamento resultou em maiores valores de Ca^{2+} e S-SO_4^{-2} e redução de Al^{+3} . Tais resultados são semelhantes aos de Rocha

Tabela 7 - Valores médios dos atributos químicos do solo nas camadas de 0,0-0,15, 0,15-0,30 e 0,30-0,45 m, em sistemas de preparo do solo, associados à aplicação de gesso na cana planta.

	pH	P	MO	K ⁺²	Ca ⁺²	Mg ⁺²	H ⁺ +Al ⁺³	Al ⁺³	S-SO ₄ ⁻²	V
	CaCl	mg dm ⁻³	g dm ⁻³	.....	.....	mmol _c dm ⁻³.....	.....	.....	.....	%
Preparo	0,0 – 0,15 m									
Aiveca	5,07 b	11,00	14,92	1,26	15,83	6,00 b	18,00 a	⁽²⁾ 0,91	3,75	56,0
Escarificador	5,68 a	10,83	15,34	1,15	21,42	7,91 ba	14,42 b	0,75	4,08	60,0
Grade pesada	5,13 b	11,08	14,92	1,05	17,50	12,50 a	16,42 ab	0,82	4,58	67,1
Gesso										
Com Gesso	5,38	10,83	14,89	1,15	20,22	6,88 b	15,94	0,74 b	6,28 a	63,3
Sem Gesso	5,31	11,11	15,22	1,15	17,28	10,72 a	16,61	0,92 a	2,00 b	59,3
Teste F										
Preparo (P)	5,32 *	0,10 ^{ns}	0,49 ^{ns}	0,36 ^{ns}	1,65 ^{ns}	4,88*	3,47 *	1,20 ^{ns}	2,64 ^{ns}	2,84 ^{ns}
Gesso (G)	0,25 ^{ns}	0,37 ^{ns}	0,59 ^{ns}	0,01 ^{ns}	2,35 ^{ns}	4,82*	0,36 ^{ns}	4,92 *	205,6**	1,10 ^{ns}
P*G	1,47 ^{ns}	2,04 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,40 ^{ns}	1,58 ^{ns}	1,43 ^{ns}	0,95 ^{ns}	0,40 ^{ns}	0,97 ^{ns}	1,20 ^{ns}
DMS										
Preparo	0,48	1,40	1,32	0,61	7,86	5,33	3,40	0,25	0,91	11, 81
Gesso	0,32	0,94	0,89	0,42	5,30	3,59	2,29	0,17	0,61	7,93
CV (%)	8,8	12,5	8,65	52,5	42,3	59,5	20,5	29,6	21,6	18,9
Preparo	0,15 – 0,30 m									
Aiveca	5,63 a	8,42	13,92	0,63	18,75 a	8,83	14,17 b	0,75	3,42	65,3 a
Escarificador	5,19 b	8,92	13,33	0,93	14,25 b	7,15	17,17 a	0,89	3,33	56,0 b
Grade pesada	5,37ab	8,75	12,42	0,86	14,17 b	7,17	15,50 ab	0,75	3,33	59,0 ab
Gesso										
Com Gesso	5,38	8,83	13,00	0,87	16,89	8,06	15,94	0,76	4,17 a	60,6
Sem Gesso	5,41	8,56	13,44	0,74	14,56	8,39	15,27	0,83	2,55 b	59,1
Teste F										
Preparo (P)	3,27 *	0,69 ^{ns}	2,58 ^{ns}	1,55 ^{ns}	6,08 *	1,57 ^{ns}	3,60 *	1,28 ^{ns}	0,04 ^{ns}	4,71 *
Gesso (G)	0,04 ^{ns}	0,62 ^{ns}	0,67 ^{ns}	0,88 ^{ns}	3,61 ^{ns}	2,26 ^{ns}	0,53 ^{ns}	0,72 ^{ns}	36,44*	0,16 ^{ns}
P*G	1,56 ^{ns}	0,69 ^{ns}	1,01 ^{ns}	1,96 ^{ns}	2,22 ^{ns}	1,32 ^{ns}	1,11 ^{ns}	0,96 ^{ns}	0,30 ^{ns}	2,53 ^{ns}
DMS										
Preparo	0,43	1,08	1,66	0,43	3,75	2,21	2,79	0,26	0,81	7,73
Gesso	0,29	0,73	1,12	0,29	2,53	1,83	1,88	0,17	0,55	5,22
CV (%)	7,89	12,2	12,3	52,8	23,4	34,4	17,6	31,9	23,8	12,6
Preparo	0,30 – 0,45 m									
Aiveca	5,20	7,33	12,83	0,56	13,92	6,67 a	16,83	0,75	3,58 b	55,5
Escarificador	4,89	7,50	12,27	0,58	13,00	4,75 b	18,25	0,99	4,33 ab	50,0
Grade pesada	5,11	7,41	11,89	0,68	13,75	6,58 ab	17,67	0,91	4,67 a	54,1
Gesso										
Com Gesso	5,05	7,61	12,49	0,48	14,78 a	6,33	18,50	0,76 b	6,00 a	53,9
Sem Gesso	5,08	7,22	12,78	0,73	12,33 b	5,67	17,67	1,00 a	2,39 b	51,1
Teste F										
Preparo (P)	2,87 ^{ns}	0,16 ^{ns}	2,58 ^{ns}	0,23 ^{ns}	0,43 ^{ns}	4,06*	0,86 ^{ns}	2,54 ^{ns}	4,61*	2,17 ^{ns}
Gesso (G)	0,09 ^{ns}	0,63 ^{ns}	0,67 ^{ns}	2,45 ^{ns}	8,00 *	1,15 ^{ns}	2,26 ^{ns}	6,87 *	146,50*	0,45 ^{ns}
P*G	0,49 ^{ns}	0,38 ^{ns}	1,01 ^{ns}	0,18 ^{ns}	1,49 ^{ns}	0,22 ^{ns}	1,28 ^{ns}	3,09 ^{ns}	2,12 ^{ns}	0,32 ^{ns}
DMS										
Preparo	0,32	0,73	1,66	0,49	2,64	1,89	2,71	0,28	0,91	6,84
Gesso	0,22	0,49	1,12	0,33	1,78	1,29	1,83	0,19	0,61	4,61
CV (%)	9,7	9,7	12,3	78,8	19,1	31,0	15,2	31,4	21,3	12,6

Médias seguidas de mesma letra não diferem significativamente entre si com 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey. As letras minúsculas se referem às colunas. ^{ns}Não significativos, * Significativo ao nível de 5% de probabilidade, ** Significativo ao nível de 1% de probabilidade. ⁽²⁾Dados Transformados (x+0,5) ^ 0,5.

(2007) que pode perceber diferença entre os tratamentos para os teores Ca^{2+} e S-SO_4^{-2} em profundidade, ou seja após 0,4 m que utilizou os seguintes tratamentos, duas variedades de cana-de-açúcar, duas granulometria de gesso, 5 doses de gesso e 3 parcelas adicionais, testemunha, o uso de calcário, e de gesso mineral isolados. Observando ainda a movimentação descendente de Ca^{2+} e S-SO_4^{-2} para o tratamento com calcário + gesso, e de modo mais evidente no tratamento com gesso isoladamente, corroborando aos obtidos por Saldanha (2005), que também observou que, contrariamente à ação restrita do calcário, o uso do gesso teve efeito na redução nos teores de Al^{+3} trocável em todo perfil avaliado. Segundo o próprio autor, a ação do gesso em reduzir os teores de Alumínio trocável em profundidade pode ser explicada pela tendência que o SO_4^{2-} tem de acumular-se no perfil do solo nas camadas mais profundas, atuando na eliminação do Alumínio trocável pela formação de AlSO_4^+ , bem como pela liberação de OH^- da superfície de óxidos e hidróxidos que podem reagir com o alumínio e formar precipitados como o $\text{Al}(\text{OH})_3$.

Vale ressaltar, que o uso do gesso na cultura da cana planta proporcionou incrementos nos teores de S-SO_4^{-2} em todas as camadas analisadas. Esse aumento de S-SO_4^{-2} e Ca^{+2} , em profundidade, justifica-se pela lixiviação do elemento na forma de CaSO_4^0 . Assim como também verificado no trabalho de Sun et al. (2000).

4.1.2 1ª cana soca

Na Tabela 8, são mostrados os valores de “pH, P, MO, K^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , ($\text{H}^+ + \text{Al}^{+3}$), Al^{+3} , S-SO_4^{-2} e V”, em 1ª cana soca, nas camadas, 0,0–0,15; 0,15–0,30 e 0,30–0,45 m. Observa-se que houve efeito residual do gesso na 1ª cana soca, pois esse tratamento proporcionou maiores teores de Ca^{+2} , S-SO_4^{-2} e V% e redução dos teores de Al^{+3} nas três camadas avaliadas. Os resultados obtidos assemelham-se aos observados por Rocha (2007) que em seu estudo, com uso de gesso detectou movimento descendente com aumento no teor de Ca^{+2} e maior percentagem de raízes da cana-de-açúcar em subsuperfície. Os tratamentos de preparo de solo não apresentaram comportamento que denotam seus efeitos residuais sobre os atributos estudados, com exceção dos teores de Ca^{+2} , em que os maiores valores foram constatados no tratamento com escarificador na camada de 0,30-0,45 m, evidenciando que o rompimento vertical do solo facilitou a movimentação descendente do cálcio no decorrer do tempo. O fato dos tratamentos de preparo do solo não mostrarem diferenças significativas nos atributos químicos do solo na 1ª cana soca, dentre outros fatores, pode estar relacionado à textura arenosa do solo, que facilitou a lixiviação das bases em profundidade.

Morelli et. al. (1992) observaram que o uso de gesso propiciou aumento nos teores de Ca^{2+} em profundidade e em consequência disso houve um aumento de 100% no peso de raízes encontrados na faixa de 25-50 cm e de 300% na camada de 50-70 cm; quando comparado com o tratamento que recebeu somente calcário, tal aumento traduz em benefícios com maior absorção de nutrientes, água e por fim, acréscimo de produtividade.

Para pH, foi constatado que os seus valores tiveram pequena redução para todos os tratamentos e profundidades estudadas quando comparados com os valores da 1ª colheita, cana- planta. Tal resultado é atribuído ao processo normal que acontece em cultivo de cana-de-açúcar em solos ácidos e corrigidos para implantação da cultura, que com o avanço das colheitas vão se tornando ácidos. Dematte (2005) constatou que após a recuperação química do solo, por ocasião do seu preparo para implantação da cultura, os teores das bases, principalmente de Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^{+} , tendem a diminuir ao longo dos cortes, com maior velocidade nos solos de baixa CTC. Conseqüentemente, ocorre queda do pH, que causa indisponibilidade para alguns nutrientes, levando a queda de produtividade (MORELLI et al., 1987).

Os tratamentos não afetaram significativamente os teores de P no solo, mas se observa que houve decréscimo no teor de P em todas as camadas quando comparado com os teores encontrados pós-colheita da cana planta (Tabela 7), pelo fato deste nutriente ter sido consumido pela própria cultura, e transcorrência do maior período decorrido entre a primeira colheita, e a segunda, 1ª cana soca.

Os teores de matéria orgânica não apresentaram diferenças estatísticas para nenhum tratamento estudado. Observa-se apenas uma pequena alteração nos teores para todos os tratamentos da primeira camada (Tabela 8), que pode ser justificada pelo aumento da mineralização do material na forma de palhada deixado pela colheita da cana crua sob o solo, no primeiro ciclo de cultivo. Esta pequena alteração pode ser explicada pela acelerada decomposição da palhada, devido às condições climáticas favoráveis e o período longo entre as duas amostragens. Segundo Raij et al. (1997) os teores de MO apresentados estão dentro dos limites dos valores que são considerados como normais para solos de textura arenosa/média ($0-15 \text{ g dm}^{-3}$). Constatando para as demais camadas, valores decrescentes ao longo do perfil estudado.

Carvalho (2011), utilizando gesso e vinhaça em cana-de-açúcar, não encontrou diferenças significativas para matéria orgânica nos tratamentos avaliados, observando ainda baixos teores no solo, salientando que os mesmos podem se elevar com o passar dos ciclos,

proporcionado pelo aumento dos resíduos oriundos da despalha deixado sob o solo pela prática realizada no sistema de colheita de cana crua.

Fortran (2008) trabalhando em Latossolo Vermelho Amarelo, onde aplicou 1700 kg ha^{-1} e sem gesso, mostra em suas avaliações que os teores de matéria orgânica não foram afetados pelo uso do gesso em nenhuma das profundidades estudada.

Nos estudos de Silva et al. (2006), avaliando a matéria orgânica em um Argissolo Amarelo cultivado com cana-de-açúcar queimada, observaram que o cultivo reduziu a matéria orgânica no solo, comparado ao solo de mata nativa, segundo Maia (2004), o tempo de cultivo reduz significativamente o carbono orgânico, a teores semelhantes aos encontrados neste estudo para as 2ª e 3ª camadas.

Os teores de K^+ , mesmo não mostrando diferenças significativas para os tratamentos estudados porém se observa que houve incrementos, com maiores teores que os encontrados na cana planta. Esse aumento justifica-se pela adubação em cobertura com 120 kg ha^{-1} de K_2O (cloreto de potássio) logo após a 1ª colheita, além da liberação de K^+ oriundos dos resíduos deixados em forma de palhada pela colheita (cana-crua) pela ciclagem do material orgânico. Segundo Chaves (2004) a liberação do K^+ pode atingir 85% do inicialmente existente na palhada, que dependerá da variedade utilizada, idade do canavial, clima e práticas culturais adotadas.

Em avaliação feita com 10 variedades de cana-de-açúcar encontrou-se um valor médio de 130 kg.ha^{-1} de K^+ acumulados na palhada, ressaltando que essa palhada era constituída por folhas secas e ponteiros, produzindo em média $15,2 \text{ t. ha}^{-1}$ de matéria seca (BUZOLIN, 1997; OLIVEIRA et al., 2003).

Vale ressaltar que o tratamento com e sem aplicação de gesso tiveram valores de K^+ praticamente iguais na primeira camada, e valores crescentes para uso de gesso para as demais camadas, confirmando a mobilidade do íon SO_4^{-2} no carregamento de bases trocáveis, nesse caso, o K^+ formando par iônico K_2SO_4^0 .

Observando a variável Al^{+3} , constatam-se valores estatisticamente diferentes e menores valores com aplicação de gesso na 1ª cana soca (Tabelas 8). Comparando estes valores com os dados na ausência de gesso confirmam-se os benefícios que o gesso proporcionou ao solo pelo melhor condicionamento químico favorável ao desenvolvimento radicular. Com aplicação de gesso, parte do Al^{+3} é deslocado pelo Ca^{+2} aplicado via gesso (ERNANI ; BARBER, 1993), e pode ser precipitado. Vale ressaltar que a aplicação de gesso proporcionou maiores teores de SO_4^{-2} para todas as camadas estudadas, afetando positivamente na redução de Al^{+3} nas camadas, demonstrando que a quantidade de gesso foi

eficiente na redução dos teores desta variável. Estes resultados diferem dos que foram encontrados por Carvalho (2011), que não observou resultado residual da aplicação de 1 t ha^{-1} de gesso.

Interpretando os teores de S-SO_4^{-2} , verifica-se que não houve diferenças significativas para preparo de solo, porém sendo encontradas diferenças estatísticas para tratamento com aplicação de gesso nas camadas 0,0-0,15 e 0,15-0,30 m, com teores maiores para uso de gesso. No tratamento com gesso constata-se que houve redução dos teores de S-SO_4^{-2} no período entre as colheitas de cana planta e 1ª cana soca. Mesmo assim o tratamento com gesso depois das colheitas e passado um período de 3 anos, apresenta residual do S-SO_4^{-2} no solo, justificado pelo aumento de Ca^{+2} com conseqüente redução de Al^{+3} nas camadas estudadas, contudo, propiciando alterações químicas benéficas ao solo/planta com aumento de produtividade, mesmo em um ano com escassez de chuva (Figura 1).

Quanto aos valores de V%, observa-se que seus valores não foram significativos para o tratamento com gesso nas camadas, contudo, mesmo não havendo diferenças nos seus valores foram maiores. De acordo com Soratto (2008), o gesso é uma alternativa para diminuição da atividade do Al^{3+} e aumento da saturação por bases (V%), principalmente Ca^{2+} , nas camadas do subsolo, podendo ser utilizado como produto complementar ao calcário.

Saldanha (2005) observou que a partir da camada 0,2-0,4 m o tratamento com gesso foi mais efetivo que o calcário, proporcionando maiores valores de V%, a partir desta camada. Tal efeito do gesso pode ser explicado pelo aumento de cátions básicos em profundidade, como cálcio, magnésio e potássio, oriundos da lixiviação ocasionada pela formação de pares iônicos com o sulfato, favorecendo a movimentação desses elementos no perfil do solo.

Como observado neste estudo, o gesso agrícola tem proporcionado melhorias com adição de nutrientes no perfil do solo, quando comparado com o tratamento sem aplicação de gesso, demonstrando efeitos benéficos ao solo/planta das propriedades químicas, traduzindo isso em melhores condições para o desenvolvimento radicular, nutrição da cultura e aumento de produtividade. Esses efeitos do gesso são confirmados por diversos autores (MORELLI et al., 1987; CARVALHO, 2011), que constataram efeitos e melhoria da fertilidade nas camadas estudadas nos seus trabalhos utilizando os mesmos tipos de solos com cana-de-açúcar.

Tabela 8 - Valores médios dos atributos químicos do solo nas camadas de 0,0-0,15, 0,15-0,30 e 0,30-0,45 m, em sistemas de preparo do solo, associados à aplicação de gesso na 1ª cana soca.

	pH	P	MO	K ⁺²	Ca ⁺²	Mg ⁺²	H ⁺ +Al ⁺³	Al ⁺³	S-SO ₄ ⁻²	V
	CaCl	mg dm ⁻³	g dm ⁻³	.....	.....	mmol _c dm ⁻³.....	.....	.....	.....	%
Preparo	0,0 – 0,15 m									
Aiveca	4,95	3,83	15,12	1,82	13,38	6,17	18,00	(2)0,79	2,67	53,96
Escarificador	4,94	3,63	15,46	2,03	12,83	6,13	18,46	0,77	2,83	52,96
Grade pesada	4,89	3,67	15,75	2,03	11,92	6,29	18,54	0,89	3,00	52,06
Gesso										
Com Gesso	4,92	3,56	15,08	1,97	13,67 a	6,19	18,17	0,71b	3,67 a	53,89
Sem Gesso	4,94	3,67	15,80	2,02	11,75 b	6,20	18,50	0,93a	2,00 b	52,10
Teste F										
Preparo (P)	0,85 ^{ns}	0,39 ^{ns}	0,41 ^{ns}	0,72 ^{ns}	1,15 ^{ns}	0,15 ^{ns}	0,58 ^{ns}	1,10 ^{ns}	2,56 ^{ns}	0,98 ^{ns}
Gesso (G)	0,34 ^{ns}	0,46 ^{ns}	1,65 ^{ns}	0,07 ^{ns}	5,82*	0,01 ^{ns}	0,57 ^{ns}	11,79*	41,67**	2,61 ^{ns}
P*G	2,16 ^{ns}	0,57 ^{ns}	1,41 ^{ns}	1,81 ^{ns}	0,08 ^{ns}	0,24 ^{ns}	2,66 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,82 ^{ns}
DMS										
Preparo	0,13	0,64	1,71	0,66	1,64	0,08	1,35	0,18	0,79	3,37
Gesso	0,25	0,43	1,16	0,45	0,56	0,54	0,91	0,12	0,53	2,28
CV (%)	2,6	16,6	10,91	32,6	18,8	12,7	7,2	22,2	27,3	6,26
Preparo	0,15 – 0,30 m									
Aiveca	4,93	3,29	13,00	1,43	13,58	5,54	17,59	0,91	2,92	53,77
Escarificador	4,94	3,21	12,83	1,45	13,83	5,33	17,75	0,91	2,92	53,57
Grade pesada	4,84	3,25	13,04	1,80	12,54	5,67	18,50	1,02	3,17	51,72
Gesso										
Com Gesso	4,88	3,19	12,89	1,68	14,39 a	5,47	17,81	0,82 b	3,44 a	54,28
Sem Gesso	4,93	3,30	13,53	1,43	12,25 b	5,55	18,08	1,07 a	2,56 b	51,76
Teste F										
Preparo (P)	1,40 ^{ns}	0,09 ^{ns}	0,06 ^{ns}	1,01 ^{ns}	1,22 ^{ns}	0,18 ^{ns}	0,72 ^{ns}	0,30 ^{ns}	0,65 ^{ns}	0,83 ^{ns}
Gesso (G)	1,05 ^{ns}	0,51 ^{ns}	3,26 ^{ns}	1,17 ^{ns}	8,94*	0,03 ^{ns}	0,18 ^{ns}	4,27 *	18,39*	3,09 ^{ns}
P*G	0,39 ^{ns}	1,93 ^{ns}	1,19 ^{ns}	1,37 ^{ns}	0,46 ^{ns}	0,21 ^{ns}	1,21 ^{ns}	0,73 ^{ns}	1,36 ^{ns}	0,70 ^{ns}
DMS										
Preparo	0,16	0,48	1,01	0,73	2,18	1,41	4,22	0,37	0,63	4,36
Gesso	0,11	0,32	0,68	0,49	1,47	0,95	2,85	0,25	0,43	2,95
CV (%)	3,31	14,43	9,15	46,0	16,11	25,15	22,54	37,77	20,73	8,09
Preparo	0,30 – 0,45 m									
Aiveca	4,96	3,08	11,16	1,64	14,33ab	6,00	18,17	(2)1,06	3,50	54,62
Escarificador	4,95	3,25	10,83	1,41	16,00 a	5,92	17,83	0,87	3,50	56,36
Grade pesada	4,89	3,50	10,58	2,39	12,92 b	5,42	19,17	1,18	3,67	51,94
Gesso										
Com Gesso	4,92	3,39	10,89	2,17	15,71 a	6,00	18,50	0,85	4,72 a	56,06
Sem Gesso	4,96	3,17	10,83	1,46	13,11 b	5,56	18,28	1,22	2,39 b	52,56
Teste F										
Preparo (P)	0,42 ^{ns}	0,47 ^{ns}	1,04 ^{ns}	1,87 ^{ns}	4,44*	0,87 ^{ns}	0,34 ^{ns}	0,76 ^{ns}	0,16 ^{ns}	1,08 ^{ns}
Gesso (G)	0,37 ^{ns}	0,39 ^{ns}	0,03 ^{ns}	2,65 ^{ns}	9,53*	1,29 ^{ns}	0,03 ^{ns}	3,15 ^{ns}	70,22*	1,99 ^{ns}
P*G	0,80 ^{ns}	1,21 ^{ns}	0,20 ^{ns}	1,60 ^{ns}	0,91 ^{ns}	1,23 ^{ns}	0,40 ^{ns}	0,38 ^{ns}	0,48 ^{ns}	1,01 ^{ns}
DMS										
Preparo	0,22	1,08	1,01	1,32	2,58	1,19	4,22	0,63	0,85	7,55
Gesso	0,15	0,73	0,68	0,89	1,74	0,81	2,85	0,43	0,57	5,10
CV (%)	4,45	32,3	9,1	71,7	17,60	20,32	22,54	60,26	23,49	13,67

Médias seguidas de mesma letra não diferem significativamente entre si com 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey. As letras minúsculas se referem às colunas. ^{ns}Não significativos, * Significativo ao nível de 5% de probabilidade, ** Significativo ao nível de 1% de probabilidade. ⁽²⁾Dados Transformados (x+0,5) ^ 0,5.

4.2 Avaliação dos atributos físicos do Solo

4.2.1 Macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo – cana planta

Na Tabela 9, observa-se que não houve diferenças significativas para nenhuma variável e tratamentos estudados na camada de 0,0-0,15 m em cana planta, mas se constata que todos os tratamentos apresentaram macroporosidade pouco acima do limite desejável, pois segundo Baver et al. (1973) o ideal de macroporosidade para um solo é acima de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ e Kiehl (1979) valores de macroporosidade menores do que $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ podem afetar o desenvolvimento das raízes, a ponto de comprometer a produtividade vegetal.

Quanto à densidade do solo, os valores estão acima dos encontrados na literatura para o tipo de solo estudado, relatados por Kiehl (1979); Camargo e Alleoni (1997); Reichardt e Timm (2004), que encontraram nos solos de textura arenosa valores entre 1,20 a $1,40 \text{ kg dm}^{-3}$.

Silva Junior et al. (2010) avaliando diferentes tipos de preparo de solo também não encontraram diferenças significativas para densidade do solo e porosidade total para a camada de 0,0 – 0,20 m em cultivo com cana planta.

Verifica-se que os tratamentos com e sem aplicação de gesso não afetaram a macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo nas camadas de 0,15 - 0,30 e 0,30 - 0,45 m da cana planta (Tabelas 10 e 11).

Na camada de 0,15 – 0,30 m o tratamento com arado de aivecas apresentou maiores valores de macroporosidade e menores valores de microporosidade em relação aos outros tratamentos de preparos, esses atributos foram influenciados pela melhor qualidade de preparo do solo promovido por esse equipamento, provavelmente, em função do menor dano causado na estrutura do solo quando da sua mobilização, podendo observar também a melhor uniformidade na profundidade de operação de preparo do solo proporcionada pelo arado de aiveca nesta camada (Figura 3). Observa-se que os maiores distúrbios devido ao preparo ocorreram nessa camada, pois nas demais camadas estudadas não foram encontradas diferenças significativas nos valores dos atributos físicos do solo.

Comparando conjuntamente os valores dos atributos em todos os tratamentos e camadas estudadas, nota-se que a qualidade física do solo sofreu modificações negativas ao longo do perfil do solo, com menores valores de macroporosidade e maiores valores de microporosidade. Os dados obtidos concordam com os trabalhos de Souza et al. (2004), Carvalho et al. (2002) e de Secco et al. (2005), onde a segunda e a terceira camadas

encontraram-se razoavelmente compactadas, uma vez que os valores desses atributos ficaram muito abaixo do ideal de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ preconizado por Baver et al. (1973) e Kiehl (1979). Essa compactação, provavelmente pode ter reduzido substancialmente a produtividade vegetal

Quanto à porosidade total, apresentou menores valores, mostrando também, a exemplo da macroporosidade, uma tendência decrescente no perfil do solo, corroborando o aumento da compactação nas duas camadas mais profundas do solo. Tal fato ficou de acordo com os dados de (CARVALHO et al., 2002; SOUZA et al., 2004; SECCO et al., 2005; SANTOS et al., 2006).

Analisando os dados referentes à densidade do solo observa-se que não foram mostradas diferenças significativas entre os tratamentos estudados, porém apresentou acréscimo com o aumento da profundidade no perfil do solo, de forma a corroborar, à exemplo da macroporosidade e da porosidade total, com a maior compactação do solo na segunda e terceira camadas. Camilotti et al. (2005) também não encontraram diferenças significativas nos valores de densidade quando avaliaram sistemas de cultivo em cana-de-açúcar.

Dessa forma, provavelmente a camada superficial do solo apresentou-se menos compactada pela maior concentração de raízes que o sistema radicular (fasciculado e abundante) da forrageira anterior pôde adicionar e devido ao fato da soleira dos equipamentos estar localizada nas camadas abaixo. Assim, esses dados ficaram de acordo com o trabalho de Souza et al. (2001), os quais constataram esse mesmo comportamento. Por outro lado, ficaram pouco abaixo do valor crítico ($1,850 \text{ kg dm}^{-3}$), indicado por Bowen (1981), o qual é capaz de afetar o desenvolvimento radicular e conseqüentemente a produtividade vegetal.

Os resultados apresentados pelos por Silva Junior et al. (2010), referentes aos atributos físicos do solo, na profundidade de 0,20-0,40 m mostraram significância com menores valores para os atributos físicos de densidade do solo e maiores para porosidade total, quando utilizou subsolagem em relação aos demais tratamentos estudados, que discorda do comportamento estatístico do presente trabalho.

Tabela 9 - Valores médios de macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo, em função de implementos de preparo de solo, associados com e sem aplicação de gesso na cana planta, na camada de 0 a 0,15 m.

Tratamentos	0,00 - 0,15 m			Densidade kg dm ⁻³
	Macro	Micro	Total	
	m ³ m ⁻³			
Preparo do solo				
Aiveca	0,110	0,265	0,379	1,508
Escarificador	0,114	0,275	0,388	1,518
Grade pesada	0,103	0,275	0,378	1,512
Gessagem				
Sem	0,108	0,272	0,380	1,511
Com	0,109	0,275	0,384	1,515
Teste F				
Preparo do solo (P)	0,21 ^{ns}	0,31 ^{ns}	0,43 ^{ns}	0,04 ^{ns}
Gessagem (G)	0,01 ^{ns}	0,19 ^{ns}	0,13 ^{ns}	0,02 ^{ns}
P*G	0,01 ^{ns}	1,40 ^{ns}	0,25 ^{ns}	0,31 ^{ns}
DMS				
Preparo do solo	0,037	0,030	0,027	0,082
Gessagem	0,024	0,020	0,017	0,053
CV(%)	39,05	12,66	8,04	6,15

Médias não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. ^{ns}Significativo ao nível de 5% de probabilidade, * Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 10 - Valores médios de macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo, em função de implementos de preparo de solo, associados com e sem aplicação de gesso na cana planta, na camada de 0,15 a 0,30 m.

Tratamentos	0,15 - 0,30 m			Densidade kg dm ⁻³
	Macro	Micro	Total	
	m ³ m ⁻³			
Preparo do solo				
Aiveca	0,097 a	0,270 b	0,367	1,576
Escarificador	0,074 b	0,294 a	0,368	1,578
Grade pesada	0,066 b	0,290 ab	0,356	1,590
Gessagem				
Sem	0,081	0,289	0,367	1,570
Com	0,077	0,282	0,360	1,592
Teste F				
Preparo do solo (P)	6,78*	2,52*	0,97 ^{ns}	0,09 ^{ns}
Gessagem (G)	0,26 ^{ns}	0,51 ^{ns}	0,68 ^{ns}	0,46 ^{ns}
P*G	0,26 ^{ns}	1,01 ^{ns}	0,85 ^{ns}	0,01 ^{ns}
DMS				
Preparo do solo	0,019	0,021	0,021	0,078
Gessagem	0,012	0,017	0,014	0,051
CV(%)	26,74	10,43	6,67	5,64

Médias não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. ^{ns}Significativo ao nível de 5% de probabilidade, * Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 11 - Valores médios de macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo, em função de implementos de preparo de solo, associados com e sem aplicação de gesso na cana planta, na camada de 0,30 a 0,45 m.

Tratamentos	0,30 - 0,45 m			Densidade
	Macro	Micro	Total	
		m ³ m ⁻³		kg dm ⁻³
Preparo do solo				
Aiveca	0,086	0,279	0,365	1,555
Escarificador	0,082	0,277	0,359	1,569
Grade pesada	0,073	0,282	0,355	1,583
Gessagem				
Sem	0,082	0,277	0,359	1,563
Com	0,079	0,281	0,360	1,575
Teste F				
Preparo do solo (P)	1,71 ^{ns}	0,37 ^{ns}	1,96 ^{ns}	0,67 ^{ns}
Gessagem (G)	0,31 ^{ns}	0,57 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,32 ^{ns}
P*G	0,70 ^{ns}	1,05 ^{ns}	0,26 ^{ns}	1,27 ^{ns}
DMS				
Preparo do solo	0,015	0,013	0,010	0,052
Gessagem	0,010	0,008	0,007	0,034
CV(%)	21,30	5,14	3,30	3,80

Médias não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. ^{ns}Significativo ao nível de 5% de probabilidade, * Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

4.2.2 Macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo – 1ª cana soca

Os valores médios de macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo na 1ª cana soca (2009/11) encontram-se nas Tabelas 12, 13 e 14.

A aplicação de gesso apresentou o mesmo comportamento anterior, ou seja, não causou diferenças estatísticas para nenhum dos atributos físicos do solo e camadas estudadas na 1ª cana soca. Os tratamentos de preparo não induziram diferenças significativas nos valores de densidade do solo.

Para preparo do solo verificou-se que, na camada 0,0 – 0,15 m, o arado de aivecas proporcionou melhor condicionamento do solo, por apresentar maiores valores de macroporosidade e porosidade total e menores valores de microporosidade do solo em relação aos outros tratamentos de preparo do solo. Essa ocorrência se deu, provavelmente pela menor desestruturação do solo e maior profundidade de trabalho das aivecas, conforme observado na Figura 3.

A operação de adubação de soqueira realizada após a 1ª colheita (cana planta) com adubador equipado com haste simples à 0,20 m de profundidade, distanciada à 0,20 m da linha de plantio pode ter potencializado efeito residual para as duas camadas no tratamento

com arado de aivecas, por promover menor desestruturação do solo, perduraram até a avaliação de pós colheita da 1ª cana soca.

Vale ressaltar que todos os tratamentos apresentaram valores de macroporosidade do solo inferiores a $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, que é considerado um valor mínimo de porosidade necessário para aeração e desenvolvimento radicular. Esse resultado evidencia devido ao tráfego de máquinas pesadas nos tratos culturais e, principalmente, na colheita da cana-de-açúcar, que corrobora com resultados obtidos por Streck et al. (2004). Azevedo (2008) refere-se que o tráfego de máquinas, implementos e caminhões pesados nos talhões é o que mais prejudica a produtividade e a longevidade da cana-de-açúcar pelo efeito da compactação do solo. Efeitos semelhantes foram encontrados por Camilotti et al. (2005), que estudando diferentes sistemas de preparo do solo em cana-de-açúcar, verificaram maiores valores de macroporosidade na camada de 0,0 - 0,10 m para arado de aivecas, resultado que reflete diretamente no aumento da porosidade total, visto que o preparo com grades desagrega mais as partículas do que a mobilização feita pelo arado de aivecas.

A degradação dos atributos físicos do solo sob o cultivo de cana-de-açúcar indicado pelo aumento da densidade do solo na camada de 0,00 - 0,20 m, da redução da porosidade total, principalmente macroporosidade, também foram mencionados por Ceddia et al. (1999), Brito et al. (2006), Centurion et al. (2007) e Silva Júnior et al. (2009).

Tratando-se de colheita mecanizada de cana crua, e observando os valores baixos de macroporosidade do presente trabalho, verifica-se que os valores concordam os encontrados por Souza et al. (2006), que compararam dois sistemas de colheita, cana queimada com colheita manual e cana crua com colheita mecanizada e verificaram que o sistema de colheita mecanizada apresentou menores valores de macroporosidade do solo em todas as camadas (0,0 - 0,1; 0,1 - 0,2; 0,2 - 0,3 e 0,3 - 0,4 m), inclusive menores que 10%, considerado como valor mínimo de porosidade de aeração necessário ao desenvolvimento do sistema radicular (GUPTA ; ALLMARAS, 1987).

Neste contexto, Carvalho et al. (1991) afirmaram que a macroporosidade é a mais afetada pelo cultivo contínuo de cana-de-açúcar. Ainda, segundo Souza et al. (2006), o aumento da densidade do solo até a profundidade de 0,4 m, nos dois sistemas de colheita de cana, deve-se ao tráfego de máquinas pesadas durante o plantio e a colheita. Entretanto, notam-se valores superiores para a cana crua, porém não significativos na profundidade de 0,1 - 0,4 m. Sendo constatado o mesmo comportamento para o presente trabalho.

Carvalho et al. (2011), nos seus estudos avaliando atributos físicos de três classes de solos cultivados com cana-de-açúcar sob colheita mecanizada apenas o Latossolo de textura

argilosa apresentou condições ideais de porosidade total (51,12%), sendo que o Argissolo e o Latossolo textura média permaneceram em níveis considerados mínimos (35,37 - 38,28%, respectivamente), valores estes parecidos aos encontrados no trabalho em pauta, para todas as camadas estudadas.

Tabela 12 - Valores médios de macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo, em função de implementos de preparo de solo, associados com e sem aplicação de gesso na 1ª cana soca, na camada de 0 a 0,15 m.

Tratamentos	0,00 - 0,15 m			Densidade
	Macro	Micro	Total	
		m ³ m ⁻³		kg dm ⁻³
Preparo do solo				
Aiveca	0,090 a	0,292 b	0,382 a	1,558
Escarificador	0,077 ab	0,289 b	0,368 b	1,566
Grade pesada	0,066 b	0,308 a	0,374 ba	1,612
Gessagem				
Sem	0,075	0,299	0,374	1,570
Com	0,078	0,300	0,378	1,587
Teste F				
Preparo do solo (P)	2,98 *	4,68 *	2,76 *	0,63 ^{ns}
Gessagem (G)	0,74 ^{ns}	0,82 ^{ns}	0,14 ^{ns}	0,17 ^{ns}
P*G	1,19 ^{ns}	0,71 ^{ns}	0,13 ^{ns}	0,02 ^{ns}
DMS				
Preparo do solo	0,021	0,017	0,012	0,113
Gessagem	0,013	0,012	0,008	0,073
CV(%)	30,20	7,21	3,74	8,15

Médias seguidas de letras iguais na coluna, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. ^{ns}Significativo ao nível de 5% de probabilidade, * Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 13 - Valores médios de macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo, em função de implementos de preparo de solo, associados com e sem aplicação de gesso na 1ª cana soca, na camada de 0,15 a 0,30 m.

Tratamentos	0,15 - 0,30 m			Densidade
	Macro	Micro	Total	
		m ³ m ⁻³		kg dm ⁻³
Preparo do solo				
Aiveca	0,087 a	0,272 b	0,359	1,547
Escarificador	0,073 ab	0,276 ab	0,349	1,549
Grade pesada	0,058 b	0,288 a	0,346	1,592
Gessagem				
Sem	0,073	0,277	0,350	1,570
Com	0,074	0,278	0,352	1,555
Teste F				
Preparo do solo (P)	2,40 *	2,80 *	1,29 ^{ns}	0,05 ^{ns}
Gessagem (G)	0,01 ^{ns}	1,04 ^{ns}	0,16 ^{ns}	0,12 ^{ns}
P*G	0,09 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,42 ^{ns}	0,08 ^{ns}
DMS				
Preparo do solo	0,022	0,022	0,018	0,110
Gessagem	0,007	0,014	0,012	0,071
CV(%)	33,61	8,79	5,87	8,00

Médias seguidas de letras iguais na coluna, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. ^{ns}Significativo ao nível de 5% de probabilidade, * Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 14 - Valores médios de macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo, em função de implementos de preparo de solo, associados com e sem aplicação de gesso na 1ª cana soca, na camada de 0,30 a 0,45 m.

Tratamentos	0,30 - 0,45 m			Densidade
	Macro	Micro	Total	
		m ³ m ⁻³		kg dm ⁻³
Preparo do solo				
Aiveca	0,083	0,273	0,356	1,575
Escarificador	0,085	0,277	0,362	1,564
Grade pesada	0,085	0,272	0,357	1,585
Gessagem				
Sem	0,085	0,272	0,357	1,566
Com	0,084	0,276	0,360	1,584
Teste F				
Preparo do solo (P)	0,04 ^{ns}	0,37 ^{ns}	0,81 ^{ns}	0,10 ^{ns}
Gessagem (G)	0,01 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,19 ^{ns}	0,23 ^{ns}
P*G	0,05 ^{ns}	0,17 ^{ns}	0,49 ^{ns}	1,08 ^{ns}
DMS				
Preparo do solo	0,016	0,029	0,009	0,100
Gessagem	0,010	0,012	0,008	0,065
CV(%)	21,69	12,00	6,04	7,27

Médias não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. ^{ns}Significativo ao nível de 5% de probabilidade, * Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

4.2.3 Macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo em duas épocas – cana planta e 1ª cana soca

A comparação dos valores médios dos atributos físicos do solo entre as duas épocas de colheita encontram-se nas Tabelas 15, 16 e 17. A análise dos resultados indica que houve compactação do solo com o decorrer das colheitas, pois ocorreu redução nos valores de macroporosidade e aumento da microporosidade e densidade do solo, somente para a camada superficial (0 - 0,15m). Os dados da análise conjunta mostram que o tratamento com arado de aivecas, na profundidade de 0,15 - 0,30 m, propiciou menor compactação que os demais tratamentos de preparo do solo. Na camada mais profunda (0,30 - 0,45 m) não foram detectadas diferenças significativas nos atributos estudados em função das épocas de amostragem.

O comportamento observado nos atributos físicos entre as duas épocas deve-se à interferência direta sobre o solo, causado pelo intenso tráfego de máquinas e equipamentos, nas operações relacionadas aos tratos culturais e colheita mecanizada, como explicado por Gupta et al. (1989) que afirmam que os macroporos são sensíveis às pressões exercidas sobre o solo, justificado pela redução desses valores após a colheita realizada com máquinas e implementos que compactam o solo.

Esse comportamento também foi relatado por Souza et al. (2006) e Silva e Ribeiro (1997), que constataram que o cultivo intensivo da cultura de cana-de-açúcar reduziu significativamente a porosidade do solo, com maior evidência na macroporosidade, que poderá diminuir com o aumento do tempo de cultivo.

Roque et al. (2010) estudando sistemas mecanizados de colheita de cana não encontraram diferenças significativas em dois anos quanto à densidade e macroporosidade do solo entre os sistemas estudados, em dois anos, porém o estudo mostrou também que houve aumento de densidade, no decorrer do tempo, até a profundidade de 0,3 m em função do tráfego de máquinas pesadas durante as operações de plantio e colheita.

Tabela 15 - Valores médios de macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo, em função de implementos de preparo de solo, associados com e sem aplicação de gesso, na linha da cana planta e 1ª cana soca, na camada de 0 a 0,15 m.

Tratamentos	0,00 - 0,15 m			Densidade kg dm ⁻³
	Macro	Micro	Total	
	m ³ m ⁻³			
Preparo do solo				
Aiveca	0,102	0,278	0,380	1,533
Escarificador	0,096	0,282	0,378	1,566
Grade pesada	0,082	0,294	0,376	1,539
Gessagem				
Sem	0,095	0,282	0,377	1,540
Com	0,092	0,288	0,380	1,514
Época (E)				
2009	0,109a	0,272b	0,381	1,513b
2011	0,077b	0,297a	0,374	1,578a
Teste F				
Preparo do solo (P)	1,32 ^{ns}	1,95 ^{ns}	0,19 ^{ns}	0,59 ^{ns}
Gessagem (G)	0,13 ^{ns}	0,69 ^{ns}	0,21 ^{ns}	0,18 ^{ns}
Epoca (E)	15,13*	13,22*	1,67 ^{ns}	6,31*
P*G	0,86 ^{ns}	1,90 ^{ns}	0,10 ^{ns}	0,18 ^{ns}
P*E	0,42 ^{ns}	1,02 ^{ns}	1,36 ^{ns}	0,29 ^{ns}
G*E	0,23 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,06 ^{ns}
P*G*E	0,21 ^{ns}	0,44 ^{ns}	0,33 ^{ns}	0,08 ^{ns}
DMS				
Preparo do solo	0,024	0,020	0,017	0,072
Gessagem	0,016	0,014	0,012	0,049
Época	0,016	0,014	0,012	0,049
CV(%)	36,50	10,22	6,54	6,45

Médias seguidas de letras iguais na coluna, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. ^{ns}Significativo ao nível de 5% de probabilidade, * Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 16 - Valores médios de macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo, em função de implementos de preparo de solo, associados com e sem aplicação de gesso, na linha da cana planta e 1ª cana soca, na camada de 0,15 a 0,30 m.

Tratamentos	0,15 - 0,30 m			Densidade
	Macro	Micro	Total	
		m ³ m ⁻³		kg dm ⁻³
Preparo do solo				
Aiveca	0,091a	0,272b	0,363	1,561
Escarificador	0,072b	0,286ba	0,358	1,564
Grade pesada	0,061b	0,290a	0,351	1,591
Gessagem				
Sem	0,077	0,283	0,360	1,570
Com	0,076	0,279	0,355	1,574
Época (E)				
2009	0,078	0,286	0,364a	1,581
2011	0,074	0,279	0,352b	1,563
Teste F				
Preparo do solo (P)	8,35*	3,44**	1,81 ^{ns}	0,60 ^{ns}
Gessagem (G)	0,06 ^{ns}	1,33 ^{ns}	0,79 ^{ns}	0,03 ^{ns}
Epoca (E)	1,06 ^{ns}	0,41 ^{ns}	5,62**	0,58 ^{ns}
P*G	0,26 ^{ns}	0,88 ^{ns}	1,27 ^{ns}	0,04 ^{ns}
P*E	0,41 ^{ns}	1,44 ^{ns}	0,41 ^{ns}	0,18 ^{ns}
G*E	0,18 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,14 ^{ns}	0,54 ^{ns}
P*G*E	0,08 ^{ns}	0,35 ^{ns}	0,08 ^{ns}	0,07 ^{ns}
DMS				
Preparo do solo	0,014	0,016	0,016	0,073
Gessagem	0,011	0,013	0,011	0,049
Época	0,011	0,013	0,010	0,049
CV(%)	29,00	10,03	6,28	6,64

Médias seguidas de letras iguais na coluna, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. ^{ns}Significativo ao nível de 5% de probabilidade, *Significativo ao nível de 5% e **Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Tabela 17 - Valores médios de macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo, em função de implementos de preparo de solo, associados com e sem aplicação de gesso, na linha da cana planta e 1ª cana soca, na camada de 030 a 0,45 m.

Tratamentos	0,30 - 0,45 m			Densidade
	Macro	Micro	Total	
	m ³ m ⁻³			kg dm ⁻³
Preparo do solo				
Aiveca	0,085	0,275	0,360	1,565
Escarificador	0,083	0,279	0,362	1,566
Grade pesada	0,083	0,279	0,362	1,566
Gessagem				
Sem	0,083	0,275	0,358	1,564
Com	0,082	0,278	0,360	1,579
Época (E)				
2009	0,080	0,279	0,360	1,569
2011	0,082	0,275	0,357	1,575
Teste F				
Preparo do solo (P)	0,53 ^{ns}	0,19 ^{ns}	0,69 ^{ns}	0,28 ^{ns}
Gessagem (G)	0,15 ^{ns}	0,30 ^{ns}	0,20 ^{ns}	0,41 ^{ns}
Epoca (E)	0,72 ^{ns}	0,59 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,06 ^{ns}
P*G	0,14 ^{ns}	0,56 ^{ns}	0,28 ^{ns}	0,51 ^{ns}
P*E	0,86 ^{ns}	0,58 ^{ns}	1,50 ^{ns}	0,11 ^{ns}
G*E	0,10 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,11 ^{ns}	0,02 ^{ns}
P*G*E	0,46 ^{ns}	0,09 ^{ns}	0,61 ^{ns}	0,07 ^{ns}
DMS				
Preparo do solo	0,013	0,017	0,012	0,068
Gessagem	0,009	0,012	0,008	0,046
Época	0,009	0,012	0,008	0,046
CV(%)	23,39	8,94	4,82	6,26

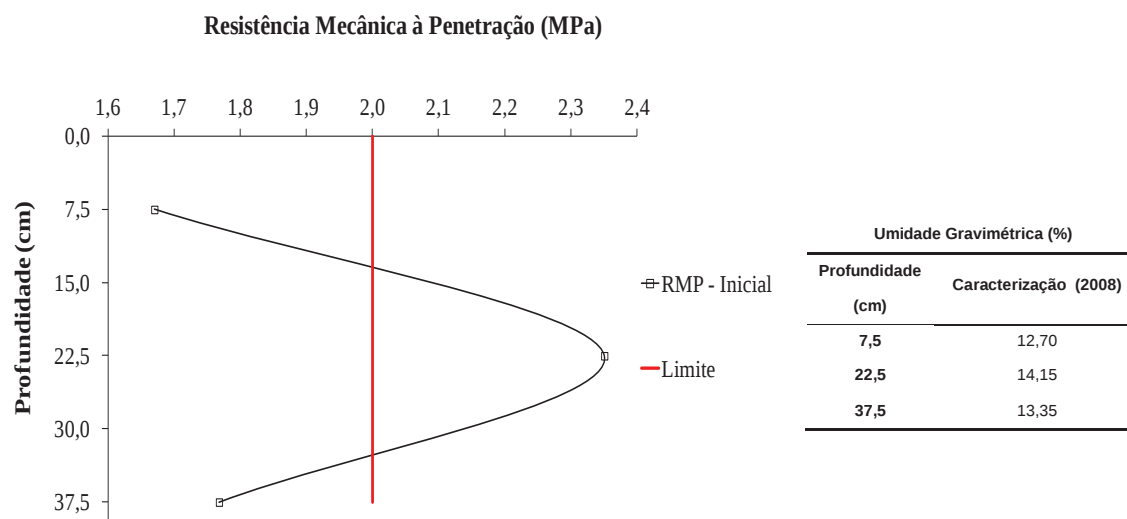
Médias não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. ^{ns}Significativo ao nível de 5% de probabilidade, *Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

4.2.4 Resistência mecânica do solo à penetração– caracterização da área em 2008, cana planta (2009) e 1ª cana soca (2011)

As Figuras 5, 6, 7, 8 e 9, a seguir, referem-se à resistência mecânica do solo à penetração realizadas nas camadas 0,0 a 0,15, 0,15 a 0,30 e 0,30 a 0,45 m, com valores tomados nos pontos médios das respectivas camadas.

Conforme observado na Figura 5 a resistência à penetração do solo antes da instalação do ensaio apresentava valores superiores a 2 MPa na camada entre 0,15 - 0,30m, sendo característica na região, em solo de pastagem sem mobilização há muito tempo.

Figura 5. Caracterização da resistência mecânica à penetração e umidade gravimétrica no perfil do solo, 0,0 a 45 cm, antes da implantação do experimento



Fonte: Lima (2012)

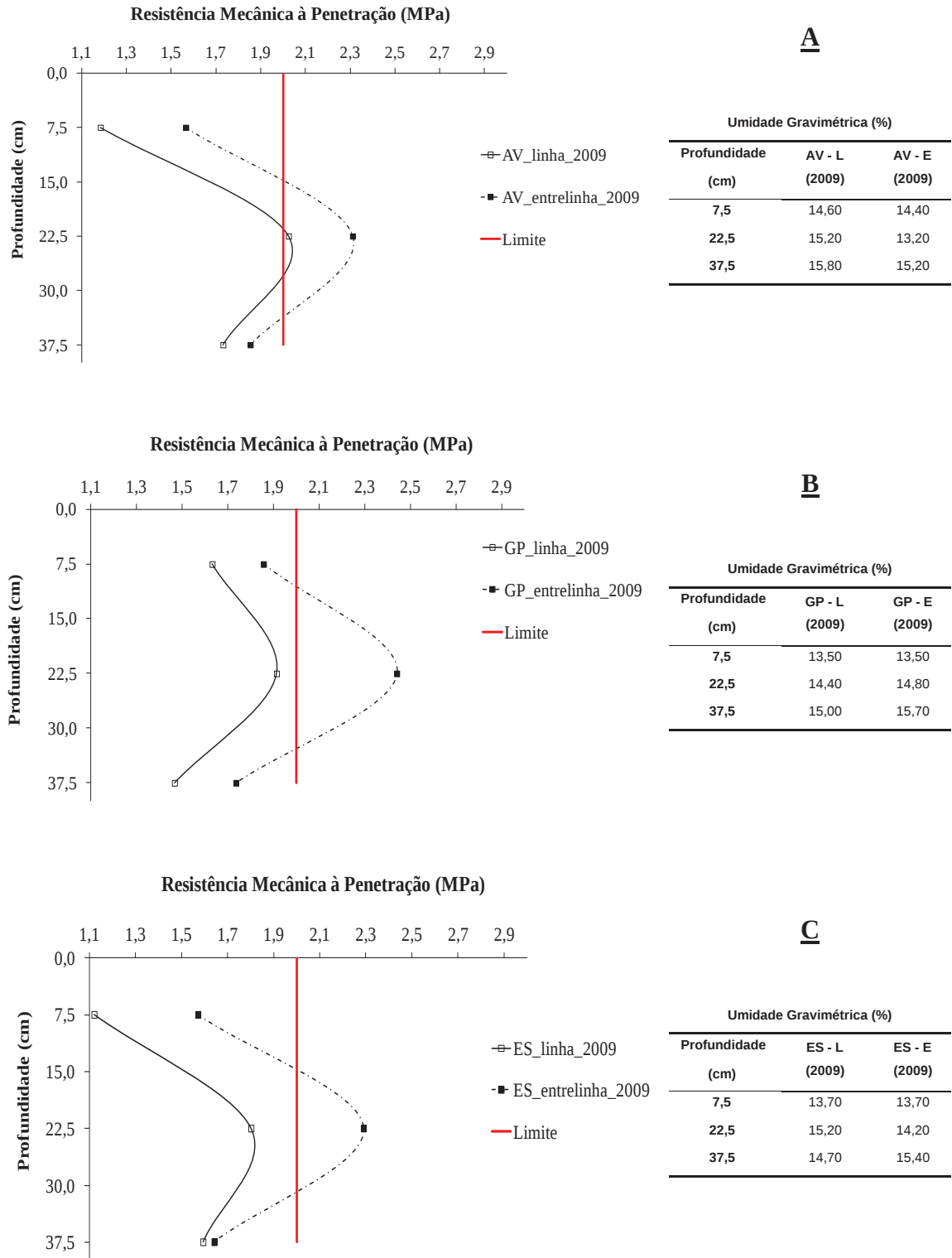
A Figura 6, apresenta os resultados da penetrografia após a colheita da cana planta, obtidos nas linhas e nas entre-linhas da cultura (onde houve tráfego das máquinas). Os gráficos evidenciam a maior compactação causada pelo tráfego, proporcionando maiores valores de resistências nas entre-linhas quando comparados com os valores obtidos nas linhas. Nota-se que, com exceção do tratamento com arado de aivecas na profundidade de 22,5 cm, nos demais tratamentos a resistência nas linhas mostram valores abaixo de 2 MPa (valor crítico) e os valores referentes as entre-linhas são superiores a 2 MPa em todos tratamentos. Considerando o valor de resistência mecânica do solo à penetração acima de 2 MPa como o início de limitação ao desenvolvimento de raízes, conforme Arshad et al. (1996), os resultados

desse ensaio mostram que não houve limitação física na região de maior desenvolvimento radicular (linhas) na cana planta.

Na penetrografia realizada após a colheita da 1ª cana soca (Figura 7), observa-se que a resistência mecânica do solo à penetração nas entre-linhas mostram valores superiores aos das linhas. Observa-se também que houve aumento da resistência em relação a colheita anterior (cana planta), tanto nas entre-linhas como nas linhas, mostrando valores acima de 2 MPa também nas linhas. As figuras 8 e 9 evidenciam esse aumento nos valores de resistência mecânica do solo à penetração de uma colheita para a outra, principalmente no tratamento com grade pesada, porém a resistência obtidas nas linhas nas duas épocas foram inferiores a 2 MPa nas parcelas escarificadas, decorrentes ao efeito residual do rompimento da camada compactada (Figura 5). As avaliações nas épocas das colheitas apresentaram os maiores valores de resistência mecânica do solo à penetração na profundidade de 22,5 cm, denotando a mesma tendência da penetrografia realizada anteriormente à instalação do ensaio. Os dados, de maneira geral, mostram que o tráfego de máquinas propiciou o aumento da compactação do solo, principalmente devido à colheita, haja vista os valores de resistência nas entre-linhas.

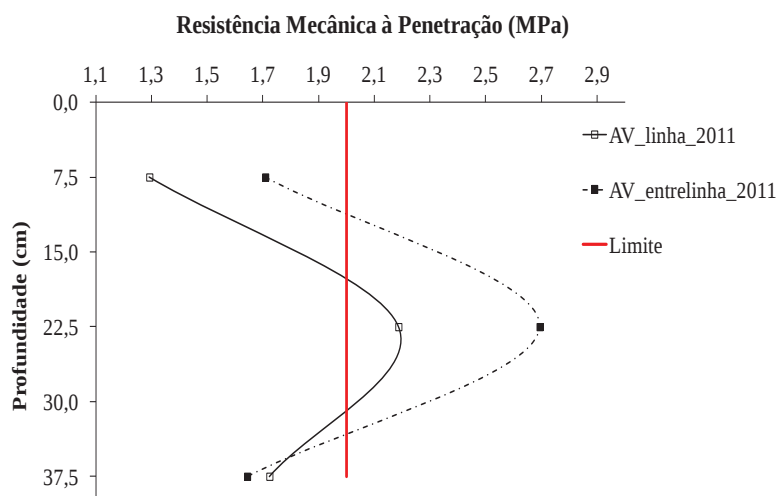
O mesmo comportamento da resistência mecânica do solo à penetração desse ensaio foi relatado por Roque et al. (2010), que, independentemente do sistema de colheita mecanizada, observaram aumento da resistência mecânica do solo à penetração até 0,3 m, o que confirma os dados de Silva et al. (2000), que avaliaram a resistência mecânica do solo à penetração pelo tráfego de uma colhedora em dois sistemas de manejo do solo, em Latossolo Vermelho e detectaram aumento da resistência à penetração nas profundidades de 0,1 – 0,2 e de 0,2 – 0,3 m, com valores considerados restritivos ao desenvolvimento radicular.

Figura 6. Resistência mecânica à penetração e umidade gravimétrica no perfil do solo, 0,0 a 45 cm, em cana planta (2009), na linha (L) e entrelinha (E), sob preparo do solo com: **A** - arado de aivecas (AV), **B** - grade pesada (GP) e **C** - escarificador (ES).

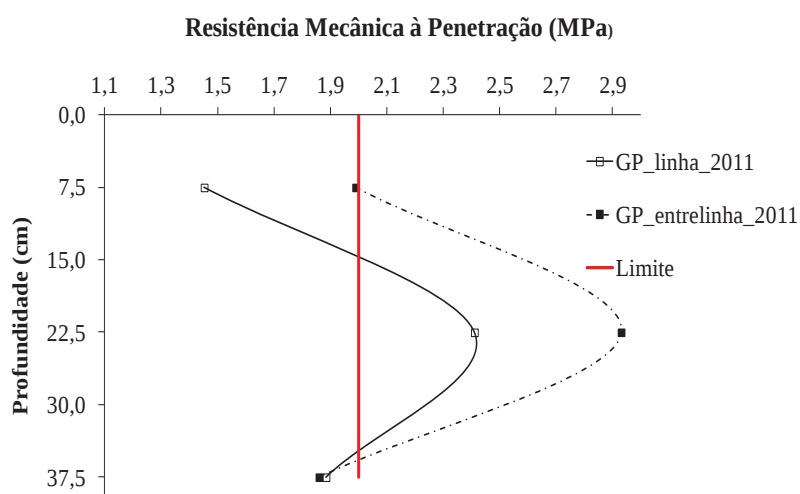


Fonte: Lima (2012)

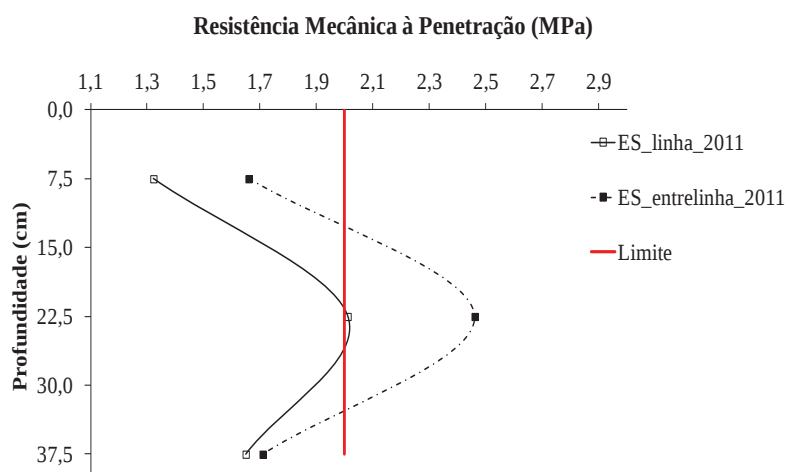
Figura 7. Resistência mecânica à penetração e umidade gravimétrica no perfil do solo, 0,0 a 45 cm, em 1ª cana soca (2011), na linha (L) e entrelinha (E), sob preparo do solo com: **A** - arado de aivecas (AV), **B** - grade pesada (GP) e **C** - escarificador (ES).



Umidade Gravimétrica (%)		
Profundidade (cm)	AV - L (2011)	AV - E (2011)
7,5	11,40	10,20
22,5	12,10	10,70
37,5	12,80	11,10

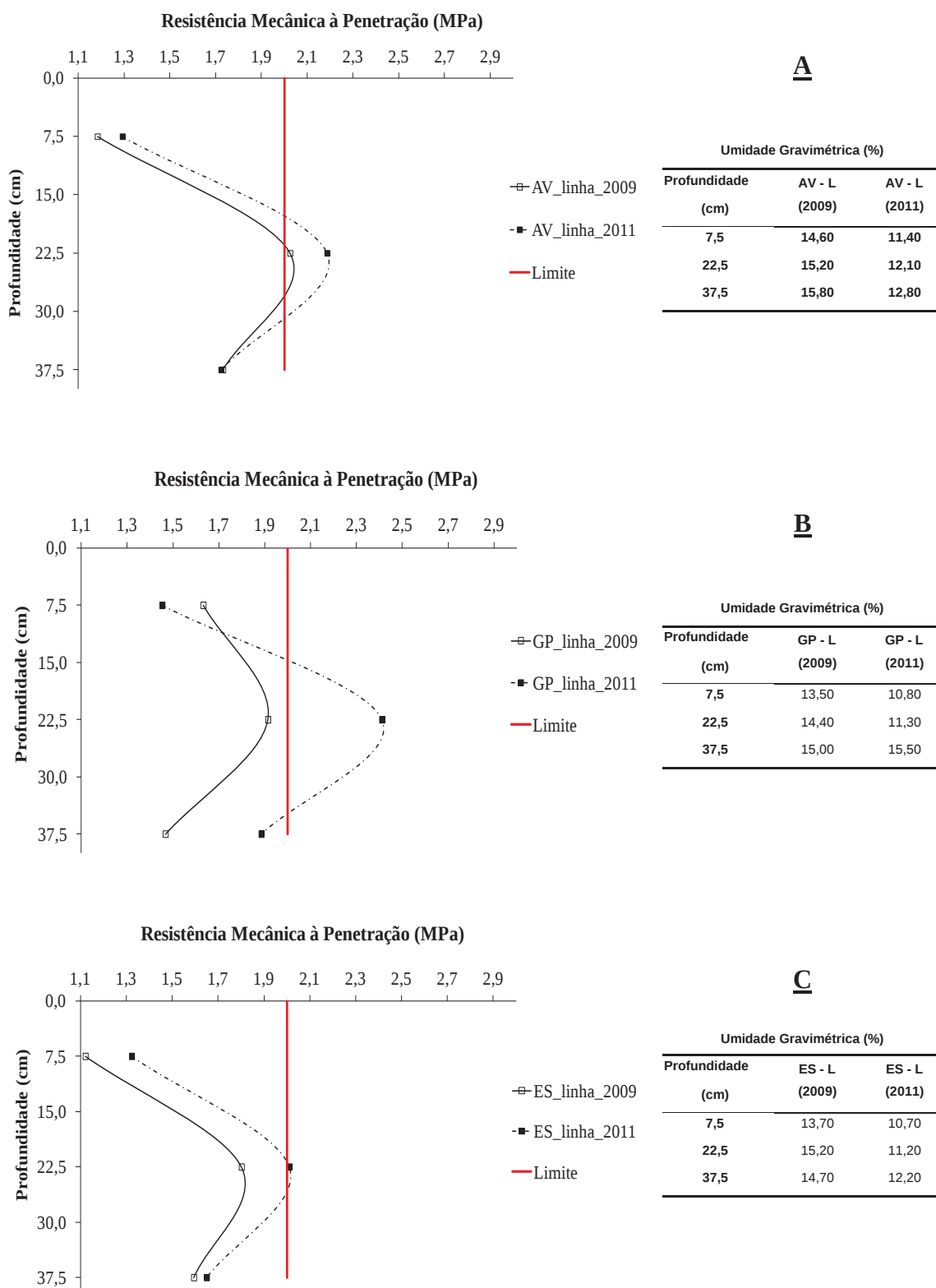


Umidade Gravimétrica (%)		
Profundidade (cm)	GP - L (2011)	GP - E (2011)
7,5	10,80	10,50
22,5	11,30	10,80
37,5	13,50	10,20



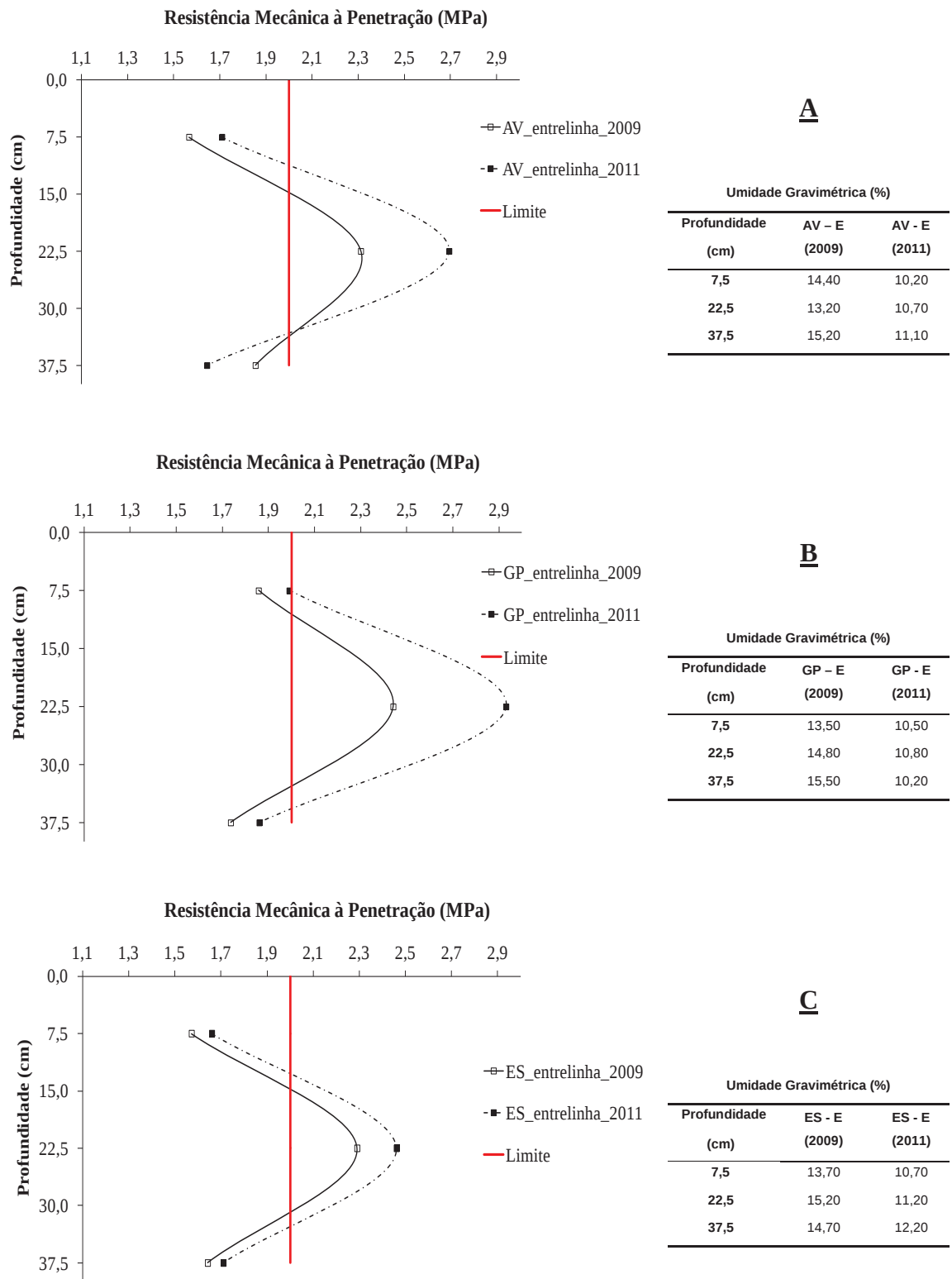
Umidade Gravimétrica (%)		
Profundidade (cm)	ES - L (2011)	ES - E (2011)
7,5	10,70	10,30
22,5	11,20	11,20
37,5	12,20	10,50

Figura 8. Resistência mecânica à penetração e umidade gravimétrica no perfil do solo, 0,0 a 45 cm, em cana planta e 1ª cana soca (2011), na linha (L), sob preparo do solo com: **A** - arado de aivecas (AV), **B** - grade pesada (GP) e **C** - escarificador (ES).



Fonte: Lima (2012)

Figura 9 - Resistência mecânica à penetração e umidade gravimétrica no perfil do solo, 0,0 a 45 cm, em cana planta (2009) e 1ª cana soca (2011), na entrelinha (E), sob preparo do solo com: A - arado de aivecas (AV), B - grade pesada (GP) e C - escarificador (ES).



Fonte: Lima (2012)

4.3 Características Agronômicas

4.3.1 *Números de perfilhos por metro*

Verifica-se, na Tabela 18, em cana planta, que o uso de gesso não afetou o número de perfilhos, diferentemente do preparo do solo com arado de aiveca que apresentou maior perfilhamento, de 5,16 e 3,12% superior a escarificação e gradagem respectivamente. Esse comportamento provavelmente ocorreu devido ao melhor condicionamento do solo promovido pelo arado de aivecas, que proporcionou maior inversão da leiva com incorporação de resíduos vegetais (matéria orgânica), adubos, corretivos e rompimento de possíveis camadas compactadas que manteve o solo mais estruturado. Os números de perfilhos mostram que os mesmos estão de acordo com os dados normalmente obtidos na região, porém aquém dos obtidos nas regiões tradicionais de cana-de-açúcar do Estado de São Paulo. Isto pode ser decorrente das altas temperaturas, distribuição irregular das precipitações pluviais registradas na região estuda (Figura 1, A e B) e característica varietal (LANDELL e SILVA, 2004). Em estudos realizados por Teixeira Filho (2011) no município de Suzanápolis - SP, utilizando doses e fontes de zinco, também observou baixo número de perfilhos por metro, com média geral de 10,57 e 11,03, respectivamente para os dois anos de cultivo da cana-de-açúcar, confirmando que este provável efeito se deve a competição existente entre os perfilhos na linha da cultura, por água, luz e nutrientes. Sendo assim, permanecem na linha da cultura apenas os perfilhos mais vigorosos.

Na Tabela 18, observa-se que não ocorreram diferenças significativas entre os preparos de solo para 1ª cana soca (2009/11). Houve diferenças para número de perfilhos proporcionado pelo tratamento com gesso. Esse efeito pode ser atribuído a ação das propriedades químicas do gesso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) que possui característica de mobilidade no perfil do solo, pela dissociação do gesso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) na liberação cálcio (Ca^{2+}) e do sulfato (SO_4^{2-}) disponíveis no solo para fazer as trocas químicas ou como nutrientes à cana-de-açúcar ou para formar pares iônicos, ou ainda como condicionador de solo em subsuperfície para complexação do alumínio (Al^{3+}) para as camadas mais profundas, onde o calcário tem pouca eficiência devido sua baixa mobilidade no solo. Dessa maneira o gesso deixa um ambiente favorável para o sistema radicular da cultura se desenvolver e explorar maior volume de solo, traduzindo em aumento na absorção de água e nutrientes pelas raízes, principalmente quando se trata de períodos de veranicos e época de seca, características intrínsecas à região Noroeste do Estado de São Paulo.

Tabela 18 - Valores médios do número de perfilhos por metro, na cana-de-açúcar (cana planta e 1ª cana soca), em função de diferentes implementos de preparo de solo, associados com e sem aplicação de gesso.

Número de perfilhos por metro		
Tratamentos	Cana planta (2009)	1ª cana soca (2011)
Preparo do Solo		
Aiveca	⁽¹⁾ 9,57a	⁽²⁾ 9,88
Escarificador	9,10b	9,88
Grade pesada	9,28ba	9,65
Gessagem		
Sem	9,21	9,65
Com	9,43	10,28
Teste F		
Preparo do solo (P)	5,44 **	1,61 ^{ns}
Gessagem (G)	3,43 ^{ns}	29,44**
P * G	0,25 ^{ns}	12,43**
D.M.S.		
Preparo do solo	0,34	0,34
Gessagem	0,23	0,23
C.V. (%)	10,08	10,60

Médias seguidas de letra iguais, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade. ^{ns}Não significativo; * Significativo ao nível de 5% de probabilidade, ** Significativo ao nível de 1% de probabilidade. ⁽¹⁾Valores médios de 8 avaliações de perfilhos por metro ao longo do ciclo da cultura (DAP). ⁽²⁾Valores médios de 9 avaliações de perfilhos por metro ao longo do ciclo da cultura (DAC).

Tais benefícios encontrados por Dal Bó et al. (1986) e Bruce et al. (1988) revelam que a movimentação de cálcio para subsolos deficientes no nutriente favorecem o crescimento radicular em profundidade propiciando maior exploração do volume de solo e auxiliando a absorção de água e dos nutrientes pelas plantas. Podendo confirmar a significância para o maior perfilhamento quando se compara tratamentos com e sem gesso no trabalho em questão.

Na Figura 1 (A e B), constam os dados do regime pluvial e temperaturas durante a condução do experimento, mostrando os períodos secos do ano na região Noroeste Paulista. Observa-se que no ano de 2010 o período seco foi mais pronunciado em relação a 2008 e 2009, registrando ausência de chuva por 180 dias (período seco entre os meses de março e agosto), para o mesmo período no ano de 2009 registra-se o contrário, com precipitação pluvial bem acima do normal para a região.

Analisando a Tabela 19, em conjunto com a Tabela 18, pode-se inferir que houve uma sinergia entre preparo de solo e uso do gesso, onde o preparo de solo com aiveca associado ao

uso de gesso apresentou maior número de perfilhos, em função do conjunto dos seus benefícios proporcionado ao solo e à planta, diferentemente da escarificação e gradagem.

Tabela 19 - Resultados do desdobramento da interação entre diferentes implementos de preparo de solo, com e sem aplicação de gesso para número de perfilhos (1ª cana soca) por metro.

Causa da Variação		Número de perfilhos por metro ⁽²⁾			
Preparo do solo		Aiveca	Escarificador	Grade pesada	DMS
Aplicação	Com Gesso	10,86 Aa	10,00 Ba	9,99 Ba	0,05
	Sem Gesso	9,37 Ab	9,82 Aa	9,76 Aa	0,05
DMS		0,04	0,04	0,04	

Médias seguidas de mesma letra não diferem significativamente entre si, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey. As letras minúsculas se referem às colunas e as maiúsculas às linhas.⁽²⁾Média de 9 avaliações no decorrer do ciclo da cultura (DAC).

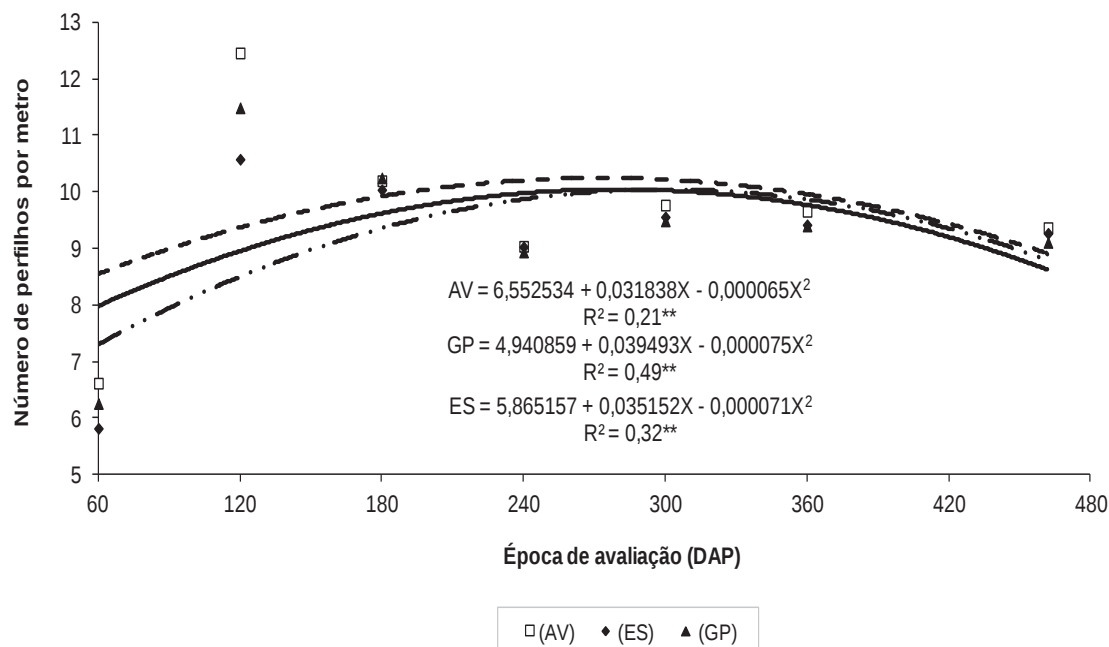
De acordo com Andrade et al. (2010), estudando o efeito de diferentes doses de gesso nas variáveis biométricas da cana-de-açúcar na região da Zona da Mata Norte Pernambucana, concluíram que o número de perfilhos não apresentaram diferenças significativas, e as médias encontradas variaram entre 12 e 18 perfilhos por metro.

Santos (2008), avaliando número de perfilhos por metro em trabalho com cana-de-açúcar (variedades e clones) em Aparecida do Taboado-MS, onde utilizou preparo do solo com grade pesada + arado de aiveca + grade intermediária + aplicação de 2 ton. de calcário + 1 ton. de gesso por hectare, obteve valores variando entre 11,02 a 18,86. Os resultados dos autores discordam aos obtidos no presente trabalho.

Observando a Figura 10 verifica-se que a interação épocas de avaliação (DAP) dentro de preparo do solo, da análise de variância referente ao número de perfilhos por metro (cana planta), os preparos do solo com arado de aivecas, grade pesada e escarificador ajustaram-se a funções quadrática, mostrando o mesmo comportamento, ou seja, com valores iniciais menores (60 DAP), aumentando gradativamente até o intervalo entre (240 e 300 DAP), e desta avaliação até a maturação (colheita – 462 DAP) houve um decréscimo e os valores ficaram estáveis entre 8 e 9 perfilhos por metro.

Mesmo mostrando resultado significativo, maior número de perfilhos na cana planta para o preparo de solo com aiveca, a Figura 10 mostra um comportamento semelhante entre os tratamentos, com mesma tendências.

Figura 10. Efeito da interação épocas de avaliação (DAP) dentro de preparo do solo, da análise de variância referente ao número de perfilhos por metro em cana-de-açúcar (cana planta).



Perfilho/Preparo de solo -2008/2009: — (GP) Grade Pesada - - - - (AV) Aiveca - · - · - (ES) Escarificador

Fonte: Lima (2012)

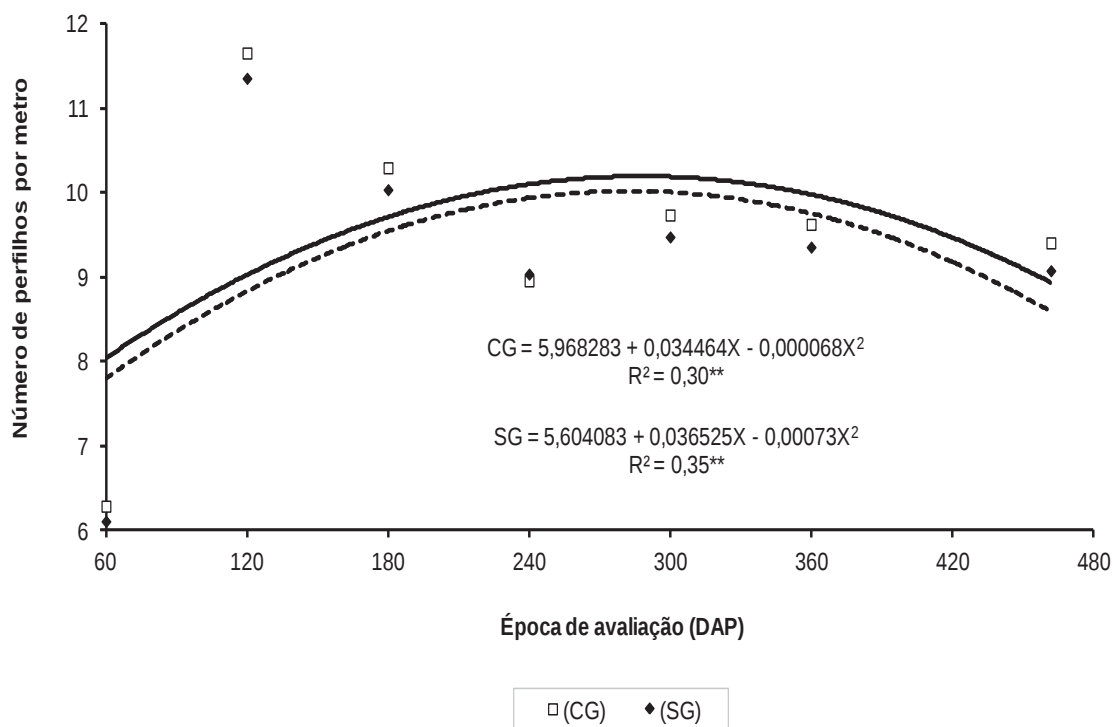
Para Silva et al. (2007), a redução do número de perfilhos por metro é uma característica fisiológica da cultura da cana-de-açúcar. Campos (2011) mostra que seus resultados foram maiores no início do perfilhamento, diferindo deste trabalho onde os valores foram maiores entre (240 e 300 DAP).

As figuras 11, 12, e 13 mostram comportamentos semelhantes para todos os tratamentos nas duas épocas de cultivo, cana planta (2008/09), no tratamento com e sem gesso (Figura 11), e na 1ª cana soca (2009/11), nos tratamentos de preparo do solo, e com e sem gesso (Figuras, 12 e 13). Pode-se verificar ainda que todos os resultados das figuras se ajustaram à funções quadráticas com o mesmo comportamento visto na (Figura 10). As figuras mostram, nas suas equações, coeficientes de determinação (R^2) baixos, mas significativos.

Os resultados de Santos et al. (2009), avaliando perfilhamento da cana-de-açúcar, em pesquisa realizada no município de Coruripe - AL, constataram valores menores no início com aumento significativo até o 4º mês do plantio. Após este período verificou-se grande mortalidade com redução na população de perfilhos, atribuindo tal fato à competição

populacional, que a partir dessa data continuou reduzindo em ritmo menor até a colheita, chegando a uma redução média de 66%.

Figura 11. Efeito da interação épocas de avaliação (DAP) dentro da aplicação de gesso, da análise de variância referente ao número de perfilhos por metro em cana-de-açúcar (cana planta).

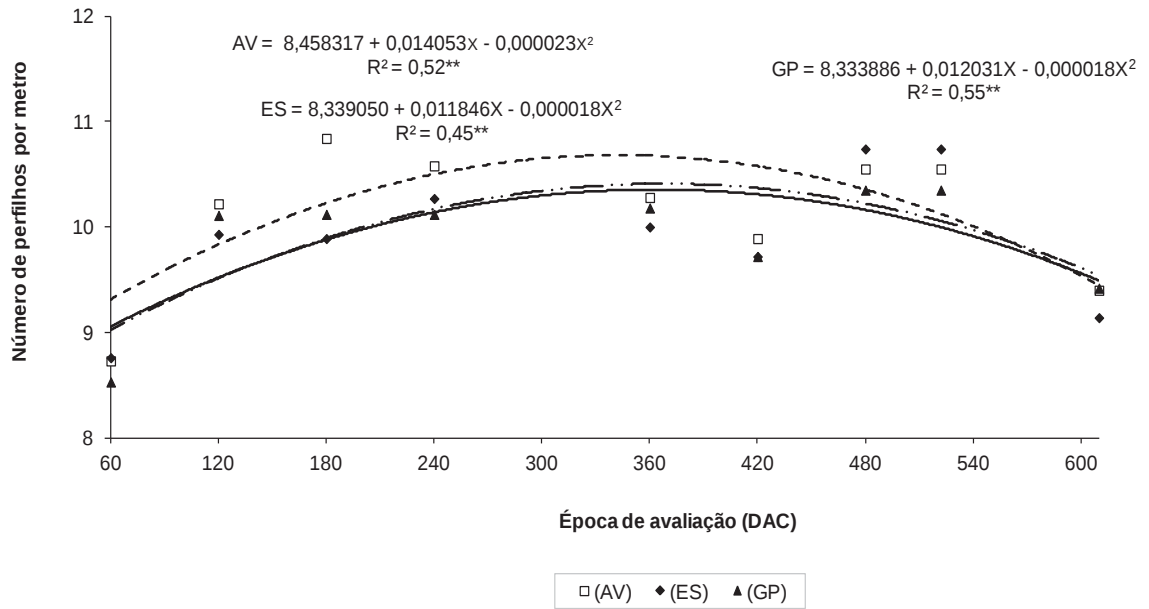


Perfilho/Gessagem - 2008/2009: — (CG) Com Gesso - - - - (SG) Sem Gesso

Fonte: Lima (2012)

No trabalho de Oliveira et al. (2004), realizado na unidade de pesquisa da Universidade Federal Rural de Pernambuco, município de Carpina, notaram máximo perfilhamento entre o 6º e 8º mês após o plantio, com variação de 14 a 23 plantas por metro. Os resultados encontrados pelos autores acima apresentaram comportamentos semelhantes com os observados neste trabalho no decorrer do ciclo, porém diferiram no número de perfilho, com valores maiores. A variação encontrada entre os autores pode ser resultado da interação entre temperaturas elevadas e irregularidades pluviais (SUGUITANI, 2001) e características genéticas das variedades (OLIVEIRA et al. 2007).

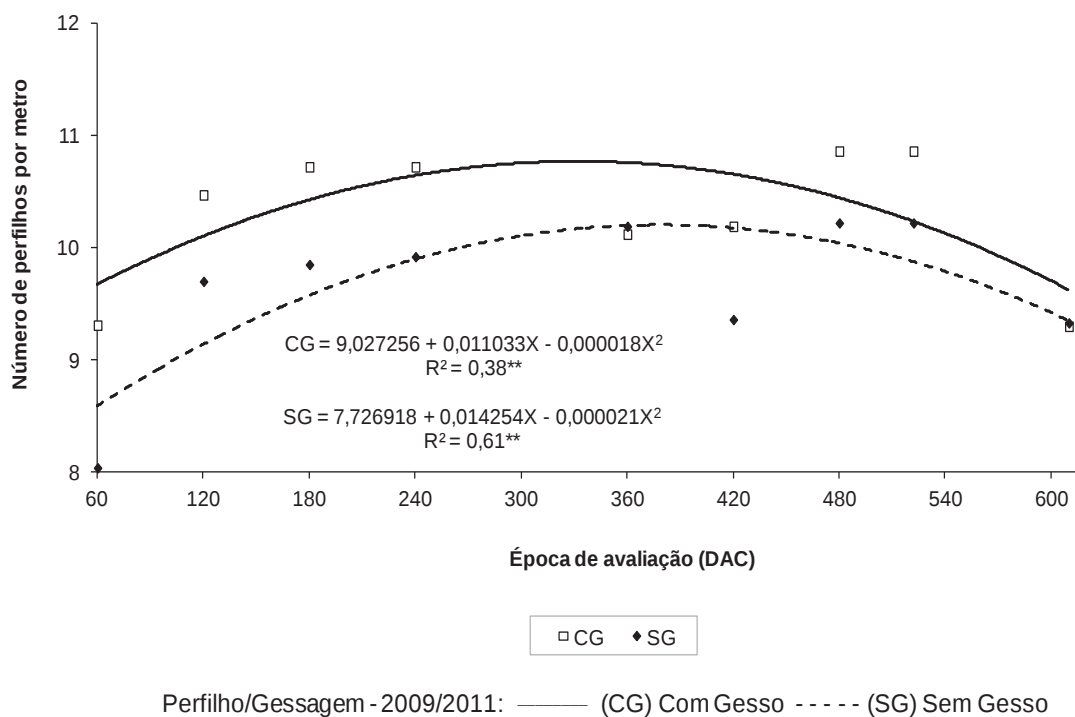
Figura 12. Efeito da interação épocas de avaliação (DAC) dentro de preparo do solo, da análise de variância referente ao número de perfilhos por metro em cana-de-açúcar (1ª cana-soca).



Perfilho/Preparo de solo -2009/2011: — (GP) Grade Pesada - - - - (AV) Aiveca - · - · - (ES) Escarificador

Fonte: Lima (2012)

Figura 13. Efeito da interação épocas de avaliação (DAC) dentro da aplicação de gesso, da análise de variância referente ao número de perfilhos por metro em cana-de-açúcar (1ª cana soca).



Fonte: Lima (2012)

4.3.2 Produtividade em toneladas de colmos por hectare (TCH), massa por colmo (MC), número de colmos por metro (NCM), comprimento de colmo (CC) e diâmetro de colmos (DC)

Verifica-se na Tabela 20 que as variáveis, do número, comprimento e diâmetro de colmos não foram influenciadas pelos tratamentos de preparo de solo associado com e sem aplicação de gesso, para cana planta (2008/09) e 1ª cana soca (2009/11). Foram verificados efeitos significativos para produtividade de toneladas de colmos por hectare (TCH) e massa por colmo (MC), com o uso de gesso em 1ª cana soca.

Analisando a produtividade de toneladas de colmos por hectare (TCH) da cana planta, para os tratamentos de preparo de solo e uso de gesso, verifica-se que mesmo não havendo diferenças estatísticas entre escarificação e aração foram obtidos valores superiores ao tratamento com gradagem em aproximadamente 7,5% de produtividade média para os dois

primeiros tratamentos de preparo, em valores absolutos. A mesma tendência foi mostrada pelo tratamento com gesso, com valor de produtividade média de 4,3% a mais pela adição de gesso. Estes resultados mesmo não sendo significativos estatisticamente podem ser importantes economicamente, principalmente em épocas de preços baixos e situações de adversidades climáticas, como ocorreu durante a condução deste trabalho. Resalta-se que na presente pesquisa não foram realizados os custos de produção, para tanto os custos de preparo de solo e aplicação de gesso deverá serem considerados para qualquer decisão a ser tomada.

Resultados de Azevedo (2008), usando três sistemas de preparo de solo: preparo vertical (PV) com grade pesada + escarificador + grade niveladora + sulcação; cultivo mínimo (CM) grade pesada + grade niveladora + sulcação, e plantio direto (PD) apenas a sulcação para o plantio da cana-de-açúcar, em dois anos de avaliação para as variáveis (NCM, CC e DC), encontrou diferença significativa somente para comprimento de colmo (CC), no primeiro ano, sendo observado o menor valor para (PV). No segundo ano as variáveis analisadas não foram influenciadas pelos tratamentos de preparo de solo. Ainda, segundo o autor, uma brotação inicial de grande número de perfilhos pode não significar maior produtividade, pois os colmos (perfilhos) podem concorrer entre si e haver mortalidade de parte dos mesmos.

De acordo com Santos (2008), que também descreve em sua pesquisa com cana-de-açúcar nas suas avaliações realizadas a partir do primeiro corte, quando analisou o número de colmos aos 284 e 314 dias após a colheita (DAC) testando materiais distintos, variedades e clones, para o município de Aparecida do Taboado-MS, com preparos do solo e calcário + gesso, seus resultados mostraram diferenças significativas apenas em duas variedades e clones, nas duas variáveis estudadas.

Os dados da 1ª cana soca mostram que houve diferenças significativas para produtividade de tonelada de colmos por hectare (TCH), em função do uso de gesso, com aumento de produtividade de 9,0 TCH. O fato do resultado de TCH ser favorável ao uso de gesso é explicado pelos benefícios proporcionados por esse insumo, tanto no fornecimento de nutrientes, como para o condicionamento do solo em subsuperfície promovendo melhor aprofundamento do sistema radicular e absorção de água em períodos de déficit hídrico, como o ocorrido neste estudo de março a agosto/2010 (Figura 1). Rocha (2007), usando diferentes doses de gesso em cana-de-açúcar, constatou existir uma indicação de que parte significativa do ganho de produtividade de TCH com uso de gesso deve ser atribuída não somente a redução da saturação por alumínio em subsuperfície, mas também, ao incremento de cálcio no sistema, interferindo substancialmente no ambiente radicular e melhorando a eficiência nutricional e hídrica das relações da planta com o solo. Resultados semelhantes foram

observados por Saldanha (2005) que, trabalhando com diferentes doses de gesso, encontrou efeitos significativos em análise de regressão feita entre a variável dependente (TCH) e a variável independente (doses de gesso), quando utilizou $1,1 \text{ t ha}^{-1}$, constatou um acréscimo médio de 15,4 TCH, e para a dose de $6,9 \text{ t ha}^{-1}$, atingiu 22,9 TCH a mais. Autores como (MORELLI et al., 1992) também encontraram resultados positivos de produtividade quando fizeram uso do gesso na cultura da cana.

A diferença significativa para (MC) em 1ª cana soca, favorável ao uso do gesso, pode ser atribuído ao efeito residual do gesso no condicionamento das camadas estudadas, onde foram observadas incrementos de nutriente e melhora nos atributos químicos do solo em profundidade, além da redução do Al^{3+} tóxico as raízes, favorecendo com isso o aprofundamento radicular da cana-de-açúcar, deixando o ambiente favorável ao bom desenvolvimento das plantas em expressar seu potencial produtivo, pelo maior peso por colmos e TCH, alcançados com o uso do gesso.

Apesar do melhor condicionamento físico do solo proporcionado pelo tratamento com arado de aivecas, as modalidades de preparo do solo não mostraram diferenças significativas entre si na produtividade da cana-de-açúcar, nas duas safras estudadas, provavelmente devido ao fato de tratar-se de solo de textura arenosa, sem compactação limitante no início do experimento.

Azevedo (2008), em dois anos de avaliação da cana-de-açúcar, no 3º e 4º ciclo, não constatou diferenças significativas para as variáveis (TCH, NCM e DC), verificando diferença significativa apenas para (CC) no 3º ciclo, com valores superiores em cultivo mínimo e plantio direto.

Tabela 20 - Valores médios de tonelada de colmos por hectare (TCH), massa por colmo (MC), número de colmos por metro (NCM), comprimento de colmo (CC) e diâmetro de colmo (DC) em cana planta e 1ª cana soca, em função de implementos de preparo de solo, associados com e sem aplicação de gesso.

Tratamentos	TCH (t ha ⁻¹)	M C (kg)	NCM (m)	C C (m)	D C (mm)
Preparo de Solo cana planta (2009)					
Aiveca	89,89	1,442	9,37	2,77	25,55
Escarificador	90,22	1,478	9,27	2,90	26,31
Grade pesada	83,72	1,400	9,11	2,82	25,14
Gesso					
Com	89,78	1,449	9,08	2,78	25,73
Sem	86,11	1,430	9,41	2,88	25,61
TESTE F					
Preparo de solo (P)	1,51 ^{ns}	0,49 ^{ns}	0,23 ^{ns}	0,88 ^{ns}	0,45 ^{ns}
Gesso (G)	1,14 ^{ns}	0,09 ^{ns}	1,08 ^{ns}	1,60 ^{ns}	0,01 ^{ns}
P*G	1,94 ^{ns}	2,55 ^{ns}	0,21 ^{ns}	0,53 ^{ns}	1,45 ^{ns}
DMS					
Preparo do solo	9,07	0,17	0,84	0,21	2,71
Gesso	5,88	0,11	0,55	0,14	1,76
C.V. (%)	11,74	13,43	10,36	8,48	12,03
Preparo de Solo 1ª cana soca (2011)					
Aiveca	77,44	1,234	9,40	2,99	26,11
Escarificador	73,34	1,207	9,14	3,09	26,45
Grade pesada	74,33	1,214	9,12	3,04	25,61
Gessagem					
Com	79,63 a	1,288 a	9,31	3,06	26,22
Sem	70,45 b	1,149 b	9,33	3,03	25,89
TESTE F					
Preparo de solo (P)	1,49 ^{ns}	0,13 ^{ns}	0,34 ^{ns}	1,17 ^{ns}	1,48 ^{ns}
Gessagem (G)	20,59*	9,39*	0,01 ^{ns}	0,32 ^{ns}	0,67 ^{ns}
P*G	1,01 ^{ns}	1,65 ^{ns}	2,30 ^{ns}	1,16 ^{ns}	0,20 ^{ns}
DMS					
Preparo do solo	5,33	0,12	0,81	0,13	1,06
Gessagem	3,46	0,08	0,52	0,09	0,69
C.V. (%)	8,09	11,16	9,89	4,96	4,64

Médias seguidas de letra iguais, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a nível de 10 % de probabilidade. ^{ns}Não significativos e * Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Campos (2011), trabalhando com cana-de-acúcar com dois tratamentos nas parcelas principais, sistemas de cultivo com e sem tríplice operação (com e sem a haste escarificadora) e nas subparcelas as adubações: mineral; mineral com torta de filtro; mineral com extrato húmico e a combinação mineral com torta de filtro e extrato húmico também não observou diferenças significativas entre os sistemas de cultivo para (CC) e (DC), apresentando resultados com o mesmo comportamento encontrados na presente pesquisa.

Tavares et al. (2010) citam que resultados em cana planta em Argissolo Amarelo de textura arenoso/média, com uso do preparo convencional e cultivo mínimo do solo, sendo que o preparo com cultivo mínimo proporcionou maiores (DC) e (CC), e atribuem esse

comportamento devido ao fato do canavial ter se adaptado bem as condições desse cultivo, verificando que, quanto menor foi o revolvimento do solo maior foi o desenvolvimento da cultura.

4.3.3 Características da qualidade tecnológica da cana-de-açúcar

4.3.3.1 Rendimento industrial da pureza do caldo (Pza), Fibra, Brix da cana, ar do caldo (AR), pol do caldo (PolC) e kg de ATR por tonelada de cana (ATR)

Conforme a Tabela 21, na cana planta, o preparo com arado de aivecas proporcionou maiores valores de PolC, e o uso de gesso apresentou maiores valores de PolC e de ATR em relação ao tratamento sem gesso. Para 1ª cana soca houve diferenças estatísticas para variável Brix e PolC, ambos com maiores valores com uso de gesso. Não foram constatados efeitos significativos para as demais variáveis nos tratamentos estudados.

Tais efeitos positivos para PolC podem estarem relacionados com o melhor preparo de solo, proporcionado pelo arado de aivecas, tanto na incorporação de corretivos em profundidade quanto na qualidade dos seus atributos físicos, devido à menor desestruturação do solo, além dos efeitos positivos causado pelo gesso no incremento de Ca^{2+} e S-SO_4^{2-} , redução de Al^{3+} e deslocamento de bases trocáveis, como Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} para as camadas em subsuperfície, com isso o sistema radicular se desenvolve mais e explora melhor o solo, com aumento na absorção de mais água e nutrientes, proporcionando a cana-de-açúcar melhor desenvolvimento, produtividade e qualidade da matéria prima usada para o processamento de açúcar e etanol pela usina.

O PolC é o principal parâmetro na determinação da qualidade da cana-de-açúcar e corresponde a 14 - 24% do total de açúcares da cana. No Estado de São Paulo, pioneiro em produção sucroalcooleira, segundo Fernandes (2000), uma cana para ser considerada madura deve apresentar Pol % do caldo variando entre 14,4 – 15,3 %. No entanto, verificando os valores de PolC da Tabela 21, observa-se que estão todos acima de 18%, independente dos preparos e aplicação de gesso utilizado, para as duas safras (cana planta e 1ª cana soca), ficando além do valor preconizado por Ripoli e Ripoli (2004), cujos os valores de POL do caldo da cana-de-açúcar deverá estar acima de 14%, para o início de safra e também para um bom rendimento industrial.

Tabela 21 - Valores médios de pureza do caldo (Pza), Fibra, Brix da cana, ar do caldo (AR), pol do caldo (PolC) e ATR por tonelada de cana (ATR) da cana planta e 1ª cana soca, em função de implementos de preparo de solo, associados com e sem aplicação de gesso, safras 2008/09 e 2009/11.

Fonte de Variação	Rendimento Industrial – cana planta (2008/09)					
	Pza.	Fibra	Brix	AR	PolC	ATR
PREPARO	-----%-----					kg t ⁻¹
Aiveca	93,56	12,35	20,51	0,43	19,13 a	154,42
Escarificador	91,17	13,13	19,98	0,52	18,21 b	149,17
Grade pesada	90,96	13,32	20,49	0,52	18,67 ba	151,52
GESSO						
Com Gesso	93,06	12,61	20,34	0,45	19,12 a	154,07 a
Sem Gesso	90,73	13,26	20,35	0,53	18,21 b	149,33 b
TESTE F						
Preparo (P)	1,91 ^{ns}	0,59 ^{ns}	1,92 ^{ns}	1,92 ^{ns}	3,31*	2,60 ^{ns}
Gesso(G)	3,72 ^{ns}	0,71 ^{ns}	0,01 ^{ns}	3,56 ^{ns}	3,27*	6,33*
P*G	1,34 ^{ns}	0,87 ^{ns}	0,17 ^{ns}	1,27 ^{ns}	1,42 ^{ns}	1,76 ^{ns}
CV (%)	3,95	17,94	3,89	25,7	4,68	3,72
DMS Preparo	3,69	2,36	0,80	0,13	0,89	5,74
DMS Gesso	2,49	1,59	0,54	0,09	0,60	3,88
PREPARO	Rendimento Industrial – 1ª cana soca (2009/11)					
Aiveca	90,12	12,95	18,78	0,56	19,38	149,03
Escarificador	89,19	12,85	18,36	0,58	18,78	151,28
Grade pesada	89,97	13,17	18,16	0,58	18,66	153,58
GESSO						
Com Gesso	89,87	12,74	18,85 a	0,56	19,56 a	153,68
Sem Gesso	88,99	13,23	18,02 b	0,58	18,32 b	148,90
TESTE F						
Preparo (P)	0,96 ^{ns}	0,83 ^{ns}	1,44 ^{ns}	0,54 ^{ns}	0,97 ^{ns}	1,12 ^{ns}
Gesso(G)	1,49 ^{ns}	2,67 ^{ns}	7,27 *	0,62 ^{ns}	7,51 *	3,71 ^{ns}
P*G	0,76 ^{ns}	0,87 ^{ns}	0,53 ^{ns}	0,97 ^{ns}	1,40 ^{ns}	0,55 ^{ns}
CV (%)	2,42	4,78	5,27	12,36	7,16	4,92
DMS Preparo	2,20	0,63	0,93	0,07	1,38	7,57
DMS Gesso	2,49	0,52	0,63	0,09	0,60	3,88

Médias seguidas de mesma letra não diferem significativamente entre si ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey. As letras minúsculas se referem às colunas. ^{ns}Não significativos e * Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Observando o resultado desse trabalho verifica-se que os valores de ATR foram superiores aos encontrados por Carvalho (2011), que utilizando a mesma dose de gesso, não detectaram diferenças significativas em relação ao uso de gesso. Rocha (2007) em seu estudo utilizando gesso em cana-de-açúcar observou efeitos significativos para a aplicação das doses de gesso mineral para a variável ATR.

Analizados todas as variáveis tecnológicas, para cana planta e para 1ª cana soca, verifica-se que independente de serem significativas ou não, para os tratamentos avaliados, seus valores estão de acordo com os indicados na literatura.

Segundo Fernandes (2000), Brix é o parâmetro mais utilizado na indústria de açúcar e álcool, e mantém uma relação direta, na prática, com o teor de açúcares do caldo, e

corresponde a 18-25% do total do caldo, Ripoli e Ripoli (2004) citam valores indicativos de qualidade para cana-de-açúcar para ATR (açúcar total recuperável), que deve ser $>150 \text{ kg t}^{-1}$.

De acordo com Tasso junior et al. (2007), o ATR representa todos os açúcares na forma de açúcares invertidos que serão recuperados na indústria, ressaltando-se que o pagamento de cana atual baseia-se nesse parâmetro, assim, quanto maior a quantidade de ATR (kg t^{-1}) maior será a produção de açúcar e álcool.

Observando os teores de Fibra verifica-se que os seus valores estão de acordo com aos recomendados por Ripoli e Ripoli (2004), pode variar entre 11 a 13 %. Marques et al. (2008) destacam que altos teores de fibra diminuem a eficiência das moendas na extração do caldo.

4.3.3.2 Produção acumulada de colmos e de ATR

O atual modelo de pagamento de cana é denominado sistema de remuneração da tonelada de cana pela qualidade, – definido pelo sistema CONSECANA. Para efeito de cálculo do valor da tonelada de cana-de-açúcar, considera-se a quantidade de açúcar total recuperável (ATR), contida na matéria-prima entregue na unidade de processamento (SEGATO et al., 2006b).

Analisando os resultados da Tabela 22, que contém as produções acumuladas de colmos e ATR, observa-se que os tratamentos de preparo do solo não apresentaram diferenças significativas, embora o arado de aivecas tenha proporcionado um aumento na produção de ATR de 857 kg ha^{-1} a mais que a escarificação e 1286 kg ha^{-1} que a gradagem.

As produções de colmo e de ATR mostram que o uso do gesso promoveu incremento significativo nesses componentes. No tratamento com gesso foram obtidos $12,86 \text{ t ha}^{-1}$ de colmos e 2734 kg ha^{-1} de ATR a mais que no tratamento sem gesso. Considerando o valor do ATR praticado pela (UDOP, 2012) para o Estado de São Paulo, em janeiro/2012, de R\$ 0,5026 por kg de ATR, proporciona um aumento na receita bruta de R\$ 1374,11 por hectare com o uso do gesso nas duas safras acumuladas.

Tabela 22 - Valores médios da produção acumulada (cana planta + cana soca) de colmos e de ATR por hectare em função de implementos de preparo de solo, associados com e sem aplicação de gesso, 2009/11.

Tratamentos	TCH	ATR
	(t ha ⁻¹)	(kg ha ⁻¹)
Preparo de Solo		
Aiveca	167,33	25409
Escarificador	163,56	24552
Grade pesada	158,05	24123
Gesso		
Com	169,41 a	26062 a
Sem	156,55 b	23328 b
TESTE F		
Preparo de solo (P)	1,85 ^{ns}	1,72 ^{ns}
Gessagem (G)	10,52 *	22,44 **
P*G	2,59 ^{ns}	2,23 ^{ns}
DMS		
Preparo do solo	10,44	1520
Gessagem	6,77	985
C.V. (%)	7,29	7,01

Médias seguidas de mesma letra não diferem significativamente entre si ao nível de 10% de probabilidade, pelo teste de Tukey. As letras minúsculas se referem às colunas. ^{ns}Não significativos e *Significativo ao nível de 5% de probabilidade, **Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

5 CONCLUSÕES

As diferenças nos valores dos atributos químicos do solo devido às modalidades de preparo ocorridas na cana planta não perduraram até a colheita da 1ª cana soca e também não refletiram na produtividade da cultura.

O preparo do solo com arado de aivecas proporcionou melhor condicionamento físico do solo, com efeito duradouro até a 1ª cana soca, porém não refletiu na produtividade da cultura.

Houve aumento da resistência à penetração do solo devido às práticas mecanizadas, principalmente a colheita.

O uso do gesso foi o fator de maior impacto na cultura, pois afetou positivamente os teores de $S-SO_4^{-2}$, Ca^{+2} e Al^{+3} em todo o perfil do solo nos dois cultivos da cana-de-açúcar, proporcionando maiores valores de ATR e produtividade de TCH, para cana planta e 1ª cana soca, respectivamente, mas não mostrou alterações nos atributos físicos estudados. As produções acumuladas de colmo e de ATR foram maiores no tratamento com gesso.

REFERÊNCIAS

- ALEGRE, J. C. et al. Tillage systems and soil properties in Latin America. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 20, p. 147-163, 1991.
- ALVARENGA, C. R.; COSTA, L. M.; MOURA FILHO, W.; REGAZZI, A. J. Crescimento de raízes de leguminosas em camadas de solo compactadas artificialmente. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 20, n. 2, p. 319-326, 1996.
- ANDRADE, P. K. B.; FREIRE, F. J.; MEDEIROS, M. R. F. A.; SOUZA, J. R. M.; SILVA, S. A. M.; CAVALCANTI, P. V. L. B. Biometria da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L) submetida a diferentes doses de gesso. In: JORNADA DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO – JEPEX, 10, 2010, Recife. **Anais...** Recife: UFRPE, 2010. Disponível em: <<http://www.sigeventos.com.br/jepex/inscricao/resumos/0001/R0625-1.PDF>>. Acesso em: 20 dez. 2011.
- AQUINO, S. S. **Atributos microbiológicos em sistemas de manejos do solo na integração lavoura-pecuária**. 2007. 76 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2007.
- ARAÚJO, R. S. **A cultura da cana-de-açúcar na regional de Andradina-SP: uma avaliação técnica, socioeconômica e ambiental**. 2010. 87 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em de Agronomia) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2010.
- ARSHAD, M. A.; LOWERY, B.; GROSSMAN, B. Physical tests for monitoring soil quality. In: DORAN, J. W.; JONES, A. J. (Ed.). **Methods for assessing soil quality**. Madison: Soil Science Society of America, 1996. p. 123-141. (SSSA Special Publication, 49)
- AZEVEDO, M. C. B. **Efeitos de três sistemas de manejo físico do solo no enraizamento e na produção de cana-de-açúcar**. 2008. 100 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2008.
- BALASTREIRE, L. A. **Máquinas agrícolas**. São Paulo: Manole, 1990. 307 p.
- BARBIERI, J. L.; POLI, D. M.; DONZELLE, J. L. **Os latossolos roxos e a cana-de-açúcar**. São Paulo: Coopersucar, 1985. 12 p. (Boletim técnico, 32).
- BAVER, L. D.; GARDNER, W. H.; GARDNER, W. R. **Física del suelos**. Mexico: Hispano-americana, 1973. 529 p.
- BIANCHINI, A.; MAGALHÃES, P. S. G.; BRAUNBECK, O. Cultivo do solo em áreas de cana crua. **Revista STAB**, Piracicaba, v. 19, n. 5, p. 30- 33, 2001.
- BOLLER, W. Cuidados com o Solo. **Revista Cultivar Máquinas**, Passo Fundo, v. 1, p. 6-8, 2001.

BOWEN, H. D. Alleviating mechanical impedance. In: ARKIN, G. F.; TAYLOR, H. M. (Comp.). **Modifying the root environment to reduce crop stress**. St. Joseph: American Society of Agricultural Engineers, 1981. p. 21-57.

BRAGA, F. A.; VALE, F. R.; MUNIZ, J. A. Movimentação de nutrientes no solo, crescimento e nutrição mineral do eucalipto, em função de doses de gesso e níveis de irrigação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 19, p. 69-77, 1995.

BRITO, L. F.; SOUZA, Z. M.; MONTANARI, R.; MARQUES JÚNIOR, J.; CAZETTA, D. A.; CALZAVARA, S. A.; OLIVEIRA, L. Influência de formas do relevo em atributos físicos de um Latossolo sob cultivo de cana-de-açúcar. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 6, p. 1749-1755, 2006.

BRUCE, R. C. L.; WARREL, L. A.; EDWARDS, D. G.; BELL, L. C. Effects of aluminium and calcium in three soil solution of acid soils an root elongation of *Glycine max*. **Australian Journal of Agricultural Research**, Victoria, v. 39, p. 319-338, 1988.

BRUNINI, A. C. Ambientes climáticos e exploração agrícola da cana-de-açúcar. In: MIRANDA, L. L. D; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A(Ed.). **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2008. p. 205-218.

BUZOLIN, P. R. S. **Efeitos da palha residual da colheita mecanizada associada a fontes de potássio e doses de nitrogênio, no solo e nas socas de cana-de-açúcar**. 1997. 89 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 1997.

CAIRES, E. F.; BLUM, J.; BARTH, G.; GARBUIO, F. J.; KUSMAN, M. T. Alterações químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação do sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 27, n. 2, p. 275-286, 2003.

CAIRES, E. F.; KUSMAN, M. T.; BARTH, G.; GARBUIO, F. J.; PADILHA, J.M. Alterações químicas do solo e resposta do milho à calagem e aplicação de gesso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, MG, v. 28, p. 125-136, 2004.

CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F. **Compactação do solo e desenvolvimento das plantas**. Piracicaba: ESALQ, 1997. 132 p.

CAMILOTTI, F.; ANDRIOLI, I.; DIAS, F. L. F.; CASAGRANDE, A. A.; SILVA, A. R.; MUTTON, M.; CENTURION, J. F. 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. 189-98, 2005.

CAMPOS, F. S. **Impactos de sistemas de cultivo, extrato húmico e adubos orgânico e mineral sobre alguns atributos físicos e químicos e um Latossolo, cultivado com cana-de-açúcar**. 2011. 124 f. Tese (Doutorado em Sistema de Produção) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2011.

CARPENEDO, V. **Compressibilidade de solos em sistemas de manejo**. 1994. 106 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1994.

CARVALHO, J. M. **Fertilidade do solo e produtividade de cana-soca em função da aplicação de vinhaça e gesso em solo arenoso do noroeste Paulista.** 2011 83 f. Dissertação (Mestrado em Sistema de Produção) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2011.

CARVALHO, L. A.; MEURER, I.; SILVA JUNIOR, C. A.; CAVALIERE, K. M. V.; SANTOS, C. F. B. Dependência espacial dos atributos físicos de três classes de solos cultivados com cana-de-açúcar sob colheita mecanizada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 9, p. 940–949, 2011.

CARVALHO, M. P.; SORATTO, R. P.; FREDDI, O.S. Variabilidade espacial de atributos físicos em um Latossolo Vermelho Distrófico sob preparo convencional em Selvíria, estado de Mato Grosso do Sul. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 24, n. 5, p. 1353-1361, 2002.

CARVALHO, M. C. S. ; RAIJ, B. van. Calcium sulphate, phosphogypsum and calcium carbonate in the amelioration of acid subsoils for root growth. **Plant and Soil**, The Hague, v. 192, p. 37-48, 1997.

CARVALHO, S. R.; BRUAND, A.; HARDY, M.; LEPRUM, J. C.; JAMAGNE, M. Tassement des sols ferrallitiques Podzólico Vermelho Amarelo sous culture de canne à sucre (état de Rio de Janeiro, Brésil): apport d'une analyse de la porosité associée a une connaissance détaillée de la phase minérale. **Cahiers Orstom, Série Pedologie**, Bondy, v. 26, n. 1, p. 195-212, 1991.

CASAGRANDE, S. A. **Tópicos de morfologia e fisiologia da Cana-de-açúcar.** Jaboticabal: FUNEP, 1991. 141 p.

CASTRO, O. M. **Preparo do solo para a cultura do milho.** Campinas: Fundação Cargill, 1989. 41 p. (Série técnica 3)

CEDDIA, M. B.; ANJOS, L. H. C.; LIMA, E.; RAVELLI NETO, A.; SILVA, L. A. Sistemas de colheita da cana-de-açúcar e alterações nas propriedades físicas de um solo Podzólico Amarelo no estado do Espírito Santo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 34, n. 8, p. 1467-1473, 1999.

CENTURION, J.; FREDDI, O. S.; ARATANI, R. G.; METZNER, A. F. M.; BEUTLER, A. N.; ANDRIOLI, I. Influência do cultivo de cana-de açúcar e da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de Latossolos Vermelhos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, n. 2, p. 199-209, 2007.

CERRI, C. C.; FELLER, C.; CHAUVEL, A. Evolução das principais propriedades de um Latossolo Vermelho-Escuro após desmatamento e cultivo por doze e cinquenta anos com cana-de-açúcar. **Cahiers ORSTOM, Série Pédologie**, Bondy, v. 26, p. 37-50, 1991.

CESNIK, R.; MIOQUE, I. **Melhoramento da cana-de-açúcar.** Brasília, DF: EMBRAPA Informações Tecnológicas, 2004.

CHAVES, M. L. **Considerações sobre o potássio na cultura da cana-de-açúcar**, Artigos Técnicos, Publicado em 13/05/2004. Disponível em: <<http://www.rehagro.com.br/siterehagro/publicacao.do?cdnoticia=118>>. Acesso: 06 dez. 2011.

CONAB-Companhia Nacional do Abastecimento. **Acompanhamento de safra brasileira: cana-de-açúcar**, segundo levantamento, Agosto. Brasília: Conab, 2011. p. 20.

CONSECANA - Conselho dos produtores de cana-de-açúcar, açúcar e álcool do estado de São Paulo. **Manual de instruções**. 5. ed. Piracicaba: Consecana, 2006. 112 p.

CORREIA, J. C. Características físicas de um Latossolo Amarelo muito argiloso (Typic Acrorthox) do Estado do Amazonas, sob diferentes métodos de preparo do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 20, p. 1381-1387, 1985.

CRONQUIST, A. **An integrated system of classification of flowering plants**. New York: Columbia University Press, 1981. 126 p.

CUBILLA, M.; REINERT, D. J.; AITA, C. e REICHERT, J. M. Plantas de cobertura do solo: uma alternativa para aliviar a compactação em sistema plantio direto. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, v. 71, p. 29-32, 2002.

DAL BÓ, M. A.; RIBEIRO, A. C.; COSTA, L. M.; THIÉBAUT, J. T. L. ; NOVAIS, R. F. Efeito da adição de diferentes fontes de cálcio em colunas de solo cultivadas com cana-de-açúcar: I. Movimentação de bases no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 10, p. 195-198, 1986.

DEMARIA, I. C.; CASTRO, O. M.; SOUZA DIAS, H. Atributos físicos do solo e crescimento radicular de soja em Latossolo Roxo sob diferentes métodos de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 23, n. 3, p. 703-709, 1999.

DEDECEK, R. A.; CURCIO, G. R.; RACHWAL, M. F. G.; SIMON, A. A.; Efeitos de sistemas de preparo do solo na erosão e na produtividade da acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.). **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 17, n. 3, p. 205-215, 2007.

DEMATTE, J. L. I. Considerações sobre sistemas de preparo do solo na cultura da cana-de-açúcar: **Revista Opiniões**, Jul-Set. 2005. Disponível em: <www.revistaopinioes.com.br/aa/materia.php?id=340> Acesso em: 13 nov. 2011.

DEMATTE, J. L. I. Solos arenosos de baixa fertilidade; estratégia de manejo. In: SEMINÁRIO AGROINDUSTRIAL, 5, SEMANA “LUIZ DE QUEIROZ, 29, 1986, Piracicaba.” **STAB: Açúcar, Alcool e Subprodutos**. Piracicaba, 1986. (mimeogr.).

DEXTER, A. R. Mechanics of root growth. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 98, p. 303-312, 1987.

DIAS, F. L. F. **Sistemas de preparo de solo em área de colheita mecanizada de cana crua**. 2001. 83 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2001.

DIAS, L. E.; ALVAREZ, V. H.; COSTA, L. M.; NOVAIS, R. F. Dinâmica de algumas formas de enxofre em colunas de solos tratados com diferentes doses de fósforo e gesso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 18, p. 373-380, 1994.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA/CNPSo, 1997. 212 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Sistema barreirão: utilização de fosfatagem na recuperação de pastagem degradada** – 1998. Santo Antonio de Goiás: Embrapa, 1986.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Sistema Barreirão: utilização de fosfatagem na recuperação de pastagem degradada** – 1998. Santo Antonio de Goiás, GO: EMBRAPA/CNPAP, 1998, p. 51. (Circular técnica, 31).

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

ERNANI, P. R. Alterações em algumas características químicas na camada arável do solo pela aplicação de gesso agrícola sobre a superfície de campos nativos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 10, p. 241-245, 1986.

ERNANI, P. R.; BARBER, S. A. Composição da solução do solo e lixiviação de cátions afetados pela aplicação de cloreto e sulfato de cálcio em um solo ácido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 10, p. 41-46, 1993.

FARIAS, G. S.; CASSOL, E. A. ; MIELNICZUK, J. Efeito de sistemas de cultivo sobre a porosidade e retenção da água em um solo laterítico bruno-avermelhado distrófico (paleudult). **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 20, p. 1389-1393, 1985.

FARINA, M. P. W.; CHANNON, P.; THIBAUD, G. R. A comparison of strategies for ameliorating subsoil acidity. II. Long-term soil effects. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 64, p. 652–658, 2000.

FERNANDES, A. C. **Cálculos na agroindústria da cana de açúcar**. Piracicaba: STAB, 2000. 193 p.

FERNANDES, B.; GALLOWAY, H. M. Efeito das rodas do trator em propriedades físicas de solos. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 34, n. 196, p. 562-568, 1987.

FERNANDES, J. **A subsolagem no controle da compactação do solo na cana-soca (*Saccharum spp*) variedade CB 41-76 e seus efeitos no rendimento agrícola e no sistema radicular**. 1979. 158 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1979.

FERREIRA, D. F. Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., 2000, São Carlos. **Anais...** São Carlos: UFSCar, 2000. p. 255-258.

FIGUEIREDO, P. R. A.; MAGALHÃES, P. S. G. Otimização do desempenho de uma máquina de preparo mínimo do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 21., 1992, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1992. p.1405-1418.

FORTTRAN, R. **Aplicação de calcário, silicato e gesso em soqueira de cana-de-açúcar despilhada a fogo.** 2008. 100 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2008.

FREITAS, G. R. Preparo do Solo. In: PARANHOS, S.B. (Ed.). **Cana-de-açúcar: cultivo e utilização.** Campinas: Fundação Cargil, 1987. Cap. 3, p. 271-283.

FURLANI, C. E. A. **Efeito do manejo do solo e do manejo da cobertura de inverno na cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.).** 2000. 218 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2000.

GAMERO, C. A.; SIQUEIRA, R. LEVIEN, R.; SILVA, S. L. Decomposição da aveia preta (*Avena strigosa* Schreb) manejada com rolo-faca e triturador de palhas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 26, 1997, Campina Grande. **Anais...** Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba, 1997. CD ROM.

GUPTA, S. C.; ALLMARAS, R. R. Models to assess the susceptibility of soils to excessive compaction. **Advances in Soil Science**, New York, v. 6, n. 1, p. 65-100, 1987.

GUPTA, S. C.; SHARMA, P. P.; DE FRANCHI, S. A. Compaction effects on soil structure. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 42, p. 311-38, 1989.

HENKLAIN, J. C. Efeito do preparo do solo sobre as características do solo. In: PEIXOTO, R. T. G.; AHRENS, D. C.; SAMAHA, M. J. **Plantio direto: o caminho para uma agricultura sustentável.** Ponta Grossa: Instituto Agrônômico do Paraná, 1997. p. 207-221.

HOFFMANN, H. P. (Ed.). **Variedades RB de cana-de-açúcar.** Araras: CCA/UFSCar, 2008. 30 p.

ILLERA, V.; GARRIDO, F.; VIZCAYNO, C.; GARCIA-GONZALEZ, M. T. Field application of industrial by-products as Al toxicity amendments: chemical and mineralogical implications. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 55, p. 681–692. 2004.

JORGE, J. A. **Compactação do solo: causa, consequência e maneiras de evitar a sua ocorrência.** Campinas: Instituto Agrônômico, 1983. 22 p. (Circular técnica).

KIEHL, E. J. **Manual de edafologia: relações solo-planta.** Piracicaba: Agrônômica Ceres, 1979. 264 p.

LANDELL, M. G. A.; SILVA, M. A. As estratégias de seleção da cana em desenvolvimento no Brasil. **Visão Agrícola**, Piracicaba, v. 1, p. 18-23, 2004.

LIMA, M. A.; LIGO, M. A. V.; CABRAL, M. R.; BOEIRA, R. C.; PESSOA, M. C. P. Y.; NEVES, M. C. **Emissão de gases de efeito estufa provenientes da queima de resíduos agrícolas no Brasil**. Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, 1999. 80 p.

LUCARELLI, J. R. F.; DANIEL, L. A.; ESPÍNDOLA, C. R. Evolução da camada compactada em diferentes tipos de preparo do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 26., 1997, Campina Grande. **Anais...** Campina Grande: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1997. CD-ROM.

MAGALHÃES, P. S. G. Manejo do solo e seus efeitos sobre a compactação. In: CICLO DE ESTUDOS SOBRE MECANIZAÇÃO AGRÍCOLA, 4, 1990, Jundiaí. **Anais...** Jundiaí: Fundação Cargil, 1990. p. 156-167.

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

MALUF, H. J. G. M.; CAMPOS, D. S.; MELO, P. F.; MALUF, G. E. G. M. Gesso agrícola em solos do Cerrado brasileiro. In: SEMANA DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA IFMG, 2, 2009, Bambuí. **Anais...** Bambui: IFMG, 2009.

MANTOVANI, E. C. Máquinas e implementos agrícolas. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 23, n. 1, p. 56-63, 1987.

MARQUES, M. O.; MACIEL, B. F.; FIGUEIREDO, I. C.; MARQUES, T. A. Considerações sobre a qualidade da matéria-prima. In: MARQUES M. O.; MUTTON, M. A.; NOGUEIRA, T. A. R.; TASSO JÚNIOR, L. C.; NOGUEIRA, G. A.; BERNARDI, J. H. **Tecnologias na agroindústria canavieira**. Jaboticabal: FCAV, 2008. p. 9-16.

MARQUES, M. O.; MARQUES, T. A.; TASSO JÚNIOR, L. C. **Tecnologia do açúcar: produção e industrialização da cana-de-açúcar**. Jaboticabal: FUNEP, 2001. 166 p.

MEDINA, C. C. de; BRINHOLI, O. Uso de resíduos agroindustriais na produção de cana de açúcar, açúcar e álcool. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 33, n. 11, p. 821 – 825, 1998.

MELLIS, E. V.; QUAGGIO, J. A. **Micronutrientes em cana-de-açúcar: a fome oculta dos canaviais**. 2009. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/2009_3/MicronutrientesCana/index.htm> Acesso em: 30 dez. 2011

MORAES, M. H.; BENEZ, S. H. Efeitos de diferentes sistemas de preparo do solo em algumas propriedades físicas de uma terra roxa estruturada e na produção de milho para um ano de cultivo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 16, n. 2, p. 31-41, 1996.

MORELLI, J. L.; DALBEN, A. E.; ALMEIDA, J. O. C.; DEMATTÊ, J. L. I. 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.; NELLI, E. J.; DEMATTÊ, J. L. I.; DALBEN, A. E. Efeito do gesso e do calcário nas propriedades químicas de solos arenosos álicos e na produção de cana de açúcar. **Revista STAB**, Piracicaba, v. 6, n. 2, p. 24-31, 1987.

MOZAMBANI, A. E.; PINTO, A. S.; SEGATO, S. V.; MATTIUZ, C. F. M. História e morfologia da cana-de-açúcar. In: SEGATO, S. V.; PINTO, A. S.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J. C. M. **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: CP 2, 2006. 415 p.

OLMOS, I. R.; CAMARGO, M. N. Ocorrência de alumínio tóxico nos solos do Brasil, sua caracterização e distribuição. **Ciência e Cultura**, Rio de Janeiro, v. 28, n. 2, p. 171-180, 1976.

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.

OLIVEIRA, M. W.; BARBOSA, M. H. P.; MENDES, L. C.; DAMASCENO, C. M. Matéria seca e nutrientes na palhada de dez variedades de cana-de-açúcar. **Revista STAB**, Piracicaba, v. 21, n. 3, p. 30-31, 2003.

OLIVEIRA, R. A.; DAROS, E.; ZAMBON, J. L. C.; WEBER, H.; IDO, O. T.; BESPALHOK-FILHO, J. C.; ZUFFELLATO-RIBAS, K. C.; SILVA, D. K. T. Área foliar em três cultivares de cana-de-açúcar e sua correlação com a produção de biomassa. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 37, n. 2, p. 71-76, 2007.

OLIVEIRA, R. A.; DAROS, E.; ZAMBON, J. L. C.; WEBER, H.; IDO, O. T.; ZUFFELLATO-RIBAS, K. C.; KOEHLER, H. S.; SILVA, D. K. T. Crescimento e desenvolvimento de três cultivares de cana-de-açúcar, em cana planta, no estado do Paraná. **Scientia Agrária**, Curitiba, v. 5, n. 1-2, p. 87-94, 2004.

PAVAN, M. A.; BINGHAM, F. T.; PRATT, P. F. Toxicity of aluminium to coffee in Ultisols and Oxisols amended with CaCO_3 , MgCO_3 and CaSO_4 . **Soil Science Society of America Journal**, Amsterdam, v. 46, p. 1201-1207, 1982.

PALMEIRA, P. R. T.; PAULETTO, E. A.; TEIXEIRA, C. F. A.; GOMES, A. S. e SILVA, J. B. Agregação de um Planossolo submetido a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, MG, v. 23, p. 189-195, 1999.

PAULINO, A. F., MEDINA, C. C., AZEVEDO, M. C. B. *et al.* Chisel plowing in an Oxisol in post harvest of ratoon cane. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, MG, v. 28, n.5, p. 911-917, 2004.

PEREZ FILHO, A.; TESTEZLAF, R. ; TERESO, M. J. A. Efeito da irrigação na compactação de latossolos argilosos submetidos ao uso agrícola intenso. **Engenharia Agrícola**, Campinas, v. 13, n. 1, p. 39-55, 1993.

PIERCE, F. J.; FORTIN, M. C.; STATON, M. J. Immediate and residual effects of zone e tillage in rotation with no-tillage on soil physical properties and corn performance. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 30, n. 3, p. 149-165, 1992.

PRADO, H. Ambientes de produção de cana-de-açúcar na região Centro-sul do Brasil. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 110, p. 12-17, 2005.

PRADO, R. M., CENTURION, J. F. Alterações na cor e no grau de flocculação de um Latosolo Vermelho-Escuro sob cultivo contínuo de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 35, n. 1, p. 197-203, 2001.

PRIMAVESI, A. **Manejo ecológico do solo: agricultura em regiões tropicais**. São Paulo: Nobel, 1990. 549 p.

PROGRAMA. PROGRAMA DE MELHORAMENTO GENÉTICO DA CANA-DE-AÇÚCAR. **Variedades RB de Cana-de-açúcar**. São Carlos: Universidade Federal de São Carlos – PMGCA/UFSCar, 2008, 30 p. Disponível em: <http://pmgca.dbv.cca.ufscar.br/dow/VariedadesRB_2008.pdf>. Acesso em: 08 fev. 2011.

QUAGGIO, J. A. **Acidez e calagem em solos tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico, 2000. 111 p.

QUAGGIO, J. A.; DECHEN, A. R.; RAIJ, B. van. Efeitos da aplicação de calcário e gesso sobre a produção de amendoim e a lixiviação de bases no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 6, p. 189-194, 1982.

QUAGGIO, J. A.; RAIJ, B. van. Correção da acidez do solo. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 1996. p. 14-19. (Boletim técnico, 100).

RAIJ, B. van. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 1996. p. 10-11. (Boletim técnico nº 100).

RAIJ, B. van.; QUAGGIO, J. A. **Métodos de análises de solo para fins de fertilidade**. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 1983. 31 p. (Boletim técnico, 81).

RAIJ, B. van. **Gesso na agricultura**. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 2008.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. ; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de calagem e adubação para o estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 1997. 285 p. (Boletim técnico, 100)

RIPOLI, T. C. C.; RIPOLI, M. L. C. **Biomassa de cana-de-açúcar: colheita, energia e ambiente**. Piracicaba: Barros & Marques Ed. Eletrônica, 2004. 302 p.

RITCHEY, K. D.; BELESKY, D. P.; HALVORSON, J. J. Soil Properties and Clover Establishment Six Years after Surface Application of Calcium-Rich By-Products. **Journal of the Agronomy American Society**, Washington, v. 96, p. 1531-1538, 2004.

RITCHEY, K. D.; SOUZA, D. M. G.; SILVA, J. E. Strategies for increasing calcium in low – CEC Subsoil. In: ANNUAL MEETINGS, 75, 1983, Washington. **Agronomy Abstracts...** Washington: S.n., 1983. p. 20.

ROCHA, A. T. **Gesso mineral na melhoria do ambiente radicular da cana-de-açúcar e implicações na produtividade agrícola e industrial**. 2007. 69 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2007.

RODRIGUES, J. C.; PALHARES, A. C. Efeito da aplicação de calcário nas propriedades químicas do solo e na produtividades de cana-de-açúcar. In: SEMINÁRIO DE TECNOLOGIA AGRONÔMICA, 3., 1986, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Copersucar, 1986. p. 303–320.

ROQUE, A. A. O.; SOUZA, Z. M.; BARBOSA, R. S.; SOUZA, G. S. Controle de tráfego agrícola e atributos físicos do solo em área cultivada com cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 45, n. 7, p. 744-750, 2010.

ROSSETO, R.; SPIRONELLO, A.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. Calagem para cana-de-açúcar e sua interação com a adubação potássica. **Bragantia**, Campinas, v. 63, n. 1, p. 105-119, 2004.

RUDORFF, B. F. T. The contribution of qualitative variables to a sugarcane yield model based on spectral vegetation index. In: SIMPOSIO LATINOAMERICANO DE PERCEPCION REMOTA, 7, 1995, Puerto Vallarta. **Anais...** Puerto Vallarta: SELPER/SIE, 1995. v. 1, p. 705-708.

SALDANHA, E. C. M. **Gesso mineral em cana-de-açúcar, efeitos no solo e na planta**. 2005. 55 f. Tese (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2005.

SANTOS, A. C. A. **Avaliação de genótipos de cana-de-açúcar para as condições edafoclimáticas de Aparecida do Taboado – MS**. 2008. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Produção) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2008.

SANTOS, A. C.; VILELA, L. C.; BARRETO, P. M.; CASTRO, J. G. D.; SILVA, J. E. C. Alterações de atributos químicos pela calagem e gessagem superficial com o tempo de incubação. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 23, n. 1, p. 77-83, 2010.

SANTOS, M. L.; CARVALHO, M. P.; RAPASSI, R. M. A.; MURAISHI, C. T.; MALLER, A.; MATOS, F. A. Correlação linear e espacial entre produtividade de milho (*Zea mays* – L.) e atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférico sob plantio direto do Cerrado Brasileiro. **Acta Scientiarum**, Maringá, n. 3, v. 28, p. 313-321, 2006.

SANTOS, V. R.; MOURA FILHO, G.; ALBUQUERQUE, A. W.; COSTA, J. P. V.; SANTOS, C. G.; SANTOS, ALDA, C. I. Crescimento e produtividade agrícola de cana-de-açúcar em diferentes fontes de fósforo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 4, p. 389-396, 2009.

SECCO, D.; ROS, C. O.; SECCO, J. K.; FIORIN, J. E. Atributos físicos e produtividade de culturas em um Latossolo Vermelho argiloso sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 29, n. 3, p. 407-414, 2005.

SEGATO, S. V.; MATTIUZ, C. F. M.; MOZAMBANI, A. E. Aspectos fenológicos da cana-de-açúcar. In: SEGATO, S. V.; PINTO, A. S.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J. C. M. **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: CP 2, 2006a. p. 19-36.

SEGATO, S. V.; ALONSO, O.; LAROSA, G. Terminologias no setor sucroalcooleiro. In: SEGATO, S. V.; PINTO, A. S.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J. C. M. **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: CP 2, 2006b. p. 397-405.

SILVA JUNIOR, C. A.; CARVALHO, L. A.; MEURER, I.; LIBARDI, P. L.; SILVA, M. A. C.; OLIVEIRA, E. C. A. Alterações nos atributos físicos de um Latossolo Vermelho sob diferentes métodos de preparo para o plantio da cana-de-açúcar. **Revista Agrarian**, Dourados, v. 3, n. 8, p. 111-118, 2010.

SILVA JÚNIOR, C. A.; MEURER, I.; CARVALHO, L. A.; SILVA, M. A. C.; ECCO, M. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de preparo do solo em área de cana-de-açúcar: In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIENCIA DO SOLO, 32., 2009, Fortaleza. **Resumos...** Fortaleza: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009. p.1-4.

SILVA, A. A.; VALE, F. R.; FERNANDES, L. A.; FURTINI-NETO, A. E.; MUNIZ, J. A. Efeitos de relações $\text{CaSO}_4/\text{CaCO}_3$ na mobilidade de nutrientes no solo e no crescimento do algodoeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 22, p. 451-457, 1998.

SILVA, A. J. N.; 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, MG, v. 21, p. 677-684, 1997.

SILVA, V. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Resistência mecânica do solo à penetração influenciada pelo tráfego de uma colhedora em dois sistemas de manejo do solo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, n. 5, p. 795-801, 2000.

SILVA, A. J. N.; CABEDA, M. S. V. ; CARVALHO, F. G. Matéria orgânica propriedades físicas de um Argissolo Amarelo Coeso sob sistemas de manejo com cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, p. 579-585, 2006.

SILVA, A. J. N.; RIBEIRO, M. R.; CARVALHO, F. G.; SILVA, V. N.; SILVA, L. E. S. F. Impact of sugarcane cultivation on soil carbon fractions, consistence limits and aggregate stability of a Yellow Latosol in Northeast Brazil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 94, n. 2, p. 420-424, 2007.

SILVA, M. A.; GAVA, G. J. C.; CAPUTO, M. M.; PINCELLI, R. P.; JERÔNIMO, E. M.; CRUZ, J. C. S. Uso de reguladores de crescimento como potencializadores do perfilhamento e da produtividade em cana-soca. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 4, p. 545-552, 2007.

SILVA, M. S. L. da. ; RIBEIRO, M. R. Influência do cultivo contínuo da cana-de-açúcar em propriedades morfológicas e físicas de solos argilosos de tabuleiros do Estado de Alagoas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 16, p. 397-402, 1992.

SIQUEIRA, R. **Sistemas de preparo em diferentes tipos de coberturas vegetais do solo**. 199. 191 f. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1999.

SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C. Atributos químicos do solo decorrentes da aplicação em superfície de calcário e gesso em sistema plantio direto recém-implantado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, p. 675-688, 2008.

SORATTO, R. P. **Aplicação de calcário e gesso em superfície na implantação do sistema de plantio direto**. Botucatu, 2005. 173 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2005.

SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C. Atributos químicos do solo decorrentes da aplicação em superfície de calcário e gesso em sistemas plantio direto recém-implantado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. 2, p. 675 – 688, 2008.

SOUSA, Z. M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; BARBIERI, D. M. Variabilidade espacial da textura de um Latossolo Vermelho eutroférico sob cultivo de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, Sorocaba, v. 24, n. 2, p. 309-319, 2004.

SOUZA, Z. M.; BEUTLER, A. N.; PRADO, R. de M.; BENTO, M. J. C. Efeito de sistemas de colheita de cana-de-açúcar nos atributos físicos de um Latossolo Vermelho. **Científica**, Jaboticabal, v. 34, n. 1, p. 31 - 38, 2006.

SOUZA, Z. M.; SILVA, M. L. S. ; GUIMARÃES, G. L; CAMPOS, D. T. S.; CARVALHO, M. P.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial de atributos físicos em um Latossolo Vermelho Distrófico sob semeadura direta em Selvíria (MS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 25, n. 3, p. 699-707, 2001.

STAUT, L. A. Condições dos solos para o cultivo de cana-de-açúcar. 2005. Disponível em: <http://www.infobios.com/artigos/2005_2/CanaSolo/Index.htm>. Acesso em: 02 dez. 2007.

STONE, L. F. ; MOREIRA, J. A. A. Efeitos de preparo do solo no uso da água e na produtividade do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 35, n. 4, p. 835-841, 2000.

STRECK, C. A.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. e KAISER, D. R. Modificações em propriedades físicas com a compactação do solo causada pelo tráfego induzido de um trator em plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, p. 755-760, 2004.

SUGUITANI, C. **Fenologia da cana-de-açúcar (Saccharum spp.) sob efeito do fósforo**. 2001. 79 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

SUMNER, M. E. Amelioration of subsoil with minimum disturbance. In: JAYAWARDANE, N. S. ; STEWART, B. A. (Ed.). **Subsoil management techniques**. Athens: Lewis Publishers, 1995. p. 147 – 185.

SUN, B.; POSS, R.; MOREAU, R. ; AVENTURIER, A.; FALLAVIER, P. Effect of slaked lime and gypsum on acidity alleviation and nutrient leaching in an acid soil from Southern China. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 57, p. 215–223, 2000.

TASSO JUNIOR, L. C.; MARQUES, M. O.; FRANCO, A.; NOGUEIRA, A.; G. NOBILE, F. de; CAMILOTTI, F.; SILVA, A. R. da. Produtividade e qualidade de cana-de-açúcar cultivada em solo tratado com lodo de esgoto, vinhaça e adubos minerais. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 1, p. 276-283, 2007.

TAUPIER, L. O. G.; RODRÍGUEZ, G. G. A cana-de-açúcar. In: Instituto Cubano de Pesquisa dos derivados da cana-de-açúcar (ICIDCA). **Manual dos derivados da cana-de-açúcar , diversificação, matéria-prima, derivados do bagaço, derivados do melaço, outros derivados, resíduos e energia**. Brasília: ABIPTI, 1999. 129 p.

TAVARES, O. C. H. ; LIMA, E. ; ZONTA, E. Crescimento e produtividade da cana planta cultivada sob diferentes sistemas de preparo do solo e de colheita. **Acta Scientiarum Agronomy**, Curitiba, v. 32, p. 61-68, 2010.

TEIXEIRA FILHO, M. C. M. **Doses, fontes e modos de aplicação de zinco na cultura da cana-de-açúcar**. 2011. 153 f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2011.

UDOP. **Indicadores de Mercado**: ATR-SP. Disponível em: <http://www.udop.com.br/cana/tabela_consecana_saopaulo.pdf>. Acesso em: 02 jan. 2012.

UNIÃO DA AGROINDÚSTRIA CANAVIEIRA DE SÃO PAULO - UNICA. Setor Sucroenergético – **Histórico**: cultivo da cana hoje. Disponível em: <www.portalunica.com.br>. Acesso em: 19 nov. 2010.

USDA – UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Soil Survey Division. Soil Conservation Service. Soil Survey Staff. **Soil taxonomy**: a basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. Washington: USDA, 1975. 754 p. (USDA. Agriculture Handbook, 436).

VASCONCELOS, A. C. M.; GARCIA, J. C. **Cana-de-açúcar**: ambientes de produção. Ribeirão Preto: Potafós, 2005. 12 p. (Encarte técnico, 110).

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

WU, L.; SWAN, J. B.; ALLMARAS, R. R.; LOGSDON, S. D. Tillage and traffic influence on water and solute transport in corn-soybean systems. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 59, p. 185-191, 1995.

ZAMBROSI, F. C. B.; ALLEONI, L. R. F.; CAIRES, E. F. Teores de alumínio trocável e não trocável após calagem e gessagem em Latossolo sob plantio direto. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 3, p. 487–495, 2007.

ZANINE, A. M.; SANTOS, E. M.; FWEWIRA, D. J.; CARVALHO, G. P. Potencialidade da integração lavoura - pecuária: relação planta-animal. **Revista Eletrônica de Veterinária**, v. 7, n. 1, 2006. Disponível em: <<http://www.veterinaria.org/revistas/redvet>> . Acesso em: 02 nov. 2010.