**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Avaliação dos danos causados pelo inadvertido tráfego de veículos sobre as
soqueiras de cana-de-açúcar**

Vanderson Rabelo de Paula

**Dissertação apresentada para obtenção do título
de Mestre em Ciências. Área de concentração:
Máquinas Agrícolas**

**Piracicaba
2010**

Vanderson Rabelo de Paula
Engenheiro Agrícola

**Avaliação dos danos causados pelo inadvertido tráfego de veículos nas
soqueiras de cana-de-açúcar**

Orientador:
Prof. Dr. **JOSÉ PAULO MOLIN**

**Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Ciências. Área de concentração: Máquinas
Agrícolas**

**Piracicaba
2010**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP**

Paula, Vanderson Rabelo de

Avaliação dos danos causados pelo inadvertido tráfego de veículos sobre as soqueiras de cana-de-açúcar / Vanderson Rabelo de Paula. - - Piracicaba, 2010.
106 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2010.
Bibliografia.

1. Cana-de-açúcar 2. Colheita 3. Compactação dos solos 4. Controle de tráfego !
Mecanização agrícola I. Título

CDD 633.61
P324a

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

À minha mãe Dulcinéia, aos meus irmãos Odair José e Néia, e à memória de meu pai Odair.

Dedico.

***“A finalidade da ciência não é abrir a porta ao saber infinito, mas colocar um limite a
infinitude do erro.”***

Bertolt Brecht

AGRADECIMENTOS

A **Deus** que sempre dispõe da estrada rumo ao nosso progresso.

À **Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES** por propiciar-me bolsa de estudos nos meus primeiros meses de curso.

À **Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP** pela concessão de bolsa de estudos e financiamento de meu projeto.

À **Usina Nossa Senhora Aparecida** pertencente ao Grupo Virgolino de Oliveira S/A e aos seus incontáveis colaboradores aqui representados pelo **André Branquinho** e pelo **Ivan**, por toda a estrutura necessária a realização do trabalho de campo.

À **Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**, por oferecer as condições e apoio necessários à realização do mestrado.

À **Universidade Federal de Lavras** pela sólida formação acadêmica e por me inspirar na busca de novos caminhos.

Ao meu orientador, professor **Dr. José Paulo Molin**, pelas oportunidades, pela sua paciência e pelo seu exemplo constante de dedicação e profissionalismo.

Aos professores do departamento: **Marcos Milan, Casimiro Dias Gadanha Júnior, Tomas Caetano Ripoli e Thiago Libório Romanelli**.

À **Érica** pelo amor e apoio constantes e, sobretudo por acreditar mais em mim do que eu.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia de Biosistemas, **Áureo, Chicão, Juarez, Agnaldo, Afonso, Zé Geraldo, Gilmar, Fernanda, Dona Vera e Dona Lurdes**.

Aos amigos da pós-graduação: **Roselane, Felipe, Luis Henrique, Guilherme, Áureo, Wellington, Daniel, Tiago Carletti, Marcelo, Arthur, Étore, Fabrício, Thiago Machado, Gustavo Faulin, João Conrado, Franz, Paulo de Tarso, Gilda, Hudson, Mateus, Gustavo, Diego, Neisvaldo, Luciano**.

Aos amigos **Tiago Almeida e Marcelino** pelos ótimos momentos e pelo apoio mútuo.

Ao amigo **Márcio Carreira** por todo apoio e pelo exemplo de dedicação.

Ao amigo **José Vitor Salvi** por sua generosidade no campo profissional e pessoal.

SUMÁRIO

RESUMO.....	9
ABSTRACT	11
LISTA DE FIGURAS	13
LISTA DE TABELAS.....	15
1 INTRODUÇÃO.....	17
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
2.1 A importância e a influência da cana-de-açúcar.....	21
2.2 O Sistema produtivo da cana-de-açúcar e a colheita mecanizada	25
2.3 A expansão da mecanização na cana-de-açúcar e a compactação do solo	30
2.4 Controle de tráfego de veículos agrícolas.....	36
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	41
3.1 Definição dos tratamentos	41
3.2 Instalação do experimento	48
3.2.1 Preparo das áreas experimentais.....	48
3.3 Caracterizações das áreas experimentais.....	52
3.3.1 Caracterização da umidade, textura e densidade do solo	52
3.3.2 Caracterização da produtividade das parcelas experimentais.....	52
3.3.3 Caracterização biométrica e da qualidade tecnológica da matéria prima.....	53
3.3.4 Caracterização da Resistência do Solo à Penetração	53
3.3.5 Caracterização da cobertura de palha do solo	56
3.4 aplicação dos tratamentos	57
3.5 Identificações dos efeitos causados ao solo pelos tratamentos.....	58
3.5.1 Resistência do Solo à Penetração	58
3.5.2 Densidade do Solo	59
3.6 Identificação dos efeitos causados nas plantas pelos tratamentos	60
3.6.1 Contagem do número de perfilhos e das falhas de brotação	60

3.6.2 Biometria e qualidade da matéria-prima	61
3.6.3 Produtividade.....	61
3.7 Cuidados para a manutenção das parcelas experimentais	62
3.7.1 Tratos culturais	62
3.7.2 Manutenção da visibilidade dos limites físicos das parcelas experimentais	62
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	65
4.1 Caracterizações do solo das áreas experimentais	65
4.1.1 Resultados da caracterização dos tipos de solo	65
4.1.2 Resultados da caracterização da textura	65
4.1.3 Resultados da caracterização da umidade	66
4.1.4 Resultados da caracterização da densidade do solo	67
4.1.5 Resultados da caracterização da Resistência do Solo à Penetração	68
4.1.6 Resultados da caracterização da cobertura de palha no solo.....	72
4.2 Caracterizações da cultura nas áreas experimentais.....	73
4.2.1 Resultados da caracterização da produtividade.....	73
4.2.2 Resultados da caracterização da biometria.....	75
4.2.3 Resultados da caracterização da qualidade da matéria prima	76
4.3 Respostas do solo a aplicação dos tratamentos	76
4.3.1 Influência dos tratamentos Resistência do Solo à Penetração.....	76
4.3.2 Influência dos tratamentos na densidade do solo	81
4.4 Respostas da cultura à aplicação dos tratamentos	83
4.4.1 Influência dos tratamentos nas falhas de brotação	83
4.4.2 Influência dos tratamentos no número de perfilhos	84
4.4.3 Influência dos tratamentos na qualidade da matéria-prima.....	86
4.4.4 Influência dos tratamentos na biometria	87
4.4.5 Influência dos tratamentos na Produtividade	88
6 CONCLUSÕES	95
REFERÊNCIAS	97

RESUMO

Avaliação dos danos causados pelo inadvertido tráfego de veículos sobre as soqueiras de cana-de-açúcar.

O objetivo desse trabalho foi avaliar os possíveis danos causados pelo tráfego acidental de veículos agrícolas sobre as soqueiras de cana-de-açúcar no momento da colheita mecanizada. Isto foi feito através da aplicação de diferentes cargas em soqueiras recém colhidas, sob condição controlada, tendo como referência as cargas típicas aplicadas ao solo por um conjunto trator-transbordo, identificando seus efeitos no solo e na planta. Foram conduzidos experimentos em duas áreas com características homogêneas, porém com diferentes texturas de solo, sendo uma área mais argilosa e outra mais arenosa. Foi utilizado um trator para reprodução das cargas de tráfego sobre a soqueira e foram definidos cinco tratamentos, sendo três deles simulando possíveis condições de tráfego sobre as soqueiras, um tratamento que simulou uma condição de perfeito controle de tráfego e a testemunha, sem tráfego. Após as simulações de tráfego foram avaliadas características de solo (compactação e densidade), da planta (falhas de brotação, perfilhamento, biometria e produtividade) além da análise tecnológica da matéria-prima. Os resultados indicaram forte influência do tráfego acidental sobre as soqueiras em relação ao aumento da compactação do solo. Na área experimental com maior teor de argila houve significativa redução da produtividade nos tratamentos onde houve tráfego sobre as soqueiras e na área experimental de textura arenosa as diferenças não foram significativas. Não houve influência dos tratamentos na qualidade da matéria-prima nem nas falhas de brotação e perfilhamento. Para as características biométricas, o tráfego sobre as soqueiras causou redução do comprimento dos colmos na área mais argilosa. O experimento permitiu concluir que o tráfego acidental sobre as soqueiras promoveu alterações no solo, que foram mais intensas no solo argiloso, gerando reflexos negativos nas plantas e que o controle de tráfego permitiu alta intensidade de tráfego de rodados sem nenhuma influência na dinâmica da cultura da cana-de-açúcar.

Palavras-chave: Mecanização agrícola; Compactação do solo; Controle de tráfego

ABSTRACT

Evaluation of damages caused by inadvertent traffic of vehicles over sugar cane ratoon

This work aimed to evaluate possible damages caused by accidental traffic of agricultural vehicles to sugar cane ratoon at the moment of mechanized harvest. The evaluation was carried out by applying different loads on recently harvested sugar cane roots, under controlled conditions, using, as reference, typical loads applied to the soil by a sugar cane transport system composed by a tractor and infield wagons and identifying their effects on the soil and plant. The experiments were performed in two areas with similar characteristics, however with distinct soil textures - clay and sandy. A tractor was used to apply the loads and five treatments were defined, in which three of them simulated possible situation of accidental traffic on sugar cane roots, one treatment simulated the perfect condition of controlled traffic and the control (no traffic). After simulations of traffic, characteristics of soil (cone index and density) and the plant (sprout failure, sprouting number, biometrics characteristics, yield and raw material quality) were evaluated. Results show strong influence of accidental traffic on the sugar cane ratoon due to the increase of soil compaction. In the clay soil, there was significant yield reduction in the treatments where there was traffic on the sugar cane ratoon and in the sandy soil, differences were not significant. There was no difference of the treatments on the raw material quality, sprout failure and sprouting number. For the biometrical characteristics, traffic on the sugar cane ratoon caused reduction of the stem length on the clay soil. The experiments allowed to conclude that accidental traffic on the sugar cane ratoon promotes modifications in the soil, that was more intense on the clay soil, bringing negative effects on the plant and that controlling traffic permits high intensity of wheeled vehicles without affecting the dynamics of the sugar cane crop.

Keywords: Agricultural mechanization; Soil compaction; Traffic control

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Produção brasileira de cana, açúcar e etanol entre as safras 1990/91 a 2008/09.....	23
Figura 2 - Ciclo Fenológico da cana-de-açúcar.....	26
Figura 3 - Fluxograma de operações agrícolas do sistema produtivo da cana-de-açúcar	27
Figura 4 - Evolução da colheita de cana crua no Estado de São Paulo entres as safras 2006/07 a 2009/2010.....	28
Figura 5 - Esquema de uma colhedora de cana picada com destaque para os principais órgãos ativos	29
Figura 6 - Esquema de unidade de transporte com 2 transbordos	30
Figura 7 - Ausência de raízes em regiões do solo com alto índice de resistência à penetração	34
Figura 8 - Interface de pressões obtidas na interface pneu-solo para um pneu radial 18.4 R 38; Esquerda: pressão de inflação adequada (41 kPa); Direita: pressão de inflação excessiva (124 kPa).....	35
Figura 9 - Veículo de tração extra-largo (Wide Frame Tractive Vehicle)	38
Figura 10 - Colheita mecanizada de cana: (a) Colhedora de cana picada; (b) Conjunto Trator-transbordo.....	41
Figura 11 - Trator reboque utilizado na aplicação dos tratamentos	46
Figura 12 - Esquema de realização do tráfego sobre as soqueiras de cana-de-açúcar	47
Figura 13 - Arranjo das parcelas experimentais	49
Figura 14 - Croquis do esquadreamento e estaqueamento das parcelas experimentais	50
Figura 15 - Triângulo retângulo utilizado no esquadreamento das parcelas	50
Figura 16 - Detalhe da cana-de-açúcar remanescente contida nas parcelas das duas áreas experimentais: (a) área 1; (b) área 2.....	51
Figura 17 - Detalhes do aparato de pesagem da cana-de-açúcar: (a) Estrutura de suspensão e célula de carga; (b) transdutor de carga.....	53
Figura 18 - (a) Penetrômetro eletrônico de acionamento hidráulico; (b) Detalhe de aquisição de dados.....	54
Figura 19 - Penetrômetro eletrônico de acionamento manual em operação.....	55
Figura 20 - Croqui de caracterização da Resistência do Solo à Penetração (RSP) das parcelas experimentais.....	56

Figura 21 - Sorteio dos tratamentos nas parcelas da área experimental 1	57
Figura 22 - Sorteio dos tratamentos nas parcelas da área experimental 2.....	58
Figura 23 - Croqui da malha amostral para identificação da resposta da Resistência do Solo à Penetração (RSP) aos tratamentos nas parcelas experimentais.....	59
Figura 24 - Croqui do arranjo para contagem de amostra do número de perfilhos de uma parcela experimental	60
Figura 25 - Eliminação da cana de bordadura com aplicação de herbicida	63
Figura 26 - Detalhe de região de bordadura eliminada pela aplicação de herbicida.....	63
Figura 27 - Caracterização da Resistência do Solo à Penetração na área experimental 2.....	71
Figura 28 - Caracterização da Resistência do Solo à Penetração na área experimental 2.....	71
Figura 29 - Produtividades em $t\ ha^{-1}$ do primeiro corte nas parcelas da área experimental 1...	74
Figura 30 - Produtividades em $t\ ha^{-1}$ do primeiro corte nas parcelas da área experimental 2...	74
Figura 31 - Resistência do Solo à Penetração nas fileiras de cana-de-açúcar para a área experimental 1.....	78
Figura 32 - Resistência do solo à penetração nas entre fileiras de cana-de-açúcar para a área experimental 1.....	78
Figura 33 - Resistência do Solo à Penetração nas fileiras de cana-de-açúcar para a área experimental 2.....	80
Figura 34 - Resistência do Solo à Penetração nas entre fileiras de cana-de-açúcar para a área experimental 2.....	81
Figura 35 - Produtividades do segundo corte da área experimental 1 separadas por repetições de cada tratamento.....	88
Figura 36 - Produtividades do segundo corte da área experimental 1 separadas por repetições de cada tratamento.....	90

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Quantidade e peso médio das máquinas que compõem uma frente de colheita típica.	42
Tabela 2 - Descrição dos tratamentos.....	43
Tabela 3 - Análise granulométrica das áreas experimentais.....	66
Tabela 4 - Caracterização da umidade das parcelas experimentais.....	66
Tabela 5 - Estatística descritiva da caracterização das densidades da área experimental 1	67
Tabela 6 - Estatística descritiva da caracterização das densidades da área experimental 2	68
Tabela 7 - Estatística descritiva da caracterização da RSP da área experimental 1	69
Tabela 8 - Estatística descritiva da caracterização da RSP da área experimental 2	70
Tabela 9 -Estatística descritiva para a cobertura de palha no solo das duas áreas experimentais	73
Tabela 10 - Estatística descritiva da caracterização da produtividade inicial de cana-de-açúcar nas duas áreas experimentais.....	73
Tabela 11 - Estatística descritiva dos valores médios obtidos da caracterização da biometria anteriores ao primeiro corte.....	75
Tabela 12 - Valores médios da caracterização da qualidade da matéria-prima.....	76
Tabela 13 - Análise de variância para a RSP para a área experimental 1	77
Tabela 14 - Análise de variância para a RSP para a área experimental 2	79
Tabela 15 - Análise de variância para as densidades do solo (g cm^{-3}) da área experimental 1	82
Tabela 16 - Análise de variância para as densidades do solo (g cm^{-3}) da área experimental 2	83
Tabela 17 - Estatística descritiva das falhas de brotação na área experimental 1	83
Tabela 18 - Estatística descritiva das falhas de brotação na área experimental 2	84
Tabela 19 - Estatística descritiva para o número de perfilhos por metro da área experimental 1 aos 75 e aos 120 dias após a aplicação dos tratamentos.....	85
Tabela 20 - Estatística descritiva para o número de perfilhos por metro da área experimental 2 aos 75 e aos 120 dias após a aplicação dos tratamentos.....	85
Tabela 21 - Análise de variância para a qualidade da matéria-prima da área experimental 1	86
Tabela 22 - Análise de variância para a qualidade da matéria-prima da área experimental 2	86
Tabela 23 - Análise de variância para a biometria das amostras da área experimental 1	87

Tabela 24 - Análise de variância para a biometria das amostras da área experimental 2	87
Tabela 25 - Análise de variância para as produtividades da área experimental 1	89
Tabela 26 - Análise de variância para as produtividades da área experimental 1 com nível de significância de 90%.	90
Tabela 27 - Análise de variância para as produtividades da área experimental 2	91

1 INTRODUÇÃO

A cultura da cana-de-açúcar vem ganhando cada vez mais importância no cenário agrícola nacional e internacional primordialmente pelo seu potencial na geração de energia renovável, seja por meio do açúcar, do etanol e também da co-geração de energia através da queima do bagaço e também do palhiço. Além disso, a cana-de-açúcar é muito utilizada na suplementação alimentar de animais e tem sido adotada na indústria química como matéria-prima para a produção de novos polímeros (PETRASOVITS et al., 2007) e também na indústria da madeira com adição de bagaço aos resíduos de madeira utilizados na produção de painéis aglomerados (MARMONI; FELIZOLA, 1995; SILVA et al., 2006).

Com a visão global cada vez mais focada na sustentabilidade, o uso de fontes renováveis para a obtenção de energia tem sido priorizado, tendo o Brasil na vanguarda desta tendência pela expressiva produção local de cana-de-açúcar e potencial de expansão. A cana-de-açúcar vem se expandido no país ao ponto de ultrapassar a energia hidrelétrica no montante da matriz energética nacional. A expansão da área cultivada com cana-de-açúcar no Brasil tem sido constante especialmente na região centro-sul onde a área de cana disponível para colheita na safra (2008/09) foi estimada em 6,53 milhões hectares, representando um aumento de 15,7% (917,9 mil ha) em relação à safra anterior. São Paulo é o maior produtor de cana com uma área de 4,45 milhões hectares disponíveis para colheita, representando 66% de toda área de cana da região centro-sul. Apresentou um crescimento 12,2% (483,3 mil ha) de área em relação à safra 2007/2008 (UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR - UNICA, 2008).

Contudo, essa expansão da cana-de-açúcar deve ocorrer de maneira sustentável ficando em sintonia com os inúmeros benefícios obtidos pelo seu uso. O foco na manutenção da expansão sustentável da cana-de-açúcar se dá no desenvolvimento de novas tecnologias que aumentem a produtividade da terra e da mão de obra, por meio de novas cultivares, novos equipamentos e novos sistemas de gerenciamento que propiciem a otimização contínua do sistema produtivo da cana-de-açúcar. São muitos os avanços alcançados com a inserção da mecanização na lavoura de cana-de-açúcar, principalmente com relação ao aumento das produtividades da mão-de-obra e da terra. No entanto, ainda se faz necessário o refinamento das técnicas de mecanização buscando mitigar problemas ainda existentes, como a

compactação do solo e os danos causados às socas de cana pelo inadvertido tráfego sobre estas.

O modelo agrícola adotado mundialmente, de caráter industrial, é cada vez mais dependente de mecanização e gera um antagonismo: desenvolver culturas que dependem de solos que oferecem baixa resistência ao desenvolvimento de seu sistema radicular, utilizando máquinas motoras e movidas que dependem de um solo que ofereça resistência suficiente permitindo a tração dos rodados. Os resultados atuais dessa condição em que se submetem os cultivos mecanizados apontam para inúmeros danos do solo e das plantas.

A mecanização no sistema produtivo da cana-de-açúcar é uma prática consolidada e em franca expansão, especialmente no que tange à operação de colheita. Na colheita mecanizada da cana-de-açúcar o sistema de carregamento e transporte dos rebolos colhidos pela colhedora combinada, trafega ao lado da colhedora sobre as entre fileiras da cana que já foi colhida. Contudo, a existência do tráfego acidental dos rodados sobre as soqueiras já colhidas é conhecida e admitida pelo setor agrícola das usinas e esse tráfego acidental expõe as soqueiras a cargas demasiadamente altas que podem afetar o solo e também a planta.

A compactação causada pelo tráfego intenso de máquinas e implementos agrícolas faz do solo um sistema pouco propício ao desenvolvimento de plantas devido à redução da macroporosidade, que afeta a capacidade de armazenamento de água e a aeração, ao aumento da resistência à penetração, que interfere diretamente no desenvolvimento dos sistemas radiculares. Tais fatos resultam em perdas expressivas de produtividade e na necessidade de uma ação mecânica profunda para recomposição estrutural do solo, o que reflete diretamente nos custos de produção.

A mitigação dos problemas relacionados à compactação do solo causada pelo tráfego de máquinas tem sido conseguida por meio da adoção de novas tecnologias como os pneus de baixa pressão e alta flutuação e de novas técnicas denominadas de controle de tráfego que partem do pressuposto de se estabelecer dentro das áreas cultivadas, faixas específicas para o tráfego dos rodados dos veículos agrícolas e o controle dos mesmos para que se garanta que os rodados sempre passem por essas faixas. O funcionamento de um sistema de controle de tráfego depende da padronização dos veículos agrícolas de um sistema produtivo, por meio do ajuste de bitolas e de sistemas de orientação ou de direcionamento que auxiliem o operador a trafegar sempre nas faixas de rodagem.

O ajuste de bitolas tem o objetivo de garantir que a distância entre os rodados dos veículos seja a mais padronizada possível, no intuito de reduzir o número de faixas de tráfego, reduzindo o percentual da área de cultivo que é utilizada para o tráfego de rodados. Outra maneira de redução das faixas de tráfego e padronização de bitolas é feita com a adoção de veículos de tração extra-largos, capazes de executar qualquer operação agrícola acoplando-se a eles máquinas e/ou implementos utilizados em operações de preparo de solo até a colheita. O uso deste único veículo para todas as operações garante a padronização de bitolas e a sua grande largura de trabalho reduz a área trafegada.

Os sistemas de orientação e direcionamento, denominados respectivamente de barra de luz e piloto automático são utilizados para garantir a precisão e acurácia do tráfego dos rodados nas faixas de tráfego. Para isso, tais sistemas se utilizam de sinal de GNSS (Global Navigation Satellite Systems) para se orientar geograficamente no posicionamento de veículos no campo. Dependendo da qualidade desse sinal, é possível posicionamento com precisão e acurácia suficientes para que, na cultura da cana-de-açúcar, os rodados dos veículos agrícolas trafeguem nas entre fileiras da cultura, evitando danos à soqueiras. Contudo, o alto custo de implantação demanda a identificação clara de benefícios que contribuam para um maior retorno do investimento.

Neste contexto, justificado pela inexistência de estudos que quantifiquem os danos gerados ao solo e conseqüentemente à planta devido ao tráfego casual de veículos sobre as soqueiras de cana-de-açúcar, o presente trabalho teve por objetivo identificar os danos causados no solo e na planta devido ao inadvertido tráfego de veículos sobre as soqueiras de cana-de-açúcar e também nas condições de controle de tráfego.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A importância e a influência da cana-de-açúcar

O Brasil é o maior produtor de cana-de-açúcar do mundo (ESTADOS UNIDOS, 2009) e segundo Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB (2010) a previsão do total de cana moída para a safra 2010/2011 é de 664.333,4 mil toneladas com incremento de 9,9% em relação a safra 2009/10. Segundo Milan (1999), a cana-de-açúcar desempenha um papel de extrema importância para a economia brasileira com a produção de açúcar e etanol, que é um combustível renovável, para o mercado interno e externo, fornecendo matéria-prima para a indústria de transformação, química e outras, além dos subprodutos utilizados na geração de energia, na alimentação animal e fertilizantes.

A produção de açúcar e etanol, além de inúmeros outros produtos de relevância nacional, coloca o complexo sucroalcooleiro em lugar de destaque no agronegócio brasileiro (DIAS NETO, 2000). Segundo Relatório do Balanço Energético Nacional (2010), a cana-de-açúcar, em 2009, atingiu uma representatividade de 18,1% da matriz energética, ultrapassando a energia hidrelétrica com 15,3% e ficando em segundo lugar como fonte energética do país, atrás apenas do petróleo e derivados. O cálculo contabiliza energia em geral, incluindo o setor de combustíveis, não somente a geração elétrica. Entre as causas para o fortalecimento do etanol, estão o aumento da proporção do combustível na gasolina e a expansão da frota de carros flex.

Segundo a Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil – CNA (2009), no referido ano, o Valor Bruto de Produção (VPB) do setor de cana-de-açúcar atingiu R\$ 19,25 bilhões, representando em torno de 18% do VPB da agricultura nacional, que foi de R\$ 107,62 bilhões. De acordo com o Plano Nacional da Agroenergia (2006), de 1970 até 2006, o uso de etanol como substituto da gasolina proporcionou ao Brasil a economia de 1,09 bilhão de barris equivalentes de petróleo e evitou que fossem emitidas à atmosfera 615 milhões de toneladas de dióxido de carbono.

Para Tagnin e Mattes (2008) os agrocombustíveis são hoje apresentados como uma medida capaz de reduzir a emissão de gases de efeito estufa, de modo a contribuir para o enfrentamento das mudanças climáticas globais. Deles, os principais são o etanol – obtido no

Brasil a partir da cana-de-açúcar e nos Estados Unidos a partir do milho – usado no transporte individual, e os óleos vegetais, originados de soja, girassol, amendoim e mamona, que podem ser usados sozinhos ou mesclados ao óleo diesel de origem fóssil, para emprego predominante no transporte de passageiros e de cargas.

Para Urquiaga et al. (2005) a produção de biocombustíveis, seja de biomassa sólida, como lenha ou carvão vegetal, ou líquida como o bio-etanol produzidos de cana-de-açúcar, óleo de dendê ou biodiesel produzido pela esterificação de óleos vegetais com metanol ou etanol, pode ter várias justificativas econômicas, sociais e ambientais. A vantagem ambiental do uso de biocombustíveis líquidos para veículos vem da possível mitigação das emissões de gases ou partículas pelos veículos, que são diretamente prejudiciais a saúde humana ou ao meio ambiente, como monóxido de carbono, hidrocarbonetos e óxidos de enxofre e nitrogênio; também vem da mitigação das emissões dos gases do chamado "efeito estufa", principalmente o dióxido de carbono (CO₂).

Durante décadas o planejamento e gestão da produção e abastecimento de produtos derivados da cana foram feitos pelo governo e a partir da década de 1990, em processo concluído em 1999, a responsabilidade foi repassada integralmente ao setor privado. Hoje prevalece o regime de livre mercado, sem subsídios, e definem-se os preços do açúcar e do etanol de acordo com as oscilações da oferta e da demanda. Os preços da cana são definidos de acordo com a qualidade da matéria-prima (mensurados pelo açúcar total recuperável – ATR) e os preços efetivos do ATR são obtidos pela proporção dos produtos finais produzidos pela usina e pelo preço final desses produtos (CONSELHO DOS PRODUTORES DE CANA-DE-AÇÚCAR, AÇÚCAR E ÁLCOOL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CONSECANA, 1999). Após a desregulamentação do setor sucroalcooleiro, verifica-se que entre as safras 2001/02 e 2008/09 ocorreu um aumento de 94% da quantidade de cana processada pelas usinas do país e de 138% na produção de etanol, saindo de 11,5 para 27,5 milhões de metros cúbicos e o principal motivo para esse aumento foi a produção de etanol do tipo hidratado. Nesse mesmo período, a produção de açúcar apresentou um aumento de 61% (Figura 1). O mix de produção que é o percentual de açúcar e etanol produzido pela indústria, foi de 44,2% da cana processada destinada para a produção de açúcar e 55,8% para a produção de etanol na safra 2007/08. Na safra 08/09, o mix foi de 60,5% para o etanol e 39,5% para o açúcar. O Estado de

São Paulo é responsável pela participação de 60% da produção nacional de cana, açúcar e etanol (UNICA, 2009).

Figura 1 - Produção brasileira de cana, açúcar e etanol entre as safras 1990/91 a 2008/09

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de UNICA (2009)

Com relação à demanda futura de etanol, o NIPE/Unicamp realizou uma simulação de substituição de 10% de gasolina por etanol. Os resultados revelam uma produção necessária de 225 bilhões de litros de etanol ano^{-1} para atender a uma demanda futura em 2025. Isso representa 10 vezes a produção atual de etanol no Brasil na safra 2008/2009 que foi de 22,5 bilhões de litros. Segundo Bonomi et al. (2006) uma visão realista projeta a necessidade de dobrar a produção de etanol brasileiro nos próximos anos. Este importante salto de produção começa a se tornar realidade através da implantação de novas usinas, abrindo novas fronteiras agrícolas para a cana-de-açúcar de acordo com dados de unidades de produção de todos os estados onde a atividade é desenvolvida.

A opção pela cultura da cana-de-açúcar é explicada, de acordo com Urquiaga et al. (2005) porque somente culturas de alta produção de biomassa e com baixa adubação nitrogenada, como a cana-de-açúcar e dendê, têm apresentado balanços energéticos altamente

positivos, parâmetro este, que estabelece a relação entre o total de energia contida no biocombustível e o total de energia investida em todo o processo da produção do biocombustível, incluindo-se o processo agrícola e industrial.

De acordo com Macedo (2008), a análise da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) atesta o aumento da área plantada com cana-de-açúcar, de 7 milhões para 7,8 milhões de hectares. De acordo com Silva et al. (2009) o grande foco dessa expansão tem sido na região centro-sul do país com destaques para os estados de Goiás e Mato Grosso do Sul que apresentaram taxas de crescimento das áreas cultivadas superiores a 30 % na safra 2008/2009 comparada à safra 2007/2008.

Segundo Tagnin e Mattes (2008) a cana parte dos solos mais férteis já tradicionalmente dedicados a esse cultivo, como os da região de Ribeirão Preto, e se expande de diferentes formas, impulsionando os cultivos que a antecederam para mais longe, em busca de terras de menor preço, repercutindo na expansão da fronteira agrícola. Segundo Buckeridge (2007), o Brasil é considerado atualmente um exemplo de sustentabilidade do ponto de vista energético, visto como a “locomotiva energética do planeta”, mas precisa conciliar preservação e desenvolvimento tecnológico para manter essa posição. De acordo com Neves e Conejero (2007) toda a produção de cana-de-açúcar no Brasil terá que ser feita baseada no equilíbrio do tripé de sustentabilidade: **ambiental** (condições e características de produção), **humana** (respeito aos recursos humanos envolvidos) e **econômica** (lucros e distribuição de resultados), pois existe uma visibilidade internacional muito grande no sistema agroindustrial da cana no Brasil, e qualquer equívoco individual nestes três pilares será perigosamente generalizado pela mídia, no exterior, para toda a cana e, conseqüentemente, para o etanol produzido no Brasil.

Bonomi et al. (2006) atestam que o aumento necessário na produtividade da cana-de-açúcar exigirá paralelamente, um esforço concentrado na busca de aumento significativo na produtividade alcançada em litros de etanol produzido por hectare-ano de cana plantada através do desenvolvimento de tecnologias na área industrial, que permitam o aproveitamento integral da cana-de-açúcar na produção de etanol ou outros combustíveis renováveis. Para a área agrícola espera-se um aumento na produtividade através da ampliação do atual programa de introdução de novas variedades de cana, do emprego da cana transgênica e através da

expansão e, se possível da potencialização do atual nível de aumento de produtividade que atualmente, gira em torno de 2,5% ao ano.

2.2 O Sistema produtivo da cana-de-açúcar e a colheita mecanizada

A cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) é uma gramínea semi-perene e originária provavelmente do sudeste da Ásia. Não é uma cultura exigente em solos, porém, se desenvolve melhor em solos com boa aeração, boa drenagem e com profundidade maior que 1,0 m (COOPERATIVA DE PRODUTORES DE CANA-DE-AÇÚCAR E ÁLCOOL DO ESTADO DE SÃO PAULO - COOPERSUCAR, 1988). É uma cultura adaptada a condições de alta intensidade luminosa, e altas temperaturas. Estas características fazem da cana-de-açúcar, uma cultura ideal para o cultivo em regiões tropicais (SEGATO et al. 2006).

De acordo com Paranhos (1987) e Segato et al. (2006), os plantios tradicionais da cana-de-açúcar são feitos nas seguintes épocas:

- entre setembro e novembro, apresentando nestas condições um ciclo de duração média de 12 meses denominada popularmente de “cana-de-ano”;
- entre janeiro e abril e nestas condições passa em repouso a primeira estação de inverno sendo cortada na segunda estação de inverno, o que gera um ciclo variável de 14 a 21 meses, conforme a data do plantio e a época de maturação da variedade utilizada recebendo a denominação popular de “cana-de-ano e meio”.

A colheita da cana-de-açúcar na região centro-sul do Brasil estende-se geralmente entre os meses de abril e novembro, período que abrange as menores precipitações do ano. Por meio do manejo dos ciclos de crescimento (cana de ano e meio, de inverno e de ano) e da época de maturação das variedades (precoce, média e tardia), é possível obter matéria-prima apta a ser colhida durante toda a safra (Figuras 9 e 10) (CASAGRANDE, 1991). O ciclo da cana cortada pela primeira vez, que é oriunda de muda e que receberá o primeiro corte, recebe o nome de ciclo da cana-planta e após o corte da cana-planta inicia-se um novo ciclo das soqueiras ou cana-soca (Figura 3) (SEGATO et al., 2006). A mesma cana pode ser colhida até cinco ou mais vezes, porém a cada ciclo devem ser feitos investimentos significativos em insumos e tratos culturais para manter a produtividade (ALFONSI et al., 1987).

Figura 2 - Ciclo Fenológico da cana-de-açúcar

Fonte: (Ilustração de Lucas Vanzolini Gallego adaptada de Segato et al. (2006)

O sistema produtivo da cana-de-açúcar compreende uma série de operações agrícolas que são descritas resumidamente na Figura 4. Nesse contexto do sistema produtivo, a grande mudança tecnológica do sistema agroindustrial da cana-de-açúcar, na opinião de Farina e Zylbersztajn (1998) está ocorrendo na produção da cana-de-açúcar com a incorporação de mecanização na colheita.

Figura 3 - Fluxograma de operações agrícolas do sistema produtivo da cana-de-açúcar

Fonte: (Adaptado de LOPES et al., 1995)

A incorporação da mecanização na colheita da cana-de-açúcar é meta entre a maioria das usinas e produtores brasileiros e encontra-se em franca expansão (PEARCE, 2006). Nos últimos anos, a colheita tem passado por uma fase de substituição do corte manual para o mecanizado devido aos fatores *mão-de-obra* e *ambiental*. O fator *mão-de-obra* se deve ao elevado custo de encargos trabalhistas no Brasil e a escassez de trabalhadores para atender a demanda crescente da produção de cana no país. O fator *ambiental* deve-se às pressões da sociedade para eliminação da queima da cana-de-açúcar (RIPOLI; RIPOLI, 2004). As normas que regem a questão das queimadas são em âmbito federal, estadual e municipal. O Decreto Federal nº 2.661, de 8/7/98 estabelece a eliminação gradual da queima da cana-de-açúcar e são estabelecidas as áreas de proibição de queima, como faixas de proteção nas proximidades de perímetros urbanos, rodovias, ferrovias, aeroportos, reservas florestais e unidades de conservação, entre outros. Alguns estados produtores estabeleceram normas específicas para tratar a eliminação da queimada, dentre eles Mato Grosso do Sul, Goiás, Paraná e São Paulo (MORAES, 2007). Em São Paulo a Lei Estadual nº 11.124 de 19/9/2002 define a eliminação

gradativa da queima da palha da cana, cuja prática é utilizada para aumentar a capacidade da colheita manual. Essa lei tem um plano gradual de eliminação da queima, no Estado. A ausência da queima da palha torna inviável economicamente o corte manual, tornando-se obrigatória a colheita realizada por colhedoras automotrizes (RIPOLI et al., 2001; SÃO PAULO, 2002).

No Estado de São Paulo realizou-se a colheita de 49,1% da cana-de-açúcar destinada à indústria de forma mecanizada e crua na safra 2008/09, ante 34,2% na safra 2006/07, e a projeção para a safra 09/10 foi de 53,8% da cana colhida no Estado, o que representa 2,28 milhões de hectares (Figura 4). O aumento percentual deve-se às pressões políticas ambientais e pelo custo elevado da colheita manual (UNICA, 2009). O projeto CANASAT, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), monitora por imagens de satélites o modo de colheita da cana e mostra que 55,7% da safra 2009/2010 foi realizada sem a queima. Marques (2009) analisou na safra 2007/08 que os custos de corte, carregamento e transporte, denominado de CCT, representou para a região em estudo (centro-oeste de São Paulo e norte do Paraná), um percentual de 33,5% do custo total de produção da cana-de-açúcar, sendo o corte e o transporte os itens mais representativos no CCT, respectivamente.

Figura 4 - Evolução da colheita de cana crua no Estado de São Paulo entres as safras 2006/07 a 2009/2010

* Projeção

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de UNICA (2009)

Pereira e Torrezan (2006) relatam que dentre os sistemas mecanizados de colheita existentes, os que se utilizam de colhedoras de cana picada são os mais comumente utilizados. De acordo com Ripoli e Ripoli (2004) na colheita de cana picada utilizam-se as colhedoras também denominadas combinadas que realizam o corte basal, o desponte dos colmos, promovem a eliminação parcial de matéria estranha vegetal por diferença de densidade utilizando ventiladores ou exaustores denominados extratores de palha. Estas máquinas picam os colmos em rebolos de 15 a 40 cm de comprimento que são descarregados em unidades de transporte ou transbordo (Figura 5).

Figura 5 - Esquema de uma colhedora de cana picada com destaque para os principais órgãos ativos

Fonte: Neves (2003)

Os colmos fracionados pela colhedora combinada de cana picada são descarregados em unidades de transporte denominadas transbordos (PEREIRA; TORREZAN, 2006). De acordo com Ripoli e Ripoli (2004) essas unidades são carretas tracionadas que acompanham a colhedora combinada e dispõem de mecanismos hidráulicos de autodescarregamento com capacidade líquida de carga de 4 a 12 t por unidade (Figura 6).

Figura 6 - Esquema de unidade de transporte com 2 transbordos

Fonte: (adaptado de PEREIRA; TORREZAN, 2006).

Segundo Mialhe (2000), a viabilidade econômica da lavoura canavieira depende cada vez mais de ganhos na produtividade da mão-de-obra, que tem sido alcançada através do uso cada vez mais intenso de máquinas, resultando em tráfego cada vez maior sobre o solo agrícola. Michelazzo e Braunbeck (2007) relatam que os pneus com largura crescente ao longo do tempo e as colhedoras com capacidade de corte de apenas uma fileira fazem com que 50 % da área da lavoura seja trafegada mais de 20 vezes a cada ciclo de produção. Para Streck et al. (2004) o peso crescente dos equipamentos de colheita e transbordo faz com que o aumento da largura dos pneus não tenha conseguido reduções significativas da pressão dos mesmos sobre o solo.

2.3 A expansão da mecanização na cana-de-açúcar e a compactação do solo

A compactação do solo é caracterizada pelo seu adensamento e redução da porosidade, associada com mudanças na estrutura do solo e frequentemente com aumento na sua resistência e redução da condutividade hidráulica (SOANE; VAN OUWERKERK, 1994a). Este efeito causa sérios problemas na produção agrícola, o que tem recebido grande atenção em pesquisa e extensão (SOANE; VAN OUWERKERK, 1994b).

Em solos compactados ocorre alteração da estrutura e, conseqüentemente, decréscimo da porosidade, da macroporosidade, da disponibilidade de água e nutrientes e da difusão de gases no solo cujas relações com o desenvolvimento das raízes são fundamentais (TAYLOR et al., 1980). Segundo Queiroz-Voltan et al. (2000), em solos compactados, as raízes das plantas

não utilizam adequadamente os nutrientes disponíveis, uma vez que o desenvolvimento de novas raízes, responsáveis pela absorção de água e nutrientes, fica prejudicado. Além disso, esses autores mencionam que a quantidade de oxigênio na rizosfera pode ser limitante nos processos metabólicos.

A compactação do solo resulta em um fraco desenvolvimento dos sistemas radiculares devido a uma pobre aeração, baixa capacidade de armazenamento de água e aumento da resistência do solo à penetração (TAYLOR; GARDNER, 1963; STEPNIEWSKI et al., 1994; LETEY, 1985; MCKENZIE; MCBRATNEY, 2001). Nos solos compactados ocorre aumento do escoamento superficial de água e conseqüentemente aumento da erosão (FLEIGE; HORN, 2000).

Segundo Vasconcelos et al. (2006), a compreensão dos fenômenos ocorridos na parte aérea das plantas torna-se mais completa quando também se compreende o que acontece abaixo da superfície do solo, principalmente com relação ao crescimento e à distribuição de raízes no perfil. Corsini (1993) relata que ações mecânicas nos Latossolos alteram sua relação massa/volume e degradam sua estrutura natural. A degradação da estrutura do solo decorrente da compactação tem provocado efeitos negativos em suas propriedades físicas, químicas e biológicas, com prejuízos ao desenvolvimento das plantas e, conseqüentemente, à produção de alimentos (GUPTA et al., 1989; CAMARGO; ALLEONI, 1997).

Para Farina e Zylbersztajn (1998) a cultura da cana-de-açúcar pode sofrer sérios problemas de compactação do solo, pois 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. Para Freitas (1987) com uso inadequado de máquinas, veículos e equipamentos mais pesados, seus efeitos podem ser sentidos ao longo de todo o ciclo da cultura, que se estende por cinco anos ou mais.

Em termos práticos, o uso intensivo de máquinas, segundo Camargo e Alleoni (1997), vem tornando comuns os problemas de compactação em solos agrícolas. O alongamento radicular só é possível quando a pressão de crescimento das raízes for maior do que a resistência mecânica do solo à penetração (PASSIOURA, 1991).

Para Streck et al. (2004), com a modernização da agricultura o peso das máquinas e dos equipamentos e a intensidade de uso do solo têm aumentado drasticamente. Esse processo não foi acompanhado por um desenvolvimento adequado às exigências de uma agricultura que

deve tender continuamente à sustentabilidade, resultando em significativas alterações nas propriedades físicas do solo. Os mesmos autores avaliaram o efeito do tráfego de máquinas na alteração das propriedades físicas de um solo sob plantio direto e concluíram que o tráfego sobre o solo aumentou a densidade e a resistência do solo à penetração.

Segundo Belinaso et al. (1994) um dos maiores problemas de compactação do solo nas áreas canavieiras é resultante do uso de equipamentos rodoviários utilizados no transporte de matéria-prima. Isto ocorre porque os rodados das unidades de transporte apresentam características não adequadas ao tráfego em lavouras. Os pneus rodoviários trafegam com altas cargas no eixo, em pisos planos e compactos, sob altas velocidades e elevadas pressões de inflação (70 a 100 psi, 483 a 689 kPa). Os pneus agrícolas, por sua vez, suportam baixas cargas verticais, operam em pisos irregulares e não compactados, a baixas velocidades e com pressão de inflação menor (10 a 20 psi, 68,9 a 137,8 kPa). Além disso, outra causa da compactação é o excesso de carga no eixo dos veículos de transporte utilizando-se pneus convencionais, com carga de mais de 12 t por eixo e que provavelmente provocarão compactação abaixo da camada cultivável do solo.

Para Magalhães (1990), a cana-de-açúcar é a cultura cujo solo está sujeito aos mais severos índices de compactação, apresentando cargas médias de 25 toneladas através do trânsito das unidades de transporte 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. Este efeito foi demonstrado por Coleti e Dematte (1982) que compactaram uma área, previamente irrigada com uma lâmina de 100 mm, utilizando um caminhão com 15.000 kgf de peso.

Michelazzo e Braunbeck (2007) observam que a compactação do solo é influenciada pelo tráfego intenso de máquinas pesadas, como no cultivo convencional da cana-de-açúcar. O esquema de mecanização praticado atualmente para a produção da cana envolve um tráfego pesado de equipamentos, principalmente durante a colheita, e a retirada de aproximadamente 80 toneladas de matéria prima produzida por hectare. Os mesmos autores salientam que além da compactação, o tráfego de máquinas em áreas de cultivo resulta em perda de tração pelos veículos transitarem em terra solta. Lilejedahl et al. (1989 apud LAGUË et al., 2003) relatam que uma das mais importantes causas da baixa eficiência de energia em um sistema de mecanização agrícola convencional é a transmissão de potência mecânica ao solo pela tração.

Isto é agravado pelo fato de as máquinas transitarem em áreas de cultivo onde o solo está solto, implicando também em menor eficiência de tração.

Segundo Mialhe (2000), o tráfego de máquinas e veículos de carga no canavial representa uma das mais sérias agressões ao leito radicular de uma cultura econômica. Mas, paradoxalmente, reduzir o tráfego de veículos em terrenos agrícolas tem sido a preocupação central dos agricultores de todas as épocas. É fato notório o efeito nocivo da compactação sobre o desenvolvimento da planta cultivada, à sua produtividade e, consequentemente, constituindo-se em fator de redução da renda bruta das lavouras.

A consequência dessa compactação sob a ótica da cultura foi demonstrada por Fernandes (1983) que constatou a queda na produção de cana-de-açúcar em latossolo vermelho-escuro argiloso com 32% de água no solo, que foi compactado com uma, duas e três passadas de um caminhão com apenas um eixo traseiro e 16.000 kgf de carga aplicada ao eixo. Os resultados mostraram que houve queda na produção de aproximadamente 10 t ha⁻¹ entre o nível máximo de compactação, correspondente a três passadas, e a testemunha.

Hakansson et al. (1994) relatam que em solos compactados, o menor desenvolvimento do sistema radicular resulta em menor volume de solo explorado pelas raízes e, conseqüentemente, menor absorção de água e nutrientes. Para Vasconcelos et al. (2006) em solos compactados, a alta densidade prejudica o desenvolvimento radicular e da parte aérea, resultando em menor produtividade. Na Figura 7, tem-se a visualização do efeito da densidade sobre o sistema radicular onde encontraram redução significativa do diâmetro e comprimento de raízes de cana-de-açúcar da variedade SP80-3250 nas regiões de maior densidade de um solo de textura média. De acordo com Norris et al. (2000) A compactação do solo nas soqueiras de cana-de-açúcar reduziu a produtividade em 20 t ha⁻¹. No Havaí, após três anos da implantação da colheita mecânica de cana-de-açúcar, observou-se a queda na produtividade de 132 para 56 t ha⁻¹ devido ao efeito da compactação do solo (TROUSE; HUMBERT, 1961). O mesmo problema foi relatado por Yang (1977) nas lavouras de cana-de-açúcar de Taiwan.

Figura 7 - Perfil de trincheira em soqueira com detalhe da ausência de raízes em regiões do solo com maior densidade

Fonte: (VASCONCELOS et al., 2006)

Segundo Russel e Goss (1974), a pergunta a ser feita seria qual a impedância mecânica máxima do solo suportável para que não haja prejuízos à produção agrícola. Silva et al. (2002) relatam que um valor de 2 MPa de Resistência do Solo à Penetração do solo tem sido associado a condições impeditivas para o crescimento das raízes e da parte aérea das plantas. Trowse (1965), trabalhando com latossolos argilosos, observou que com densidades acima de $1,3 \text{ g cm}^{-3}$ ocorreu drástica redução do sistema radicular e que com densidade de $1,7 \text{ g cm}^{-3}$ não ocorreu penetração das raízes no solo.

A inobservância da adequada pressão de inflação dos pneus também afeta sensivelmente o solo. A observância da pressão adequada dos rodados é fundamental na redução da compactação causada por veículos agrícolas (RAPER; KIRBY, 2006). Experimentos em caixa de solo feitos por Raper et al. (1995a, 1995b) mostraram que pneus radiais com pressões adequadas, geraram menor compactação da interface pneu-solo comparado com pressões de inflação excessivas nos mesmos pneus e com a mesma magnitude de carga. Na Figura 8 é possível observar este efeito, além da diferença da área de contato entre pneu e solo que sofre significativa redução com o aumento da pressão de inflação.

Machado et al. (2005) trafegando com um trator com diferentes pressões de inflação nos pneus traseiros, constataram que as maiores pressões de inflação dos pneus provocaram menores áreas de contato entre o solo e o pneu, e por consequência maior pressão deste sobre o solo e a região do solo que sofreu maiores adensamentos encontra-se na faixa de 10 cm a 30 cm de profundidade.

Figura 8 - Pressões obtidas na interface pneu-solo para um pneu radial 18.4 R 38; Esquerda: pressão de inflação adequada (41 kPa); Direita: pressão de inflação excessiva (124 kPa)

Fonte: (RAPER et al., 1995a).

Com relação aos problemas resultantes do uso da tecnologia de mecanização nas lavouras de cana-de-açúcar, Veiga (2006) salienta que a fase atual é de incrementos tecnológicos tanto nas máquinas quanto na adequação do processo produtivo agrícola ao equipamento. Já se superou, de modo geral, a fase inicial, de adoção, e esse segundo momento

se caracteriza, de um lado, por identificar problemas de ajuste fino no equipamento (por exemplo, trabalhando na melhoria do sistema de corte de base e no sistema de limpeza dos colmos) e, de outro lado buscando estudar novos espaçamentos para evitar problemas de tráfego sobre as socas de cana, e adaptar e selecionar variedades com maior desfolha natural.

No que tange à compactação do solo, existem várias técnicas capazes de reduzi-la como a adoção do plantio direto (THOMAS et al., 1996; HUDSON, 1994), o uso de pneus radiais, rodados duplos e triplos (MUROSKY; HASSAN, 1991; CHI; TESSIER, 1994; TAYLOR et al., 1989), esteiras de borracha (DOMIER et al., 1971; OSBORNE, 1971) entre outras, entretanto Hakansson e Reeder (1994) relatam que sua utilização normalmente é de custo elevado e raramente são capazes de corrigir totalmente os seus efeitos. Os autores recomendam ser mais interessante evitar-se a compactação através da minimização do carregamento mecânico sobre o solo, do que periodicamente descompactá-lo. Salientam ainda que caso sejam aplicadas cargas excessivas depois de feita a descompactação do solo, este novamente apresentará compactação subsuperficial.

2.4 Controle de tráfego de veículos agrícolas

Uma abordagem que permite compatibilizar esses requerimentos antagônicos de rodas e plantas é a técnica denominada de tráfego controlado, cuja característica principal é a separação permanente das áreas usadas para o desenvolvimento das plantas daquelas usadas para o tráfego dos elementos rodantes (TAYLOR, 1983). Com isso se obtêm uma dupla vantagem com as linhas ou pistas de tráfego propositalmente compactadas para resistir ao tráfego com mínima deformação, aumentando a eficiência de tração dos pneus e com as áreas de produção entre as pistas de tráfego, usadas exclusivamente para o plantio, sem sofrer a compactação associada ao tráfego, fornecendo melhores condições do solo ao crescimento de raízes (BRAUNACK; MCGARRY, 2006).

Para os veículos agrícolas convencionais é necessária uma padronização de bitolas, para que todos os veículos utilizados numa mesma área tenham valores de bitola iguais ou múltiplos o que acarreta uma redução do número de linhas de tráfego, aumentando o percentual da área utilizado no cultivo agrícola (REEDER; SMITH, 2000). O sistema de

tráfego controlado permite redução das operações de preparo do solo o que resulta em redução de custos e alinhamento com o conceito de plantio direto (COOPER et al., 1969; REICOSKY et al., 1977; WILLIFORD, 1980; COOPER et al., 1983; REEVES et al., 1989; CLARK, 1991; MCPHEE; BRAUNACK, 1992; BEARD et al., 1995; MICHELAZO; BRAUNBECK, 2006).

Hadas et al. (1987) relatam que as técnicas de controle de tráfego tiveram início a partir da constatação da produção agrícola de solos compactados que apresentaram redução na sua infiltrabilidade, condutividade hidráulica, porosidade e aeração e um conseqüente aumento de sua densidade e da resistência oferecida ao avanço dos sistemas radiculares, tendo como causa principal o tráfego de máquinas pesadas no campo. Trabalhos desenvolvidos com controle de tráfego em tratores convencionais apontaram para aumento da produtividade e redução da necessidade de intervenções profundas no solo como a subsolagem (WILLIFORD, 1980). Carter et al. (1991) destacam que o manejo do solo em lavoura de algodão com controle de tráfego resultou em solo com menor resistência ao avanço do sistema radicular e maior infiltração de água, em comparação ao tráfego normal. De acordo com Colwick et al. (1981), experimentos similares indicaram que com o uso do controle de tráfego o efeito da subsolagem foi prolongado indefinidamente. Dessa forma, além de aumentar o rendimento, o controle de tráfego pode eliminar o custo de uma aração profunda ou subsolagem.

Para Michelazzo e Braunbeck (2007), um sistema de tráfego controlado pode diminuir as exigências por energia associadas às operações de campo. A adoção de linhas de tráfego permanentes proporciona melhor tração e sustentação aos veículos do que em terra solta e com menor resistência mecânica do solo nas áreas de cultivo (não-trafegáveis); a força requerida pelos implementos de plantio e cultivo também diminui. Além dos efeitos positivos na compactação do solo e na tração das máquinas, a adoção de um sistema de tráfego controlado também tem influência positiva com relação a custos e produtividade.

Um estudo sobre tráfego controlado avaliou cultivo convencional sem tráfego controlado e plantio direto com tráfego controlado nas culturas de milho, trigo e sorgo, realizado pela Australian Center for International Agricultural Research - ACIAR (1998), na Austrália. O trabalho mostrou que a produtividade média dos grãos cultivados sob tráfego controlado foi 16% maior do que quando cultivados de maneira convencional, ilustrando o aumento no rendimento da produção que acontece quando o solo não está sujeito ao tráfego anual das rodas dos tratores. Para as áreas onde se utilizou o sistema de tráfego controlado a

renda total foi cerca de 30% maior. O parâmetro que teve maior redução foi o custo com combustível, reduzindo quase 60% no caso do tráfego controlado.

Dumas et al. (1973) encontraram rendimentos agrícolas 10% superiores em média, na cultura do algodão, utilizando o tráfego controlado em comparação ao tráfego convencional. Resultados similares foram encontrados por Hadas et al. (1987) trabalhando com tráfego controlado nas culturas de cenoura, batata e eucalipto. Oliveira et al. (2008) mensuraram a compactação das fileiras e entre fileiras de cana-de-açúcar em uma área de segundo corte submetida ao controle de tráfego de veículos e observaram diferença significativa na comparação da fileira com a entre fileira, o que confirma a eficiência do controle de tráfego.

De acordo com Raper e Reeves (2007), o controle de tráfego se torna mais complexo com o aumento do número de operações requeridas num sistema produtivo e da variação da largura de máquinas e implementos utilizados. Contudo, Monroe e Burt (1989) desenvolveram um veículo de tração extra largo capaz de acoplar qualquer equipamento agrícola desde implementos de preparo de solo, cultivo e colheita, dotado de uma largura de 6,1 m, o que aumenta drasticamente o percentual da área de cultivo livre de tráfego de rodados.

Figura 9 - Veículo de tração extra-largo (Wide Frame Tractive Vehicle)

Fonte: (Adaptado de Raper e Reeves (2007))

Uma nova solução na busca pela redução do tráfego sobre as socas de cana-de-açúcar durante a colheita, facilitando a vida dos operadores e aumentando o desempenho da operação, são os sistemas de esterçamento de veículos orientados por sinal de GNSS (Global Navigation Satellite Systems). Tais sistemas, chamados de piloto automático, já são utilizados no Brasil, conectados a um receptor de GPS RTK (Global Positioning System Real Time Kinematic) e são utilizados em retas e curvas com acurácia de 2 a 3 cm, garantindo melhor rendimento das máquinas otimizando as operações (MOLIN, 2004). A rápida adoção dos sistemas de piloto automático nos anos recentes pode ser explicada por vários fatores como o retorno do investimento, representado pelo aumento da produtividade no campo, redução do uso de insumos e diminuição da fadiga do operador (SILVA et al., 2007).

Os melhores sistemas de esterçamento oferecem controle total do direcionamento do veículo nas linhas de plantio. Para os fabricantes, o alto custo de implantação pode ser justificado pelo aumento da capacidade operacional, da precisão e acurácia, sobretudo em condições de baixa visibilidade e com o aumento de produtividade, o que pode proporcionar um retorno mais rápido para o investimento (GAN-MOR; CLARK, 2001).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Definição dos tratamentos

A premissa básica para definição dos tratamentos foi de identificar e simular a aplicação de possíveis cargas nas soqueiras de cana-de-açúcar, advindas do inadvertido tráfego do conjunto trator-transbordo utilizado durante a colheita mecanizada da cana-de-açúcar (Figura 10, letra (b)).

Figura 10 - Colheita mecanizada de cana: (a) colhedora de cana picada; (b) conjunto trator-transbordo

Na definição dos tratamentos foram consideradas as possíveis composições de uma frente de colheita mecanizada de cana picada considerando que a frente de colheita, segundo Mialhe (2000), é composta por uma colhedora, um trator reboque e normalmente, de um a três transbordos. A colhedora colhe somente uma fileira, fazendo com que ocorra uma dupla passada dos rodados ou a esteira na mesma entre fileira durante a colheita.

Da mesma forma, todo o conjunto que acompanha a colhedora durante a operação (transbordos e trator) também é obrigado a passar duas vezes sobre a mesma entre fileira. Os valores cumulativos de carga aplicada ao solo pelos rodados do conjunto trator-transbordo e suas variações em função da composição e do nível de carga dos transbordos foram

considerados na definição dos tratamentos a partir de uma frente de colheita onde todos os componentes trafegam com pneumáticos e que as pressões aplicadas sobre o solo são semelhantes em função do tipo de rodado utilizado. Para isso, inicialmente se levantou os valores de peso de todos os componentes de uma frente mecanizada (Tabela 1).

Tabela 1 - Quantidade e peso médio das máquinas que compõem uma frente de colheita típica

Máquina	Quantidade	Peso Médio (kg)
Colhedora de pneus	1	16000
Colhedora de esteiras	1	19200
Transbordo carregado	1 a 3	16500
Transbordo vazio	1 a 3	6500
Trator de 130 a 150 kW	1	9500

Fonte: Elaborada pelo autor a partir de médias de dados de fabricantes

De posse dos valores de carga dos componentes de uma frente de colheita mecanizada, prosseguiu-se com o cálculo de valores de carga a serem aplicadas no sistema basal da cana-de-açúcar (sistema radicular desprovido de parte aérea) em função de possíveis situações de tráfego inadvertido sobre as soqueiras de cana-de-açúcar. As possíveis cargas derivadas de diferentes combinações e níveis de carga dos transbordos, associados ao trator que os reboca, foram aplicados utilizando-se apenas o trator reboque, variando-se o número de passadas desse trator. Embora não caracterize de forma fiel o tráfego do conjunto, o uso apenas do trator no tráfego das soqueiras facilita as manobras nas cabeceiras das parcelas, reduzindo consideravelmente as áreas de bordadura e conseqüentemente, tornando menor a área experimental, o que contribui para uma menor susceptibilidade a variáveis de campo que não se pode controlar, como manchas de fertilidade, variação de relevo entre outras.

Definida a forma de aplicação das cargas, foram definidos cinco tratamentos distintos relacionados diretamente à aplicação ou não de cargas nas soqueiras de cana-de-açúcar e à intensidade de aplicação dessas cargas (Tabela 2).

Tabela 2 - Descrição dos tratamentos

Tratamento	Descrição do tratamento baseado em situações de campo	Nº de passadas do trator	Carga aproximada aplicada nas soqueiras (kgf)
T1	Ausência de tráfego	0	0
T2	Tráfego sobre a soqueira: transbordo vazio + trator reboque	2	9.960
T3	Tráfego sobre a soqueira: 2 transbordos vazios + 1 transbordo carregado + trator reboque	4	19.920
T4	Duplo Tráfego sobre a soqueira: 2 transbordos carregados + trator reboque	9	44.820
T5	Duplo Tráfego controlado na entre fileira: 2 transbordos carregados + trator reboque	9	44.820

Nomeou-se de tratamentos base aqueles em que efetivamente existiria tráfego do trator sobre as soqueiras da cana-de-açúcar. Foram definidos três tratamentos base, derivados de possíveis valores de cargas aplicadas ao solo em função de diferentes situações. Foram adotados os valores mínimos e máximos de carga aplicada ao solo, bem como um valor intermediário. Definiu-se a testemunha como ausência total de tráfego e um quinto tratamento constituído do valor máximo de carga aplicada ao solo, porém com tráfego dos rodados na entre fileira da cana-de-açúcar, caracterizando uma situação de uso das técnicas de controle de tráfego. Determinadas as cargas em função das combinações do conjunto trator-transbordo, pôde-se estimar o número de passadas do trator que melhor se aproximassem dos valores de carga calculados e utilizados nos diversos tratamentos (Tabela 2).

Para estimativa da carga máxima exercida pelo conjunto trator-transbordo foram considerados os dados da Tabela 1, na condição de pior situação dada pela inadvertida passagem por duas vezes numa mesma fileira, do conjunto trator e dois transbordos

carregados. Este mesmo valor de carga também foi utilizado no quinto tratamento que se constituiu da aplicação da carga máxima na entre fileira da cultura caracterizando um perfeito controle de tráfego. A carga máxima é descrita pela Equação 1.

$$C_{max} = 2PT_c + P_t \quad (\text{Eq. 1})$$

$$C_{max} = 42.500 \text{ kgf}$$

Onde:

C_{max} - carga máxima exercida pelo conjunto;

PT_c - peso do transbordo carregado (kgf.);

P_t - peso do trator (kgf.).

Para o cálculo de carga mínima, ainda considerando a inadvertida passagem, por uma vez, do conjunto trator-transbordo, considerou-se uma situação de somente um transbordo vazio rebocado por trator acompanha a colhedora, como mostra a Equação 2.

$$C_{min} = [PT_v + P_t]/2 \quad (\text{Eq. 2})$$

$$C_{min} = 8.000 \text{ kg}$$

Onde:

C_{min} - carga mínima exercida pelo conjunto (kgf.);

PT_v - peso do transbordo vazio (kgf.);

P_t - peso do trator (kgf.).

O denominador 2 é utilizado na equação 2 considerando que apenas metade dos rodados trafegarem sobre a soqueira de cana o que significa, para uma distribuição simétrica de carga, que apenas metade do peso dos equipamentos é fonte de carga aplicada à soqueira.

A condição de carga intermediária foi definida por uma situação onde o conjunto trator-transbordo, composto pelo trator reboque mais dois transbordos vazios e um transbordo carregado, trafega inadvertidamente sobre as soqueiras por uma vez aplicando a pressão de metade dos rodados sobre uma soqueira, o que mais uma vez explica a presença do denominador 2 também presente na Equação 3.

$$C_{int} = [2 PT_v + PT_c + P_t] / 2 \quad (\text{Eq. 3})$$

$$C_{int} = 18500 \text{ kg}$$

Onde:

C_{int} - carga intermediária exercida pelo conjunto;

PT_v - peso do transbordo vazio;

PT_c - peso do transbordo carregado;

P_t - peso do trator.

Para a simulação das cargas exercidas pelo tráfego da frente de colheita, foram realizadas passadas do trator sobre as fileiras de soqueira da cana na velocidade aproximada de $1,5 \text{ m s}^{-1}$. Este valor de velocidade foi definido através de mensurações da velocidade do conjunto trator-transbordo em operação, o que foi feito com o cálculo da média de três observações do trator percorrendo uma distância conhecida em um determinado tempo.

O trator utilizado na aplicação dos tratamentos já exercia a função de trator reboque de transbordos. Utilizou-se um trator modelo BH 180 da marca Valtra*, com transmissão 4x2 TDA e potência de 132,46 kW com bitolas ajustadas, equipado com pneus radiais R1 24.5 – 32 calibrados com 133 kPa de pressão e peso lastrado da ordem de 9.960 kgf. O ajuste de bitolas do trator foi conseguido através de um alargador de bitola traseira e dianteira que fornecem uma distância máxima de 2,78 m entre o centro dos rodados, que é o máximo permitido pelo fabricante do trator sem sobrecarregar demasiadamente as articulações do eixo dianteiro, garantido seu bom funcionamento e durabilidade (Figura 11). O peso do trator de 9.960 kgf é superior ao que consta de sua ficha técnica, e isso é explicado pelo aumento de peso provocado pelos alargadores de bitola.

* As menções a marcas são de caráter meramente informativo.

Figura 11 - Trator reboque utilizado na aplicação dos tratamentos com indicação do valor da bitola externa

Utilizando-se do valor da bitola externa do trator de 3,37 m que é a medida entre a banda externa dos rodados, planejou-se executar o tráfego intencional dos rodados sobre as soqueiras de cana considerando que o espaçamento de plantio de cana adotado pela usina seja de 1,5 m entre fileiras. Dessa forma seria possível trafegar com os rodados sobre duas soqueiras ao mesmo tempo com uma soqueira livre de tráfego sob a linha de centro do trator e que é trafegada após um deslocamento lateral do trator de 1,5 m (Figura 12).

Legenda

- Propagação no solo da carga imposta pelo trator
- Numeração das fileiras de cana - soqueiras

Figura 12 - Esquema de realização do tráfego sobre as soqueiras de cana-de-açúcar

A passada inicial do trator mais a segunda passada, feita com um deslocamento lateral de 1,5 m (Figura 12), definem o número de soqueiras de cada parcela experimental que é igual a 4.

3.2 Instalação do experimento

3.2.1 Preparo das áreas experimentais

O trabalho foi realizado na usina de açúcar e etanol Nossa Senhora Aparecida, situada em Itapira SP, pertencente ao Grupo Virgolino Oliveira. Constituiu-se o trabalho, em 2 experimentos, realizados em duas áreas próximas, com relevo plano, divergindo sob o aspecto do tipo e textura do solo. A adoção de diferentes áreas é explicada pela tentativa de retratar o comportamento de solos diferentes, submetidos à compactação.

As áreas eram de cana planta já que nessa condição são mínimos os efeitos de compactação e danos causados pelo tráfego de máquinas, devido à ausência de colheita e conseqüentemente, de seus efeitos de tráfego. O solo das duas áreas foi submetido ao mesmo tipo de preparo com subsolagem cruzada em 45 graus e profundidade de 45 cm. O plantio mecanizado e a pulverização foram feitos com auxílio de piloto automático em tratores com bitolas ajustadas, o que caracteriza controle de tráfego. A variedade de cana plantada nas duas áreas foi a SP 89 1115.

Em outubro de 2008, um mês antes do corte da cana dos talhões que continham as áreas experimentais, as mesmas foram demarcadas para que fossem preservadas do corte mecanizado dos talhões, que ocorreu com a cana vizinha às parcelas. Dessa forma apenas a cana das duas áreas experimentais permaneceu nos talhões. Com apenas a cana das duas áreas experimentais pendentes de corte, foi iniciada a demarcação das parcelas experimentais onde seriam aplicadas as repetições de cada tratamento. O experimento foi conduzido em parcelas com delineamento experimental em blocos aleatorizados, composto dos cinco tratamentos sorteados dentro de cada bloco, com quatro repetições em cada área, totalizando oito blocos de cinco parcelas. Cada parcela possuía dimensões de 7,5 m de largura por 15 m de comprimento e uma área de manobras de 10 m nas cabeceiras, como mostra a Figura 13.

Figura 13 - Arranjo das parcelas experimentais

A primeira ação nas áreas experimentais foi o estaqueamento das parcelas no intuito de delimitar os vértices de cada parcela, distinguindo as áreas das parcelas das áreas de bordadura. Para garantir a geometria retangular das parcelas foi utilizado de um artifício geométrico que garantisse o alinhamento perpendicular das estacas em relação às fileiras da cana. Isso foi feito construindo um triângulo retângulo em uma das extremidades mais externas das áreas experimentais. Este triângulo retângulo teve um de seus catetos alinhados com as fileiras de cana e o seu ângulo reto posicionado na estaca que demarcaria um dos vértices de uma parcela experimental. Assim uma linha esticada em alinhamento com o outro cateto resultou de uma linha perfeitamente perpendicular às fileiras de cana. Esta linha serviu de orientação para fixação da primeira fileira de estacas. Garantido o alinhamento da primeira fileira, bastou o uso de uma trena para determinar a locação das demais estacas, dado que as áreas eram de fileiras de cana retas (Figuras 14 e 15).

Figura 14 - Croquis do esquadrejamento e estaqueamento das parcelas experimentais

Figura 15 - Triângulo retângulo utilizado no esquadrejamento das parcelas

Com as áreas estaqueadas iniciou-se o corte da cana-de-açúcar contida nas regiões de bordadura deixando na área apenas a cana das parcelas experimentais. Todo o corte foi feito de forma manual, sem queima. As duas áreas experimentais compostas de 4 blocos de 5 parcelas

cada, continham uma faixa de bordadura central com largura de 12 m (Figura 13). Esta grande faixa foi necessária para que máquinas pudessem trafegar no carregamento e transporte da cana sem interferência nas parcelas. Assim, toda a cana cortada nas áreas experimentais, seja a contida nas regiões de bordadura, seja a contida nas parcelas, seria baldeada manualmente para essa grande faixa central onde era carregada mecanicamente.

A cana-de-açúcar das regiões de bordadura foi toda retirada para que as operações necessárias à caracterização das áreas fossem facilitadas. Após isso, apenas a cana-de-açúcar presente nas parcelas experimentais ficou remanescente nas duas áreas de experimento (Figura 16).

Figura 16 - Detalhe da cana-de-açúcar remanescente contida nas parcelas das duas áreas experimentais: (a) área 1; (b) área 2

3.3 Caracterizações das áreas experimentais

Com apenas a cana das parcelas experimentais pendentes de corte, iniciou-se uma série de atividades no intuito de caracterizar as duas áreas experimentais sob o prisma do solo e da cultura.

3.3.1 Caracterização da umidade, textura e densidade do solo

Foram extraídas 40 amostras de densidade em cada área experimental nos intervalos de profundidade de 0 a 10 e 10 a 20 cm, nas fileiras e entre fileiras da cultura. Isso foi feito através de trincheiras escavadas nas parcelas experimentais com inserção lateral de anel volumétrico. Juntamente com as amostras de densidade foram retiradas 20 sub-amostras por área experimental para análise granulométrica do solo que foi feita no laboratório de análise de solos do Departamento de Engenharia de Biossistemas da ESALQ/USP. Para caracterização da umidade foram extraídas 20 amostras de cada área experimental nas profundidades de 0 a 40 cm.

3.3.2 Caracterização da produtividade das parcelas experimentais

A produtividade das parcelas experimentais foi levantada através do corte manual, sem queima, da cana das parcelas. Ressalta-se que toda a cana cortada nas parcelas experimentais foi baldeada manualmente para as faixas de bordadura onde o tráfego de máquinas era permitido.

A cana-de-açúcar cortada das parcelas foi pesada através de uma célula de carga instalada na lança de uma carregadora. Foram formados feixes que eram suspensos pela carregadora com uma estrutura metálica que detinha uma célula de carga como interface de ligação entre o feixe de cana e a carregadora. Esses valores medidos para cada parcela experimental foram divididos pela área das parcelas obtendo assim o valor de produtividade em kg m^{-2} que depois foram transformados em t ha^{-1} (Figura 17).

Figura 17 - Detalhes do aparato de pesagem da cana-de-açúcar: (a) estrutura de suspensão e célula de carga; (b) transdutor de carga

3.3.3 Caracterização biométrica e da qualidade tecnológica da matéria prima

De cada parcela experimental, retirou-se 10 amostras de colmos que foram submetidas à caracterização biométrica com a contagem do número de gemas viáveis e a medição do comprimento (cm) e diâmetro (cm) do colmo no meio do internódio a 1,5 m da base. Após a medição os colmos foram levados ao laboratório da usina para execução de análise da qualidade tecnológica da matéria-prima, onde foi determinada a pureza do caldo, fibra da cana, sacarose aparente do caldo (PC), tonelada de sacarose aparente ha^{-1} (TPH), açúcares redutores do caldo (AR) e açúcar total recuperado (ATR), segundo o método CONSECANA (2003).

3.3.4 Caracterização da Resistência do Solo à Penetração

Os trabalhos de preparo, caracterização das áreas experimentais e aplicação dos tratamentos ocorreram entre 01 e 18 de dezembro de 2008. Com as áreas experimentais

totalmente isentas de cana-de-açúcar deu-se início à caracterização da Resistência do Solo à Penetração (RSP) das parcelas experimentais.

Na área experimental 1 foi usado um penetrômetro hidráulico eletrônico, desenvolvido pelo Departamento de Engenharia de Biosistemas da ESALQ/USP, constituído de um cilindro hidráulico, uma haste conectada a uma célula de carga de marca Gefran, modelo TG 61-501 e capacidade de 4903 N, um sensor potenciométrico linear também de marca Gefran, modelo PCM-750 E de até 10 k Ω . Estes são conectados a um computador portátil, coletando os dados e gerando um gráfico instantaneamente para visualização e conferência a partir do programa Penet, executado em linguagem DELPHI. A potência hidráulica requerida para inserção e retirada da haste no solo pelo cilindro hidráulico é provida pelo controle remoto do sistema hidráulico do trator ao qual o conjunto é rigidamente montado por meio do engate de três pontos (Figura 18).

Figura 18 - (a) Penetrômetro eletrônico de acionamento hidráulico; (b) Detalhe de aquisição de dados

A adoção do penetrômetro hidráulico eletrônico na área experimental 1 se deu, porque as condições de umidade no momento do ensaio, associadas às características físicas do solo daquela área, impossibilitaram a inserção da haste do penetrômetro por meio de ação humana, não sendo possível o uso de penetrômetro de acionamento manual. Assim, seria inevitável o tráfego de outro trator na área experimental 1 além daquele definido para aplicação dos

tratamentos. Para mitigar os efeitos do tráfego deste outro trator, foi utilizado o modelo mais leve dentre os disponíveis na usina, sendo um modelo Ford 4630 4x2, livre de lastros de rodado, lastros dianteiros e de água nos pneus. Além disso, optou-se pelo uso de uma configuração do penetrômetro, que possibilita o deslocamento lateral do cilindro e da haste de penetração para que com apenas uma passada do trator na entre fileira fosse possível fazer leituras de fileiras e entre fileiras.

Na área experimental 2, as condições de umidade já permitiam o uso de penetrômetro de acionamento manual, o que foi feito com um penetrômetro modelo PLG 1020 da marca Falker (Figura 19).

Figura 19 - Penetrômetro eletrônico de acionamento manual em operação

A grade amostral de caracterização da parcelas quanto à RSP foi composta de 16 mensurações por parcela, sendo 8 mensurações na fileira da cana-de-açúcar e 8 na entre fileira, conforme croquis da Figura 20.

Figura 20 - Croqui de caracterização da RSP das parcelas experimentais

3.3.5 Caracterização da cobertura de palha do solo

A compactação do solo através de cargas aplicadas pelo rodado de veículos sofre forte influência da cobertura superficial do solo. Na cultura da cana-de-açúcar, no momento da colheita mecanizada o solo é coberto pelo palhicho que é composto do material resultante do desponte dos colmos e da limpeza dos toletes de cana, feita pela colhedora. Assim, embora a colheita das áreas experimentais tenha sido manual, a mesma foi feita em cana crua e o palhicho resultante da limpeza manual foi espalhado na área, na tentativa de reproduzir o cenário de tráfego de um conjunto trator transbordo no momento da colheita mecanizada.

Esse palhicho propiciou uma cobertura superficial às áreas experimentais, que foi determinada através de 10 amostras extraídas com um gabarito, constituído de um quadro metálico de 50x50 cm totalizando 0,25 m² de área. O palhicho contido nesta área foi recolhido, seco em estufa à 60° C por 48 horas e depois pesado. Os pesos em gramas obtidos foram divididos pela área do gabarito obtendo-se o índice de cobertura superficial em gramas por m² e as médias dessas observações foram transformadas em t ha⁻¹.

3.4 Aplicação dos tratamentos

Imediatamente após a caracterização das parcelas quanto à RSP, prosseguiu-se com a aplicação dos tratamentos, para que em seqüência, uma nova investigação da RSP fosse feita buscando identificar efeitos da aplicação de cargas no solo pelos tratamentos. A urgência na execução dessas etapas é explicada pela necessidade de comparar os valores de RSP com mínimas variações de umidade no solo, ou seja, um fenômeno climático como uma precipitação pluviométrica, que ocorresse entre essas operações poderia implicar na perda da significância desta variável. Verifica-se, portanto, que mesmo com as duas áreas experimentais sendo próximas, foi necessário trabalhar primeiramente em uma área para depois partir para a outra, reduzindo os riscos de perdas de informações por quaisquer razões, desde alterações climáticas até problemas com a infra-estrutura fornecida pela usina.

O delineamento experimental foi definido por blocos aleatorizados compostos de 4 repetições para cada um dos 5 tratamentos com duas áreas experimentais diferindo no aspecto da textura do solo. O sorteio das repetições de cada tratamento dentro de cada bloco nas duas áreas experimentais é visto nas Figuras 21 e 22.

Figura 21 - Sorteio dos tratamentos nas parcelas da área experimental 1

Figura 22 - Sorteio dos tratamentos nas parcelas da área experimental 2

Todas as análises estatísticas utilizadas na investigação dos efeitos dos tratamentos sobre todas as variáveis investigadas foram feitas utilizando o pacote estatístico SAS – Statistical Analysis System (SAS INSTITUTE, 2001).

3.5 Identificações dos efeitos causados ao solo pelos tratamentos

3.5.1 Resistência do Solo à Penetração

O comportamento da RSP foi mensurado após a aplicação dos tratamentos utilizando-se novamente o penetrômetro em uma nova malha amostral. Esta nova malha amostral apresentou uma densidade amostral ainda maior, no intuito de detalhar a caracterização do comportamento da variável RSP quanto à aplicação dos tratamentos. Essa nova malha amostral é exibida no croqui da Figura 23.

Figura 23 - Croqui da malha amostral para identificação da resposta RSP aos tratamentos nas parcelas experimentais

A mensuração da RSP mais uma vez foi feita, usando o penetrômetro de acionamento hidráulico (Figura18) para a área experimental 1 e o penetrômetro de acionamento manual (Figura 19) para a área experimental 2.

3.5.2 Densidade do Solo

Após aplicação dos tratamentos foram extraídas 12 amostras de densidade do solo em cada uma das parcelas experimentais que sofreram algum nível de tráfego, sendo 6 amostras para fileiras e 6 para entre fileiras da cultura nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm num total de 384 amostras de densidade.

3.6 Identificação dos efeitos causados nas plantas pelos tratamentos

3.6.1 Contagem do número de perfilhos e das falhas de brotação

O número de perfilhos por metro foi contado aos 45 e 90 dias após a colheita. Foram contados 40 metros lineares de cana-de-açúcar em cada parcela e esta contagem foi feita deslocando-se 2,5 m das bordas para o interior da parcela, restando, dentro das parcelas, uma faixa interna de 4 fileiras de cana de 10 m onde se procedeu a contagem dos perfilhos (Figura 24). Em campo foram usadas estacas para delimitar as regiões de contagem dos perfilhos e o número de perfilhos contados foi dividido pelo comprimento das fileiras de cana em que estavam contidos obtendo-se a unidade de número de perfilhos por metro.

Figura 24 - Croqui do arranjo para contagem de amostra do número de perfilhos de uma parcela experimental

A brotação da cana-de-açúcar em resposta à aplicação dos tratamentos foi feita pela determinação das falhas de brotação, 90 dias após a colheita da cana planta. Foram consideradas todas as falhas ocorridas nas fileiras de cana das parcelas experimentais utilizando a metodologia proposta por Stolf et al. (1986), que consiste em contar e computar a

somatória da distância de falhas acima de 0,5 m num determinado trecho de uma fileira de cana e a porcentagem de falhas é obtida pela relação da soma dessa distância de falhas pelo comprimento da fileira de cana avaliada.

3.6.2 Biometria e qualidade da matéria-prima

Para a caracterização biométrica dos colmos, em cada parcela foram recolhidas amostras de 10 colmos na véspera da segunda colheita. Cada um desses colmos teve seu diâmetro (cm), medido no meio do internódio a 1,5 m de altura da base, comprimento (cm) e contagem de gemas totais determinados. De acordo com Landell et al. (2003) esses parâmetros de altura, diâmetro dos colmos associados ao número de perfilhos são componentes de produção determinantes para o potencial agrícola.

As amostras mensuradas em cada parcela foram identificadas e enviadas para análise tecnológica da matéria-prima colhida, onde foi determinada a pureza do caldo, fibra da cana, sacarose aparente do caldo (PC), tonelada de sacarose aparente ha^{-1} (TPH), açúcares redutores do caldo (AR) e açúcar total recuperado (ATR), segundo o método CONSECANA (2003). A cana é considerada madura, ou em condição de ser industrializada, quando apresenta teor mínimo de sacarose (Pol% da cana) acima de 12,275% do peso do colmo, sendo melhor o rendimento quanto maior for esta variável (DEUBER, 1988). Rodrigues (1995) salienta que a alta qualidade tecnológica da matéria-prima garante um funcionamento adequado da indústria.

A média das observações biométricas e de qualidade da matéria-prima de cada parcela foi submetida à análise estatística de variância para identificação de possíveis diferenças destas características entre os tratamentos.

3.6.3 Produtividade

Com a produtividade das duas áreas experimentais caracterizada no primeiro corte, fez-se a determinação desta mesma variável para o segundo corte. Os resultados das produtividades do segundo corte nas duas áreas experimentais foram então submetidos à análise estatística de variância ao nível de 95 % de significância para possível identificação de

diferenças entre os tratamentos. Também foram confeccionados gráficos com as médias de produtividade obtidas em cada tratamento para melhor visualização dos resultados.

3.7 Cuidados para a manutenção das parcelas experimentais

3.7.1 Tratos culturais

Todos os tratos culturais necessários ao bom desenvolvimento da cultura como adubação, cultivo e aplicação de produtos fitossanitários, foram feitos de forma manual nas áreas onde estavam contidas as parcelas experimentais. Isso foi feito visando evitar o tráfego de outras máquinas nas parcelas, que poderia interferir na essência do experimento.

3.7.2 Manutenção da visibilidade dos limites físicos das parcelas experimentais

Antes da execução do experimento em campo, na etapa de planejamento, previu-se que após o corte da cana de primeiro ano, o desenvolvimento da cultura para o segundo corte, com a cana das regiões de bordadura e das parcelas experimentais crescendo, a identificação das parcelas para a execução de etapas futuras seria dificultada. Por isso, planejou-se a eliminação de parte da cana-de-açúcar presente nas regiões de bordadura para que as parcelas experimentais se mantivessem visíveis. Essa eliminação da cana de bordadura foi feita pela aplicação manual de herbicida aos 45 dias após o corte da cana de primeiro ano (Figura 25).

Figura 25 - Eliminação da cana de bordadura com aplicação de herbicida

Aos 90 dias após o corte da cana de primeiro ano, foi feita a inspeção da eliminação da bordadura e repasse de algumas áreas pendentes (Figura 26).

Figura 26 - Detalhe de região de bordadura eliminada pela aplicação de herbicida

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterizações do solo das áreas experimentais

4.1.1 Resultados da caracterização dos tipos de solo

A classificação do tipo de solo presente nas duas áreas experimentais utilizadas foi obtida através da carta de solos das áreas agrícolas da Usina Nossa Senhora Aparecida. Esta carta de solos foi confeccionada pelo Centro Tecnológico Canavieiro de Piracicaba, Estado de São Paulo.

A área experimental 1 constitui-se de um Latossolo vermelho amarelo de textura predominante arenosa, pertencente a uma classe de solos bastante ampla quanto à sua coloração devido a grande variação nos teores de óxido de ferro e hematita. A área experimental 2 caracteriza-se num Latossolo vermelho de textura muito argilosa que é formado de rochas máficas e fortemente atraído pelo magneto devido ao alto teor de ferro (BIRKELAND, 1984). Do ponto de vista experimental, a diferenciação das áreas quanto ao tipo de solo e, sobretudo quanto à textura destes solos, foi satisfatória, pois assegurou que ocorressem duas distintas condições para a aplicação dos tratamentos.

4.1.2 Resultados da caracterização da textura

Na tabela 3, são apresentados os resultados da análise granulométrica feita para as duas áreas experimentais. A diferença de textura entre as duas áreas foi considerada satisfatória no que tange ao comportamento dos solos à aplicação de cargas, já que esse comportamento se torna diferente em função das diferentes texturas, o que possibilitou duas distintas condições para a aplicação dos tratamentos.

Tabela 3 - Análise granulométrica das áreas experimentais

Amostra	Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)
Área 1	16,83	12,32	70,85
Área 2	55,05	13,24	31,71

4.1.3 Resultados da caracterização da umidade

Os valores médios de umidade em base úmida (bu), obtidos para as duas áreas experimentais, no momento da aplicação dos tratamentos, são vistos na Tabela 4.

Tabela 4 - Caracterização da umidade das parcelas experimentais

Área experimental 1		
Umidade Média bu (%)	DP	CV
17,49	0,51	2,91
Área experimental 2		
Umidade Média bu (%)	DP	CV
11,55	1,00	8,62

De acordo com Lemos e Santos (1996), as umidades encontradas no momento do ensaio, associadas às características de formação da cada solo remetem a uma condição de friabilidade já que uma amostra de solo de ambas as áreas experimentais quando submetidas ao esboroamento manual entre os dedos polegar e indicador, desagregaram-se sob pequena pressão e agregaram-se por compressão posterior. Assim, considerou-se a condição de umidade das duas áreas experimentais perfeitamente normais ao tráfego de veículos nas áreas agrícolas, garantindo que os ensaios fossem feitos em condições normais de trafegabilidade de veículos, minimizando o efeito da umidade sobre a compactação.

4.1.4 Resultados da caracterização da densidade do solo

Os valores médios da caracterização da densidade do solo nas áreas experimentais 1 e 2 são vistos nas Tabelas 5 e 6, respectivamente. Os baixos valores de densidade apresentados e o alto grau de homogeneidade, indicado pelos baixos valores dos coeficientes de variação caracterizaram positivamente, quanto à densidade, as duas áreas experimentais para a aplicação dos tratamentos. Essa homogeneidade das áreas experimentais possibilitou maior confiabilidade na posterior análise estatística do efeito dos tratamentos sobre a densidade do solo.

Tabela 5 - Estatística descritiva da caracterização das densidades da área experimental 1

Fileiras de cana-de-açúcar			
Profundidade	Densidade (g cm ⁻³)	Desvio Padrão (g cm ⁻³)	CV (%)
0 -10 cm	1,01	0,099	9,81
10 - 20 cm	1,16	0,129	11,1
Entre fileiras de cana-de-açúcar			
Profundidade	Densidade (g cm ⁻³)	Desvio Padrão (g cm ⁻³)	CV (%)
0 -10 cm	1,07	0,105	9,76
10 - 20 cm	1,2	0,098	8,14

Na área experimental 1, formada por um Latossolo vermelho amarelo, as médias de densidade de caracterização da área encontradas para os dois níveis de profundidade, tanto nas fileiras quanto nas entre fileiras de cana-de-açúcar ficaram muito abaixo daqueles tidos como impeditivos ao crescimento de raízes. De acordo com Corrêa et al. (1999) que realizaram ensaios de compactação em cana-de-açúcar sob condições controladas, valores de densidade acima de 1,59 g cm⁻³ foram limitantes para o desenvolvimento das raízes nesse mesmo tipo de solo.

Tabela 6 - Estatística descritiva da caracterização das densidades da área experimental 2

Fileiras de cana-de-açúcar			
Profundidade	Densidade (g cm^{-3})	Desvio Padrão (g cm^{-3})	CV (%)
0 - 10 cm	1,02	0,092	9,09
10 - 20 cm	1,08	0,093	8,65
Entre fileiras de cana-de-açúcar			
Profundidade	Densidade (g cm^{-3})	Desvio Padrão (g cm^{-3})	CV (%)
0 - 10 cm	0,99	0,086	8,67
10 - 20 cm	1,17	0,068	5,83

Para a área experimental 2, sobre um Latossolo Vermelho, os valores de densidades encontrados para a caracterização da área também ficaram muito abaixo do valor crítico de densidade onde existe impedimento mecânico ao desenvolvimento de raízes. Este valor crítico de densidade para um Latossolo vermelho, segundo Corrêa et al. (1999) é da ordem de $1,4 \text{ g cm}^{-3}$. No que tange à densidade, os resultados obtidos na caracterização apontam para áreas sem nenhum efeito residual de compactação anterior ao experimento, possibilitando maior confiabilidade na exploração dos efeitos dos tratamentos.

4.1.5 Resultados da caracterização da Resistência do Solo à Penetração

Nas Tabelas 7 e 8, são descritos os resultados obtidos da amostragem de RSP para as duas áreas experimentais em 8 intervalos de profundidade que vão de 0 a 40 cm, nas fileiras e entre fileiras da cana-de-açúcar. Os valores médios encontrados foram utilizados na confecção das Figuras 27 e 28 que exprimem a curva de RSP do solo em função da profundidade para as áreas experimentais 1 e 2, respectivamente.

Tabela 7 - Estatística descritiva da caracterização da RSP da área experimental 1

Fileira			
Profundidade (cm)	RSP média (Mpa)	Desvio Padrão (Mpa)	CV (%)
0-5	0,482	0,16	32,37
5-10	0,690	0,44	64,28
10-15	0,963	0,50	51,77
15-20	1,305	0,46	35,35
20-25	1,558	0,41	26,32
25-30	1,706	0,39	22,61
30-35	1,687	0,37	22,01
35-40	1,548	0,50	32,03
Entre fileira			
Profundidade (cm)	RSP média (Mpa)	Desvio Padrão	CV (%)
0-5	1,009	0,32	31,47
5-10	1,209	0,34	27,98
10-15	1,407	0,42	29,95
15-20	1,809	0,51	28,19
20-25	2,098	0,49	23,45
25-30	2,366	0,57	23,89
30-35	2,717	0,65	24,08
35-40	3,151	0,67	21,40

Embora, os coeficientes de variação exibidos nas Tabelas 7 e 8 aparentem muito elevados, os mesmos são compatíveis ao que comumente se encontra em experimentos que exploram esta variável como os encontrados por Neiro et al. (2003) e Iaia et al. (2006). Mesmo com a alta densidade amostral utilizada, de 1777 pontos por hectare, não foi possível minimizar os efeitos da heterogeneidade do solo nesta variável, que é extremamente sensível a pequenas alterações que não refletem o estado de compactação do solo como a presença de lacunas ou vazios, pequenos seixos, gravetos, raízes e outros corpos estranhos presentes no solo.

Tabela 8 - Estatística descritiva da caracterização da RSP da área experimental 2

Fileira			
Profundidade (cm)	RSP Média (MPa)	Desvio Padrão	CV (%)
0-5	0,092	0,06	63,37
5-10	0,283	0,12	44,10
10-15	0,343	0,17	48,15
15-20	0,509	0,34	67,13
20-25	0,777	0,42	53,67
25-30	0,961	0,39	40,86
30-35	1,096	0,41	37,13
35-40	1,248	0,39	31,03
Entre fileira			
Profundidade (cm)	RSP média (MPa)	Desvio Padrão	CV (%)
0-5	0,114	0,05	44,70
5-10	0,356	0,17	47,88
10-15	0,410	0,27	67,98
15-20	0,665	0,50	76,44
20-25	0,968	0,53	55,54
25-30	1,328	0,47	35,44
30-35	1,619	0,51	31,67
35-40	1,879	0,67	35,69

Nas Figuras 27 e 28 as curvas do comportamento da RSP em relação à profundidade revelaram valores inferiores para as fileiras de cana-de-açúcar do que aqueles encontrados nas entre fileiras. Tal fato é perfeitamente compreensível, já que embora fossem áreas de primeiro corte, as entre fileiras já haviam sido utilizadas como área de rodagem para os rodados do trator na operação de sulcação, bem como para o trator que realizou a aplicação de defensivos, e isso contribuiu para a maior compactação das entre fileiras de cana-de-açúcar.

Figura 27 - Caracterização da Resistência do Solo à Penetração na área experimental 1

Figura 28 - Caracterização da Resistência do Solo à Penetração na área experimental 2

Com exceção dos valores encontrados abaixo de 25 cm de profundidade, nas entre fileiras de cana-de-açúcar da área experimental 1, as áreas se mantiveram com níveis de RSP

inferiores a 2 Mpa, nas condições de umidade apresentadas na Tabela 4. Como os valores de umidade do solo encontrados no momento da caracterização das áreas experimentais podem ser considerados baixos, dada a visível condição de friabilidade dos dois solos, presume-se que para valores superiores de umidade, a RSP mensurada seria ainda menor, pois a resistência do solo varia diretamente com a densidade do solo e inversamente com o conteúdo de água (BUSSCHER et al.,1997).

Considerando que 70 a 80% das raízes da cana-de-açúcar, segundo Fernandes et al. (1983) se concentram em um volume de solo medindo 60 cm de largura (incluindo a fileira da cana) por 40 cm de profundidade, se pode excluir os pontos amostrados nas entre fileiras como presentes em áreas de sistema radicular, uma vez que os mesmos foram feitos no centro da entre fileira, a uma distância de 75 cm do centro da soqueira.

Para as fileiras de cana-de-açúcar os valores de RSP encontrados foram ainda menores sendo de 1,706 Mpa o maior valor encontrado, a 30 cm de profundidade na área experimental 1. Segundo Taylor et al. (1966) e Nesmith (1987) valores de resistência do solo à penetração acima de 2,0 MPa são restritivos ao crescimento e ao funcionamento do sistema radicular, o que não ocorreu em nenhum valor médio representativo da presença do sistema radicular da cana-de-açúcar, que foram os pontos amostrados nas fileiras. Com exceção do intervalo de 25 a 40 cm de profundidade na área experimental 1, o valor restritivo ao crescimento de raízes de 2 Mpa não seria atingido nem mesmo com o acréscimo do desvio padrão de cada média.

Assim, verificou-se a alta qualidade das áreas experimentais quanto à caracterização da variável RSP que permitiu maior confiabilidade na exploração dos resultados obtidos na aplicação dos tratamentos, sob o aspecto da compactação do solo.

4.1.6 Resultados da caracterização da cobertura de palha no solo

Na Tabela 9, são descritos os resultados da determinação da cobertura de palha no solo no momento da aplicação dos tratamentos.

Tabela 9 - Estatística descritiva para a cobertura de palha no solo das duas áreas experimentais

Área experimental	Índice de palha no solo ($t\ ha^{-1}$)	DP ($t\ ha^{-1}$)	CV (%)
Área 1	2,03	0,91	44,74
Área 2	1,03	0,39	38,60

A caracterização da cobertura de palha no solo é de fundamental importância na interpretação dos resultados da aplicação dos tratamentos, pois o aumento do percentual de cobertura do solo com material vegetal gera um aumento da resistência desse solo ao tráfego de veículos (ESS et al., 1998).

4.2 Caracterizações da cultura nas áreas experimentais

4.2.1 Resultados da caracterização da produtividade

Na tabela 10 estão expostas as médias de produtividade do primeiro corte para caracterização das parcelas das duas áreas experimentais

Tabela 10 - Estatística descritiva da caracterização da produtividade inicial de cana-de-açúcar nas duas áreas experimentais

	Produtividade média ($T\ ha^{-1}$)	DP	CV (%)
Área 1	88,82	9,10	10,25
Área 2	83,10	9,85	11,86

Embora, os coeficientes de variação da produtividade apresentados no primeiro corte para ambas as áreas experimentais sejam relativamente baixos, as áreas experimentais apresentaram uma visível variabilidade espacial, o que é indesejável, pois interfere na exploração de resultados por meio da estatística clássica. Esta variabilidade pode ser vista nas Figuras 29 e 30.

Figura 29 - Produtividades em $t\ ha^{-1}$ do primeiro corte nas parcelas da área experimental 1

Figura 30 - Produtividades em $t\ ha^{-1}$ do primeiro corte nas parcelas da área experimental 2

Foram definidas três classes de produtividade em função do desvio padrão da amostragem de cada área. A classe padrão de produtividade foi considerada como os valores

no intervalo entre o valor médio subtraído de 1 desvio padrão e o valor médio acrescido de 1 desvio padrão. Os valores acima e abaixo deste intervalo constituíram as duas outras classes de produtividade. Com exceção de algumas parcelas isoladas que apresentaram produtividade pouco superior à classe padrão, é notável para as duas áreas que existe uma região de menor produtividade localizada na segunda coluna de parcelas.

Esta segunda coluna em ambas as áreas experimentais é representada pelo bloco 2, o que possibilitou a colocação de uma repetição de cada tratamento nestas regiões de menor produtividade, contribuindo para a mitigação dos efeitos da variabilidade espacial da produtividade nos resultados dos experimentos. Contudo, ressalta-se que a caracterização da produtividade no primeiro corte, revelou uma condição desfavorável à implantação dos experimentos dada pela heterogeneidade da variável produtividade.

4.2.2 Resultados da caracterização da biometria

Na Tabela 11 encontram-se os valores médios obtidos na caracterização biométrica das áreas experimentais. Os valores médios do diâmetro, comprimento e número de gemas viáveis de cada colmo são fruto de 200 observações feitas em cada área experimental.

Tabela 11 - Estatística descritiva dos valores médios obtidos da caracterização da biometria anteriores ao primeiro corte

Área experimental	Diâmetro (mm)	CV (%)	Comprimento (m)	CV (%)	Número de gemas	CV (%)
Área 1	28,2	5,08	2,11	6,85	13,97	6,37
Área 2	28,5	6,97	2,21	7,34	15,71	11,51

A pequena variabilidade apresentada nas amostras mostrou a ausência de tendências que pudessem influenciar futuros resultados, propiciando um cenário favorável à comparação futura dos tratamentos em relação à biometria.

4.2.3 Resultados da caracterização da qualidade da matéria prima

A caracterização da qualidade da matéria-prima colhida no primeiro corte nas áreas experimentais é vista resumidamente na Tabela 12.

Tabela 12 - Valores médios da caracterização da qualidade da matéria-prima

Área experimental	BRIX	PCC	Sacarose	Ar Corrigido
Área 1	22,05	17,69	85,36	0,16
Área 2	21,83	17,97	86,45	0,17

Legenda: Brix: Percentual de sólidos solúveis do caldo; PCC: Pol por cento cana; Ar. Corrigido: Açúcar recuperado corrigido.

4.3 Respostas do solo a aplicação dos tratamentos

4.3.1 Influência dos tratamentos Resistência do Solo à Penetração

A Tabela 13 mostra a análise de variância da RSP feita para os tratamentos em relação às fileiras e as entre fileiras de cana-de-açúcar da área experimental 1.

Nas camadas mais superficiais num intervalo de 0 a 5 cm de profundidade, todos os tratamentos diferiram estatisticamente da testemunha, apresentando maiores valores compactação das fileiras de cana neste intervalo de profundidade, mostrando que mesmo o tráfego intenso na entre fileira caracterizado pelo tratamento 5, influenciou a compactação superficial das fileiras

Abaixo de 10 cm de profundidade não houve diferença entre os tratamentos o que mostra uma maior resistência do solo em resposta aos tratamentos em condições friáveis de umidade. Nas entre fileiras da cana-de-açúcar, a testemunha apresentou menores valores de compactação até a profundidade de 10 cm quando comparados aos demais tratamentos. A grande diferença é vista entre o tratamento 5 (tráfego intenso nas entre fileiras) e os demais tratamentos, também nas camadas superficiais até 15 cm de profundidade.

Tabela 13 - Análise de variância para a RSP para a área experimental 1

Fileira					
Profundidade (cm)	Tratamento 4	Tratamento 3	Tratamento 2	Tratamento 5	Tratamento 1
0-5	1,183a	1,171a	1,199a	1,202a	0,587b
5-10	1,329a	1,262a	1,338a	1,312a	0,818b
10-15	1,032a	1,028a	1,032a	1,035a	0,987a
15-20	1,492a	1,422a	1,399a	1,444a	1,365a
20-25	1,645a	1,505a	1,595a	1,567a	1,609a
25-30	1,756a	1,663a	1,780a	1,729a	1,754a
30-35	1,868a	1,743a	1,809a	1,713a	1,820a
35-40	1,804a	1,657a	1,736a	1,680a	1,635a
Entre fileira					
Profundidade (cm)	Tratamento 5	Tratamento 2	Tratamento 3	Tratamento 4	Tratamento 1
0-5	5,103a	2,219b	2,056b	2,323b	1,059c
5-10	4,655a	2,178b	2,041b	2,265b	1,239c
10-15	2,309a	1,669b	1,530b	1,665b	1,392b
15-20	2,057a	1,734a	1,552b	1,647b	1,759a
20-25	2,175b	1,934ab	1,677a	1,833ab	2,077b
25-30	2,247a	2,204a	2,052a	2,109a	2,247a
30-35	2,315a	2,396b	2,200a	2,367a	2,815b
35-40	2,396a	2,643a	2,292a	2,576a	3,218b

Letras diferentes nas linhas indicam diferença significativa entre os tratamentos ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Nas Figuras 31 e 32 são exibidas as curvas de RSP em função da profundidade como resposta aos tratamentos na área experimental 1.

Figura 31 - Resistência do Solo à Penetração nas fileiras de cana-de-açúcar para a área experimental 1

Figura 32 - Resistência do solo à penetração nas entre fileiras de cana-de-açúcar para a área experimental 1

Tanto para as curvas obtidas nas fileiras como para as obtidas nas entre fileiras, o que se nota é a forte influência do tráfego na compactação até a profundidade de 15 cm, que

ocorreu tanto diretamente nas áreas específicas de aplicação de cargas quanto pela propagação dessas cargas aplicadas sobre o solo.

Tabela 14 - Análise de variância para a RSP para a área experimental 2

Fileira					
Profundidade (cm)	Tratamento 4	Tratamento 3	Tratamento 2	Tratamento 5	Tratamento 1
0-5	1,040a	1,003ab	0,887b	0,415c	0,315c
5-10	1,040a	1,002ab	0,886b	0,414c	0,315c
10-15	1,180a	1,142a	1,075a	0,499b	0,403b
15-20	1,219a	1,164a	1,176a	0,535b	0,447b
20-25	1,353a	1,244a	1,297a	0,799b	0,733b
25-30	1,420a	1,374a	1,447a	1,010b	1,001b
30-35	1,431a	1,467a	1,498a	1,082b	1,118b
35-40	1,476ab	1,467ab	1,549a	1,255bc	1,154c
Entre fileira					
Profundidade (cm)	Tratamento 5	Tratamento 1	Tratamento 2	Tratamento 3	Tratamento 4
0-5	0,699a	0,420b	0,443b	0,384b	0,378b
5-10	1,509a	0,458b	0,583b	0,612b	0,626b
10-15	1,538a	0,475c	0,689bc	0,784b	0,820b
15-20	1,560a	0,753b	0,949b	0,991b	0,972b
20-25	1,548a	1,067b	1,318ab	1,344ab	1,181b
25-30	1,527a	1,428a	1,519a	1,511a	1,402a
30-35	1,492a	1,699a	1,599a	1,649a	1,478a
35-40	1,542a	1,876a	1,605a	1,700a	1,511a

Letras diferentes nas linhas indicam diferença significativa entre os tratamentos ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Na Tabela 14, são vistos os resultados da RSP para a área experimental 2. Os resultados das amostras nas fileiras de cana mostram diferenças significativas entre as cargas aplicadas nas soqueiras (t2, t3, t4) e as cargas aplicadas nas entre fileiras (t5). Não houve diferenças significativas entre os níveis de carga aplicados nas fileiras, mostrando que o

tráfego sobre a soqueira resultou em aumento da compactação independente do número de passadas. Também não houve diferença significativa entre o tráfego dos rodados na entre fileira e a ausência de tráfego, mostrando que o perfeito tráfego na entre fileira não influenciou a RSP do solo na região das soqueiras. Os gráficos de RSP para fileira e entre fileira da área 2 são vistos nas Figuras 33 e 34.

Figura 33 - Resistência do Solo à Penetração nas fileiras de cana-de-açúcar para a área experimental 2

Figura 34 - Resistência do Solo à Penetração nas entre fileiras de cana-de-açúcar para a área experimental 2

A análise dos resultados da RSP das entre fileiras da área experimental 2 indicam que o tráfego intenso nas entre fileiras (T5) diferiu significativamente de todos os outros tratamentos até 25 cm de profundidade, o que era esperado uma vez que T5 é o único tratamento em que se trafegou nas entre fileiras.

4.3.2 Influência dos tratamentos na densidade do solo

Na Tabela 15 são exibidos os resultados da análise estatística para as densidades do solo na área experimental 1. Os resultados mostram diferença significativa entre os tratamentos nas fileiras de cana-de-açúcar apenas na camada mais superficial de 0 a 10 cm de profundidade onde todos os tratamentos diferiram da testemunha apresentando valores superiores de densidade

Nas entre fileiras, na profundidade de 0 a 10 cm todos os tratamentos apresentaram valores de densidade de solo superiores à testemunha. Para a camada de 10 a 20 cm os tratamentos 4 e 5 se mostraram superiores. Para o tratamento 5 este comportamento já era

esperado e em relação aos tratamentos 2, 3 e 4 observa-se uma influência do tráfego nas soqueiras na densidade do solo contido nas entrelinhas e essa influência aumenta com a intensidade de carga aplicada.

Tabela 15 - Análise de variância para as densidades do solo (g cm^{-3}) da área experimental 1

Fileiras					
Prof./ Trat.	t1	t2	t3	t4	t5
0 - 10 cm	0,995a	1,287b	1,373b	1,360b	1,260b
10 - 20 cm	1,145a	1,277a	1,276a	1,347a	1,310a
Entre fileiras					
Prof./ Trat.	t1	t2	t3	t4	t5
0 - 10 cm	1,015a	1,292b	1,346b	1,366b	1,437b
10 - 20 cm	1,155a	1,277a	1,250a	1,340b	1,372b

Letras diferentes nas linhas indicam diferença significativa entre os tratamentos ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Na Tabela 16 são exibidos os resultados para as médias de densidades do solo obtidas nas fileiras e entre fileiras da área experimental 2. No que tange à variável densidade do solo mensurada nas fileiras da cultura, não houve diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos, o que de certa forma não era esperado em função do aumento significativo para a RSP nos tratamentos onde houve aplicação de carga e que se relaciona diretamente com a densidade. Uma possível explicação seria a coleta das amostras de densidade, nas fileiras da cana-de-açúcar, em pontos envolvidos por grande quantidade de raízes e estas tenham servido de anteparo físico contra a ação dos rodados nestes pontos onde foram colhidas as amostras de solo. Nas entre fileiras, houve diferença significativa entre os tratamentos com destaque para o tratamento 5 e para a influência crescente do aumento na densidade do solo das entrelinhas em função do aumento da intensidade de tráfego nas soqueiras.

Tabela 16 - Análise de variância para as densidades do solo (g cm^{-3}) da área experimental 2

Fileiras					
Prof./ Trat.	t5	t3	t4	t2	t1
0 - 10 cm	0,977a	1,160a	1,135a	1,115a	0,997a
10 - 20 cm	1,040a	1,100a	1,122a	1,160a	1,092a
Entre fileiras					
Prof./ Trat.	t5	t3	t4	t2	t1
0 - 10 cm	1,197a	1,137ab	1,065bc	1,065bc	0,9675c
10 - 20 cm	1,147a	1,127a	1,102a	1,135a	1,197a

Letras diferentes nas linhas indicam diferença significativa entre os tratamentos ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

4.4 Respostas da cultura à aplicação dos tratamentos

4.4.1 Influência dos tratamentos nas falhas de brotação

Nas Tabelas 17 e 18 são vistos os resultados das falhas de brotação identificadas nas duas áreas experimentais.

Tabela 17 - Estatística descritiva das falhas de brotação na área experimental 1

Área experimental 1		
Tratamentos	Falhas de brotação média (m)	CV (%)
T1	0,66a	66,88
T2	0,79a	69,28
T3	0,59a	200,00
T4	1,61a	50,02
T5	1,13a	36,34

Letras diferentes nas colunas indicam diferença significativa entre os tratamentos ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Tabela 18 - Estatística descritiva das falhas de brotação na área experimental 2

Área Experimental 2		
Tratamentos	Falhas de brotação médias (m)	CV (%)
T1	2,58a	83,28
T2	3,09a	57,88
T3	5,10a	66,62
T4	2,86a	72,15
T5	3,19a	83,75

Letras diferentes nas colunas indicam diferença significativa entre os tratamentos ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Embora, para as duas áreas experimentais têm-se sensíveis diferenças entre as médias, estatisticamente não houve diferenças significativas devido à grande variabilidade nas amostras que é visível pela análise dos coeficientes de variação que apresentaram valores bastante altos.

4.4.2 Influência dos tratamentos no número de perfilhos

Nas Tabelas 19 e 20 são descritos os resultados para o número de perfilhos mensurados nas duas áreas experimentais. Não houve diferenças significativas quanto aos tratamentos para a variável em questão. Também não houve diferença significativa entre as duas épocas em que foram contados os perfilhos, que foram aos 75 e aos 120 dias após o primeiro corte e aplicação dos tratamentos.

Tabela 19 - Estatística descritiva para o número de perfilhos por metro da área experimental 1 aos 75 e aos 120 dias após a aplicação dos tratamentos

Área Experimental 1				
Tratamentos	Perfilhos m ⁻¹ (75 dias)	CV (%)	Perfilhos m ⁻¹ (120 dias)	CV(%)
T1	15,26a	3,14	15,29a	3,00
T2	15,85a	6,20	15,89a	6,38
T3	16,21a	5,15	16,23a	5,04
T4	14,76a	4,03	14,91a	4,38
T5	15,84a	3,60	15,95a	3,25

Letras diferentes nas colunas indicam diferença significativa entre os tratamentos ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Tabela 20 - Estatística descritiva para o número de perfilhos por metro da área experimental 2 aos 75 e aos 120 dias após a aplicação dos tratamentos

Área Experimental 2				
Tratamentos	Perfilhos m ⁻¹ (75 dias)	CV (%)	Perfilhos m ⁻¹ (120 dias)	CV (%)
T1	14,38a	1,97	14,44a	2,20
T2	15,89a	12,14	15,91a	12,00
T3	14,23a	7,49	14,39a	7,22
T4	15,13a	16,97	15,23a	16,85
T5	14,38a	5,61	14,48a	4,77

Letras diferentes nas colunas indicam diferença significativa entre os tratamentos ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Com exceção de uma maior variabilidade das amostras encontradas nos tratamentos 2 e 4 na área experimental 2, todas as outras amostras apresentaram coeficientes de variação inferiores a 10%. Esta homogeneidade das amostras associadas à ausência de diferença significativa entre os tratamentos aponta para a inexistência de efeitos dos tratamentos no que tange à variável número de perfilhos por metro.

4.4.3 Influência dos tratamentos na qualidade da matéria-prima

Os resultados obtidos para a análise tecnológica da matéria-prima extraída no segundo corte para as duas áreas experimentais encontram-se nas Tabelas 21 e 22. A variação de todos os parâmetros tecnológicos avaliados foi mínima, não havendo diferença significativa entre os tratamentos.

Tabela 21 - Análise de variância para a qualidade da matéria-prima da área experimental 1

Tratamentos	BRIX	PCC	Sacarose	Ar Corrigido
1	18,75a	14,67a	69,32a	0,14a
2	18,98a	14,64a	69,34a	0,15a
3	18,95a	14,74a	69,77a	0,15a
4	18,55a	14,08a	66,91a	0,15a
5	18,65a	14,32a	67,66a	0,15a

Letras diferentes nas colunas indicam diferença significativa entre os tratamentos ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Legenda: Brix: Percentual de sólidos solúveis do caldo; PCC: Pol por cento cana; Ar. Corrigido: Açúcar recuperado corrigido.

Tabela 22 - Análise de variância para a qualidade da matéria-prima da área experimental 2

Tratamentos	BRIX	PCC	Sacarose	Ar Corrigido
1	18,50a	15,64a	69,63a	0,14a
2	17,68a	13,61a	64,79a	0,15a
3	17,28a	13,15a	62,11a	0,18a
4	17,78a	13,70a	65,03a	0,15a
5	18,10a	14,12a	66,88a	0,13a

Letras diferentes nas colunas indicam diferença significativa entre os tratamentos ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Legenda: Brix: Percentual de sólidos solúveis do caldo; PCC: Pol por cento cana; Ar. Corrigido: Açúcar recuperado corrigido.

4.4.4 Influência dos tratamentos na biometria

Os resultados obtidos nas mensurações biométricas de amostras extraídas das parcelas experimentais encontram-se nas Tabelas 23 e 24, que exibem um resumo de análise de variância, comparando entre os tratamentos o diâmetro, o número de gemas viáveis e a altura das canas das amostras para as áreas experimentais 1 e 2 respectivamente.

Tabela 23 - Análise de variância para a biometria das amostras da área experimental 1

Tratamentos	Diâmetro médio (cm)	Nº de gemas médio	Comprimento médio (m)
T1	2,92a	13,95a	2,11a
T2	2,95a	14,15a	2,11a
T3	2,84a	14,25a	2,01a
T4	2,80a	14,65a	1,96a
T5	2,90a	14,05a	2,11a

Letras diferentes nas colunas indicam diferença significativa entre os tratamentos ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Tabela 24 - Análise de variância para a biometria das amostras da área experimental 2

Tratamentos	Diâmetro médio (cm)	Nº de gemas médio	Comprimento médio (m)
T1	2,69a	16,00a	2,28a
T2	2,74a	16,12a	2,09ab
T3	2,58a	15,20a	1,91b
T4	2,63a	14,52a	1,89b
T5	2,77a	16,12a	2,27a

Letras diferentes nas colunas indicam diferença significativa entre os tratamentos ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Na área experimental 1 nenhuma das características biométrica apresentou diferença significativa entre os tratamentos.

Na área experimental 2, para o comprimento de colmos, houve influência dos tratamentos com redução daqueles que se desenvolveram onde houve maior intensidade de

tráfego sobre a soqueira. Todos os tratamentos que simularam tráfego sobre as soqueiras (2, 3 e 4) apresentaram redução no comprimento dos colmos sendo esta redução mais intensa nos tratamentos 3 e 4. O controle de tráfego representado pelo tratamento 5, foi estatisticamente igual à testemunha.

4.4.5 Influência dos tratamentos na Produtividade

Na Figura 35 são apresentados os valores de produtividades do segundo corte obtidos na área experimental 1. Os valores médios de produtividade indicam certa influência dos tratamentos quanto a esta variável. Até mesmo as repetições analisadas individualmente, indicam que para os tratamentos onde houve aplicação de maiores cargas sobre as soqueiras, como os tratamentos 3 e 4, houve uma redução significativa nas produtividades.

Figura 35 - Produtividades do segundo corte da área experimental 1 separadas por repetições de cada tratamento

Na Figura 35 também observa-se a tendência do tratamento 5 em acompanhar a testemunha (tratamento 1) nos valores de produtividade, o que mostra o pouco ou nenhum efeito da aplicação de cargas, mesmo que excessivamente, nas entre fileiras da cultura.

A produtividade das parcelas experimentais apresentou uma variabilidade acentuada desde o primeiro corte, onde se objetivava apenas a caracterização das áreas experimentais. O uso de blocos experimentais contribuiu para a mitigação desta variabilidade, mas ainda, não torna ideal a condição experimental do trabalho em questão. Na Tabela 25 é apresentada a análise de variância para as produtividades obtidas no segundo corte para a área experimental 1. A grande variabilidade espacial na produtividade entre parcelas contribuiu para a inexistência de diferença significativa entre os tratamentos, apesar da sensível diferença entre as médias, em especial para o tratamento 4 que é o mais intenso na aplicação de carga nas soqueiras e que apresentou uma produtividade média 13,66% menor que a média da testemunha.

Tabela 25 - Análise de variância para as produtividades da área experimental 1

Tratamentos	Produtividade Média (t ha ⁻¹)	DP (t ha ⁻¹)	CV(%)
1	92,51a	5,81	6,13
2	91,81a	9,52	10,43
3	93,56a	5,27	6,28
4	79,87a	6,46	7,98
5	91,69a	11,23	12,23

Letras diferentes nas colunas indicam diferença significativa entre os tratamentos ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Para um nível de significância de 90% a área experimental 1 apresentou diferença significativa entre os tratamentos com maior diferenciação do tratamento 4 em relação aos demais. Considerando a alta variabilidade na produtividade das parcelas, para este nível de significância fica evidente o efeito do tráfego na produtividade (Tabela 26).

Tabela 26 - Análise de variância para as produtividades da área experimental 1 com nível de significância de 90%

Tratamentos	Produtividade Média (t ha ⁻¹)	DP (t ha ⁻¹)	CV(%)
1	92,51a	5,81	6,13
2	91,81ab	9,52	10,43
3	93,56a	5,27	6,28
4	79,87b	6,46	7,98
5	91,69ab	11,23	12,23

Letras diferentes nas colunas indicam diferença significativa entre os tratamentos ao nível de 10% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Na Figura 36 são apresentados os valores de produtividades do segundo corte obtidos na área experimental 2. A observação das repetições mais uma vez aponta para as baixas produtividades obtidas pelos tratamentos que simulam o tráfego acidental sobre as soqueiras. Todas as repetições para o tratamento 5 apresentaram valores de produtividade compatíveis e até superiores à testemunha.

Figura 36 - Produtividades do segundo corte da área experimental 2 separadas por repetições de cada tratamento

Os resultados da análise de variância para a produtividade da área experimental 2 são vistos na tabela 26. Nesta área observa-se uma melhor resposta da cultura à aplicação dos tratamentos que divergiram estatisticamente e evidenciaram uma redução de produtividade proporcional à intensidade de carga aplicada às soqueiras. A redução na produtividade se mostrou diretamente proporcional à intensidade de carga aplicada às soqueiras pelos tratamentos. O tratamento 2, que é o mais brando entre os tratamentos onde ocorre o tráfego sobre a soqueira, apresentou uma redução na produtividade de 7,75% comparado à testemunha, enquanto o tratamento 4 que oferece a maior intensidade de carga nas soqueiras apresentou uma redução de 11,65%. O tratamento 3, cujo nível de carga sobre as soqueiras é intermediário apresentou redução 15,59% comparado à produtividade da testemunha.

Tabela 27 - Análise de variância para as produtividades da área experimental 2

Tratamentos	Produtividade média (t ha ⁻¹)	DP (t ha ⁻¹)	CV (%)
1	81,30ab	15,85	18,95
2	75,25ab	12,86	14,61
3	68,55b	5,38	6,42
4	71,83b	5,00	6,34
5	92,86a	9,12	11,24

Letras diferentes na coluna indicam diferença significativa entre os tratamentos ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

O tratamento 5, que simulou um tráfego controlado com uma aplicação intensa de carga nas entre fileiras, não diferiu da testemunha apresentando inclusive uma produtividade 14,1 % maior, o que indicou um bom resultado na adoção do controle de tráfego, mesmo com alta intensidade de carga.

5 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

Este item tem por finalidade a reflexão sobre este trabalho quanto às condições experimentais de forma a gerar sugestões que possam contornar problemas encontrados, contribuindo para a melhoria de trabalhos futuros. No que tange a condições de campo podem ser enumeradas as seguintes sugestões:

- adoção de mais de uma variedade de cana-de-açúcar, tornando mais amplo o alcance do experimento; o experimento em questão avaliou áreas cultivadas apenas com a variedade SP 89 1115 que se mostrou muito susceptível ao ataque da broca o que constituiu uma condição indesejável na realização do experimento;
- adoção de um número maior de classes de solo combinadas com mais condições de umidade o que também tornariam o experimento mais amplo;
- aumento do número de repetições de cada tratamento em campo já que uma variabilidade espacial nas áreas experimentais é identificada apenas após a instalação do experimento;
- execução de experimento em estufa e caixa de solo com controle total de variáveis do solo (compactação, textura, umidade e impurezas) e da planta (pragas, doenças, adubação);
- desenvolvimento de alargadores de bitola específicos para o experimento que garantam uma bitola igual ou múltipla do espaçamento da cultura para o perfeito tráfego dos rodados sobre as fileiras de cana;
- desenvolvimento de uma técnica que avalie o percentual e a intensidade do tráfego acidental sobre as soqueiras pelo conjunto trator-transbordo em condições reais de campo.

6 CONCLUSÕES

Observou-se, nas condições de umidade dos ensaios, forte influência do tráfego inadvertido no aumento da compactação do solo nas soqueiras de cana-de-açúcar, com um menor efeito sobre a área experimental 1 (Latossolo vermelho amarelo) que sofreu influência mais superficial e maior influência na área experimental 2 (Latossolo Vermelho) que sofreu alteração da compactação em todo o intervalo de profundidade avaliado.

O tratamento que simulou uma condição de tráfego controlado com aplicação intensa de carga sobre o solo não exerceu nenhuma influência sobre a compactação do solo das soqueiras, mostrando a eficácia da técnica na preservação das condições de desenvolvimento da cultura, mesmo com as entre fileiras sendo altamente compactadas.

Não houve influência de nenhum tratamento nas falhas de brotação, número de perfilhos por metro e nos parâmetros de qualidade da matéria-prima. Quanto à biometria, na área experimental 2, o tráfego acidental mais intenso promoveu redução do comprimento dos colmos enquanto o tratamento que simulou o controle de tráfego em nada afetou os aspectos biométricos. Na área experimental 1 não se observou nenhuma influência dos tratamentos nas características biométricas.

Não houve diferenças significativas de produtividade entre os tratamentos para a área experimental 1. Contudo, para a área experimental 2 os tratamentos que simularam tráfego acidental sobre as soqueiras apresentaram reduções significativas na produtividade indicando forte influência do tráfego acidental nos resultados de produtividade.

As informações obtidas indicam uma relação entre aumento da compactação das soqueiras devido ao tráfego inadvertido e a redução da produtividade.

REFERÊNCIAS

AUSTRALIAN CENTER FOR INTERNATIONAL AGRICULTURAL RESEARCH. **Conservation tillage and controlled traffic:** project 9209. Canberra, 1998. n. 10, 29 p.

ALFONSI, R.R.; PEDRO, M.J.; BRUNINI, O.; BARBIERI, V. Condições climáticas para a cana-de-açúcar. In: PARANHOS, S.B. **Cana-de-açúcar:** cultivo e utilização. São Paulo: Fundação Cargill, 1987. v. 1, p.42-87.

BEARD, F.R.; MCCLENDON, R.W.; MANOR, G. Comparing widespan equipment with conventional machinery systems for soybean production. **Applied Engineering in Agriculture**, St Joseph, v. 11, n. 6, p. 795-800, 1995.

BELINASO, I.F.; MORDES, E.E.; DONIZETE, J.L.; SILVA, P.C.; STRINI JÚNIOR, A.E. A compactação de solos cultivados com cana-de-açúcar. In: SEMINÁRIO DE TECNOLOGIA AGRONÔMICA, 6., 1994, Piracicaba. **Anais...** São Paulo: COOPERSUCAR, 1994. p. 37-66.

BONOMI, A.; POÇO, J.G.R.; TRIELLI, M.A. Biocombustíveis: a solução brasileira para uma matriz energética sustentável. **Revista Brasileira de Engenharia Química**, São Paulo, v. 22. n. 2, p. 16-21, out. 2006.

BIRKELAND, P.W. **Soils and geomorphology**. New York: Oxford University Press, 1984. 372 p.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Plano Nacional de Agroenergia 2006 - 2011**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2006. 110 p

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Produção brasileira de cana-de-açúcar**. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/pls/portal/docs/PAGE/MAPA/ESTATISTICAS/PRODUCAO/03-PROD.%20CANA%20SAFRA.PDF>>. Acesso em: 07 out. 2009.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Empresa de pesquisa energética. **Balanco energético nacional 2010:** resultados preliminares. Disponível em: <<http://www.ben.epe.gov.br/>>. Acesso em: 13 mai. 2010.

BRAUNACK, M.V.; MCGARRY, D: Traffic control and tillage strategies for harvesting and planting of sugarcane (*Saccharum officinarum*) in Australia. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 89, p. 86-102, 2006.

BUCKERIDGE, M. Seqüestro de carbono, cana-de-açúcar e o efeito Cinderela. **Com Ciência**, n. 86, abr. 2007. Disponível em: <<http://www.comciencia.br/comciencia/handler.php>>. Acesso em: 06 out. 2009.

BUSSCHER, W.J.; BAUER, P.J.; CAMP, C. R.; SOJKA, R. E. Correction of cone index for soil water content differences in a coastal plain soil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 43, p. 205-217, 1997.

CAMARGO, O.A. & ALLEONI, L.R.F. Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 1997. 132p.

CARTER, L.M.; MEEK, B.D.; RECHER, E.A. Zone production system for cotton: soil response. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 34, n. 2, p. 354-360, 1991.

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

CHI, L.; TESSIER, S. **Soil compaction and ruts depth reduction with high flotation tires on heavy trucks**. St. Joseph, ASAE, 1994. 13 p. (ASAE Paper, 941559).

CLARK, R.L. **Effect of controlled traffic on soil cone index**. St. Joseph, ASAE, 1991. 14 p. (ASAE Paper, 941039).

COLETI, J. T.; DEMATTE, J. L. I. Compactação artificial em solos. Experiências e dados informativos. **Álcool e Açúcar**, São Paulo, n. 2, 1982. p. 34-38.

COLWICK, R.F.; BARKER, G.L.; SMITH, L.A. **Effects of controlled traffic on residual effects of subsoiling**. St. Joseph: ASAE, 1981. 16 p. (ASAE Paper, 811016).

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento de safra brasileira: cana-de-açúcar**, primeiro levantamento. Brasília, 2010. 17 p.

CONFEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO BRASIL. Superintendência Técnica. **Balanço e perspectivas da agropecuária brasileira: 2007 e 2008**. Disponível em: <<http://www.cna.org.br>>. Acesso em: 23 out. 2009.

CONSELHO DOS PRODUTORES DE CANA-DE-AÇÚCAR, AÇÚCAR E ÁLCOOL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Manual de instruções**. Piracicaba, 1999. 92 p.

_____. **Manual de instruções**. Piracicaba, 2003. 116 p.

COOPERATIVA DOS PRODUTORES DE CANA, AÇÚCAR E ÁLCOOL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Recomendação de adubação para a cultura da cana-de-açúcar**. Piracicaba: Centro de Tecnologia Copersucar, 1988. 7 p.

COOPER, A.W.; TROUSE, A.C.; DUMAS, W.T. Controlled traffic in row crop production. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF CIGR, 7., 1969, Baden-Baden: **Proceedings...** Baden-Baden: CIGR, 1969. p. 01-06.

COOPER, A.W.; TROUSE, A.C.; DUMAS, W.T.; WILLIFORD, J.R. **Controlled traffic farming, a beneficial cultural practice for southern U.S. agriculture**. St. Joseph: ASAE, 1983. 15 p. (ASAE Paper, 831547).

CORRÊA, J.B.D.; ANDRADE, L.A.B.; DIAS JÚNIOR, M.S.; ALVES, V.G. Efeitos da compactação de três tipos de solos no rendimento de matéria seca de duas variedades de cana-de-açúcar, em condições de casa de vegetação. **STAB. Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 18, n. 2, p. 32-34. nov./dez. 1999.

CORSINI, P.C. Problemas causados pela compactação do solo **STAB. Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 11, n. 5, p. 8-13, maio/ jun. 1993.

DEUBER, R. Maturação da cana-de-açúcar na região sudeste do Brasil. In: SEMINÁRIO DE TECNOLOGIA AGRONÔMICA, 4., 1988, Piracicaba. **Resumos...** Piracicaba: Centro de Tecnologia COOPERSUCAR, 1988. p. 33-40.

DIAS NETO, A.F. **Aprimoramento de um mecanismo dosador de rebolos de cana-de-açúcar para o plantio mecanizado**. 2000. 97 p. Dissertação (Mestrado em Mecanização Agrícola) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000.

DOMIER, K.W.; FRIESEN, O.H.; TOWNSEND, J.S. Traction characteristics of two-wheel drive, four-wheel drive and crawler tractors. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 14, n. 3, p. 520-522, 1971.

DUMAS, T.W.; TROUSE, A.C.; SMITH, L.A.; KUMMER, F.A.; GILL, W.R. Development and evaluation of tillage and other cultural practices in a controlled traffic system for cotton in the southern coastal plains. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 16, n. 5, p. 872-876, 1973.

ESS, D.R.; VAUGHAN, D.H.; PERUMPRAL, J.V. Crop residue and root effects on soil compaction. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 41, n. 5, p. 1271-1275, 1998.

ESTADOS UNIDOS. Department of Agriculture. Foreign Agriculture Service. Disponível em: <<http://www.fas.usda.gov/>>. Acesso em: 23 maio 2009.

FARINA, E.; ZYLBERSZTAJN, D. (Coord.). **Competitividade no agribusiness brasileiro**. São Paulo: PENSA; FIA; USP, FEA; IPEA, 1998. 73 p.

FERNANDES, J.; RIPOLI, T.C.; MILAN, M. A compactação do solo e a brotação das soqueiras. **Etanol & Açúcar**, São Paulo, v. 3, n. 12, p. 12-17, 1983.

FLEIGE, H.; HORN, R. Field experiments on the effect of soil compaction on soil properties, runoff, interflow and erosion. **Advances in Geocology**, Reiskirchen, v. 32, p. 258-268 2000.

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

GAN-MOR, S.; CLARK, R.L. DGPS-based automatic guidance-implementation and economical analysis. In: ASABE ANNUAL INTERNATIONAL MEETING, 2001, Sacramento. **Proceedings...** Sacramento: ASABE, 2001. p. 1-13.

GUPTA, S.C.; SHARMA, P.P.; DEFRANCHI, S.A. Compaction effects on soil structure. In: **Advances in Agronomy** v. 42, p. 311-338, 1989.

HADAS, A. Controlled traffic in Israel. **Acta Horticulture**, The Hague, n. 210, p. 43-67, 1987.

HAKANSSON, I.; REEDER, R.C. Subsoil compaction by vehicles with high axle load-extent, persistence and crop response. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 29, p. 277-304, 1994.

HUDSON, B.D. Soil organic matter and available water capacity. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v. 49, n. 2, p. 189-194, 1994.

IAIA, A.M.; MAIA, J.C.S.; KIM, M.E. Uso do penetrômetro eletrônico na avaliação da resistência do solo cultivado com cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina grande, v. 10, n. 2, p. 523-530, 2006.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS/ CANASAT – Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/mapdsr/>>. Acesso: 03 mar. 2010.

LANDELL, M.G.A.; PRADO, H.; VASCONCELOS, A.C.M.; PERECIN, D.; ROSSETTO, R.; BIDÓIA, M.A.P.; XAVIER, M.A. Oxisol subsurface chemical attributes related sugarcane productivity. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 60, p. 741-745, 2003.

LEMOES, P.C.; SANTOS, R.D. dos. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. Campinas. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996. 84 p.

LETEY J. Relationship between soil physical properties and crop production. **Advances in Soil Science**, New York, v.1. n.1, p. 277-294, 1985.

LAGUË, C.; AGNEW, J.; KHELIFI, M. Theoretical evaluation on the feasibility of controlled-traffic farming (CTF) using wide-span implements carriers (WSIC) for Canadian agriculture. In: ANNUAL MEETING OF THE CSAE/SCGR, 2003, Montréal, Canada. **Proceedings...** Montreal: CSAE/SCGR, 2003, Paper no.03-233.

LOPES, M.B.; LUNARDI FILHO, D.; PECHE FILHO, A.; COELHO, J.L.D.; MILAN, M. Qualidade em operações agrícolas mecanizadas na cultura da cana-de-açúcar. **STAB. Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 13, n. 3, p. 26-30, jan./fev. 1995.

MACEDO, D. **Produção de álcool e de açúcar será a maior da história do país.** Disponível em: < <http://www.conab.gov.br/conabweb/>>. Acesso em: 12 mar. 2009.

MACHADO, A.L.T.; REIS, Â.V.; FERREIRA, M.F.P.; MACHADO, R.L.T.; MACHADO, A.L.C.; BAUER, G.B. Influência da pressão de inflação do pneu do trator na resistência do solo à penetração. **Revista Brasileira Agrociência**, Pelotas, v. 11, n. 4, p. 481-486, out./dez. 2005.

MAGALHÃES, P. S. G. Manejo do solo e seus efeitos sobre a compactação. In: SILVEIRA, G. M. da, coord. Ciclo de Estudos sobre Mecanização Agrícola, n. 4, Jundiaí, 1990. Anais. Campinas, Fundação Cargill, 1990. p. 157-167.

MARMORI, M.; FELIZOLA, E.R.. Como fazer aglomerado com bagaço de cana. **Revista Ciência Hoje**, cidade, v. 18, n. 107, p. 2-3, 1995.

MARQUES, P.V. (Coord.). **Custo de produção agrícola e industrial de açúcar e álcool no Brasil na safra 2007/2008.** Piracicaba: ESALQ, Departamento de Economia, Administração e Sociologia; Programa de Educação Continuada em Economia e Gestão de Empresas, 2009. 194 p. (Relatório apresentado a Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil).

MCKENZIE, D.C.; MCBRATNEY, A.B. Cotton root growth in a compacted Vertisol (Grey Vertosol). I. Prediction using strength measurements and 'limiting water ranges.' **Australian Journal of Soil Research**, Collingwood, v. 39, n. 5, p. 1157-1168, 2001.

MCPHEE, J.E.; BRAUNACK, M.V. **Benefits of controlled traffic in the tropics.** Uppsala: CIGR, 1992. p. 1-4 (Paper, 9201107).

MIALHE, L.G. Revisão sobre o tráfego no canavial e suas conseqüências. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE MECANIZAÇÃO E PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR, 2000, Ribeirão Preto. Ribeirão Preto: IDEA, 2000. p. 22-45.

MICHELAZZO, M.B.; BRAUNBECK, O.A. Tráfego controlado na mecanização da cana-de-açúcar. In: WORKSHOP INTERNACIONAL BRASIL-JAPÃO EM BIOCOMBUSTÍVEL, MEIO AMBIENTE E NOVOS PRODUTOS DA BIOMASSA, 5., 2007, Campinas. Campinas: UNICAMP, 2007. p. 61-72.

MILAN, M. Fatores críticos no sistema de produção de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 18, n. 4, p. 100-109, 1999.

MOLIN, J.P. Tendências da agricultura de precisão no Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO. 2004, 2004, Piracicaba. Anais do Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão - ConBAP 2004. Piracicaba : ESALQ/USP, 2004. p. 1-10.

MONROE, G.E.; BURT, E.C. Wide-frame tractive vehicle for controlled traffic research. **Applied Engineering in Agriculture**, St. Joseph, v. 5, n. 1, p. 40-43, 1989.

- MORAES, M.A.F.D. O mercado de trabalho da agroindústria canavieira: Desafios e Oportunidades. **Economia Aplicada**, São Paulo, v. 11, n. 4, p. 605-619, out./dez. 2007.
- MUROSKEY, D.L.; HASSAN, A. Impact of tracked and rubber-tired skidders traffic on a wetland side in Mississippi. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 34, n. 1, p. 322-327, 1991.
- NEIRO, E.S.; MATA, J.D.V. da; TORMENA, C.A.; GONÇALVES, A.C.A.; PINTRO, J.C.; COSTA, J.M. Resistência à penetração de um Latossolo Vermelho distroférrico, com rotação e sucessão de culturas, sob plantio direto. **Acta Scientiarum: Agronomy**, Maringá, v. 25, n. 1, p. 19-25, 2003.
- NESMITH, D.S. Soil compaction in double cropped wheat and soybean on Ultissol. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 51, p. 183-186, 1987.
- NEVES, J.L.M. **Avaliação de perdas invisíveis em colhedoras de cana-de-açúcar e alternativas para sua redução**. 2003. 223 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.
- NEVES, M.F.; CONEJERO, M.A. Sistema agroindustrial da cana: cenários e agenda estratégica. **Economia Aplicada**, Ribeirão Preto, v. 11, n. 4, p. 587-604, out./dez. 2007.
- NORRIS, C.P.; ROBOTHAM, B.G.; BULL, T.A. High density planting as an economic production strategy: c) a farming system and equipment requirements. **Australian Society Sugar Cane Technologists**, Bundaberg, v. 22, p. 113-118, 2000.
- OLIVEIRA, A.S.; COELHO, M.F.; FAULIN, M.S.A.R.; SALVI, J.V.; MOLIN, J.P. Controle de tráfego em cana de açúcar mecanizada. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 3., 2008, Piracicaba. Piracicaba: ESALQ, 2008. p. 382-392.
- OSBORNE, L.E. A field comparison of the performance of two- and four-wheel drive and track laying tractors. **Journal of Agricultural Engineering Research**, Karaj, v. 16, n. 46, p. 46-61, 1971.
- PARANHOS, S.B. **Cana-de-açúcar** cultivo e utilização. Campinas: Fundação Cargill, 1987. 856 p.
- PEARCE, J. Evolução constante. **Cultivar Máquinas**, Pelotas, n. 51, p. 12-13, 2006.
- PEREIRA, L.L.; TORREZAN, H.F. Colheita mecanizada da cana-de-açúcar. In: SEGATO, S.V.; PINTO, A.S.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J.C.M. de. **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: CP 2, 2006. p. 333-344.

- PETRASOVITS, L.A.; PURNELL, M.P.; NIELSEN, L.K.; BRUMBLEY, S.M. Polyhydroxyalkanoate production in sugar cane. **Journal of Biotechnology**, Valparaíso, v. 131, p. s28-s29, Sept. 2007.
- QUEIROZ-VOLTAN, R. G.; NOGUEIRA, S. S. S.; MIRANDA, M. A. C. Aspectos da estrutura da raiz e do desenvolvimento de plantas de soja em solos compactados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 5, 2000. P. 929-938.
- RAPER, R.L.; KIRBY, J.M. Soil compaction: how to do it, undo it or avoid doing it. In: AGRICULTURAL EQUIPMENT TECHNOLOGY CONFERENCE, 2006, Louisville. **Proceedings...** Louisville: ASABE, 2006. p. 1-14. (ASABE Publication, 913C0106).
- RAPER, R.L.; REEVES, D.W. In-row subsoiling and controlled traffic effects on Coastal plain soils. **Transactions of the ASABE**, St. Joseph, v. 50, n. 4, p. 1109-1115, 2007.
- RAPER, R.L., BAILEY, A.C.; BURT, E.C.; WAY, T.R.; LIBERATI, P. Inflation pressure and dynamic load effects on soil deformation and soil-tire interface stresses. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 38, n. 3, p. 685-689, 1995a.
- RAPER, R.L.; BAILEY, A.C.; CURT, E.C.; WAY, T.R.; LIBERATI, P. The effects of reduced inflation pressure on soil-tire interface stresses and soil strength. **Journal of Terramechanics**, Hannover, v. 32, n. 1, p. 43-51, 1995b.
- REEDER, R.; SMITH, J. Controlled traffic. In: REEDER, R.C. (Ed.). **Conservation tillage systems and management**. Ames: Midwest Plan Service, 2000. p. 77-82.
- REEVES, D.W.; ELKINS, C.B.; ROGERS, H.H.; POWELL, J.B.; PRIOR, S.A. Controlled traffic research with a wide frame spanner for cotton double-cropped with wheat. In: BELTWIDE COTTON PRODUCTION RESEARCH CONFERENCE, 1989, Nashville. **Proceedings...** Nashville: National Cotton Council, 1989. p. 519-522.
- REICOSKY, D.C., D. K. CASSEL, R. L. BLEVINS, W. R. GILL, and G. C. NADERMAN. Conservation tillage in the Southeast. **Journal of Soil and Water Conservation**, cidade, v. 32, n. 1, p. 13-19, 1977.
- RIPOLI, T.C.C.; NERY, M.S.; MOLINA JUNIOR, W.F.; RIPOLI, M.L.C. Operation and economic performance of a green cane chopped harvester in Brazil. In: ASAE ANNUAL INTERNATIONAL MEETING, 2001, Sacramento. **Proceedings...** St. Joseph: ASAE, 2001. p. 718-726. (Paper, 011003).
- RIPOLI, T.C.C.; RIPOLI, M.L.C. **Biomassa de cana-de-açúcar**: colheita, energia e ambiente. Piracicaba. Edição dos autores, 2004. 302 p.
- RODRIGUES, J.D. **Fisiologia da cana-de-açúcar**. Botucatu: UNESP, 1995. 75p.

RUSSEL, R. S.; GOSS, M. J. Physical aspects of soil fertility: the response of roots to the mechanical impedance. **Netherlands Journal of Agricultural Science**, Wageningen, v. 22, p. 305-318, 1974.

SAS INSTITUTE. **SAS/STAT**: guide for personal computers. 8th ed. Cary, 2001. 943 p.

SÃO PAULO. Lei n. 11.241, de 19 de setembro de 2002. Dispõe sobre a eliminação gradativa da queima da palha da cana-de-açúcar e dá providências correlatas. **Diário Oficial**, São Paulo, 20 set. 2002. Seção 1, p.2-3.

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. de. **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: CP 2, 2006. p. 19-36.

SILVA, A. J. P. ; ROCCO LAHR, F. A. ; CHRISTÓFORO, A. L. . Avaliação do bagaço de cana na produção de OSB. In: X Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira, 2006, São Pedro, SP. Anais do X EBRAMEM. São Pedro, SP : CEVEMAD - UNESP, 2006. v. único.

SILVA, A.P.; TORMENA, C.A.; IMHOFF, S. Intervalo hídrico ótimo. In: MORAES, M.H.; MÜLLER, M.M.L.; FOLONI, J.S.S. **Qualidade física do solo: métodos de estudo-sistemas de preparo e manejo do solo**. Jaboticabal: Funep, 2002. p. 1-18.

SILVA, C.B.; OLIVEIRA, T.C.A. de; MOLIN, J.P. SHIROTA, R. Sistemas de piloto automático: aspectos técnicos e econômicos. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 4., 2007, Viçosa. 4o. Simpósio Internacional de Agricultura de Precisão, SIAP-2007, CD-Rom. 2007.

SILVA, W.F.; AGUIAR, D.A.; RUDORFF, B.F.T.; SUGAWARA, L.M.; AULICINO, T.L.I.N. Análise da expansão da área cultivada com cana-de-açúcar na região Centro-Sul do Brasil: safras 2005/2006 a 2008/2009. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14., 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. p. 467-474.

SOANE, B.D.; VAN OUWEEKERK C. **Soil compaction in crop production**. Amsterdam: Elsevier, 1994a. 684 p.

SOANE, B.D.; VAN OUWEEKERK C. Soil compaction problems in world agriculture. In: _____. **Soil compaction in crop production**. Amsterdam: Elsevier, 1994b. p. 1-22.

STOLF, R. Metodologia de avaliação de falhas nas linhas de cana-de-açúcar. **STAB, Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 4, n. 6, p. 22-36, jul./ago. 1986.

STRECK, C.A.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; 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. 4, n. 3, p. 775-760, mai./jun. 2004.

TAGNIN, R.; MATTES, D. Conversão dos biomas remanescentes em agrocombustíveis e alimentos: queimar ou comer?. **Revista de Gestão Integrada em Saúde do Trabalho e Meio Ambiente**, v.3, n.2, p. 01-32 abr./ ago. 2008.

TAYLOR, H.M.; GARDNER, H.R. Penetration of cotton seedling taproots as influenced by bulk density, moisture content, and strength of soil. **Soil Science**, Baltimore, v. 96, n. 3, p. 153-156, 1963.

TAYLOR, H.M.; ROBERSON, G. M.; PARKER, J. J. JR. Soil strength-root penetration relations to medium to coarse-textured soil materials. **Soil Science**, Baltimore, v. 102, p. 18-22, 1966.

TAYLOR, J. H.; BURT, E.; BAILEY, A.C. Effect of total load on subsurface soil compaction. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 23, n. 3, p. 568-570. 1980.

TAYLOR, J.H. Benefits of permanent traffic lanes in a controlled traffic crop production system. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 3, n. 4, p. 385-395, 1983.

TAYLOR, J.H.; BURT, E.C.; MONROE, G.E. **Effect of dualing tires on soil compaction**. St. Joseph: ASAE, 1989. 14 p. (ASAE Paper, 891052).

THOMAS, G.W.; HASZLER, G. R.; BLEVINS, R. L. The effects of organic matter and tillage on maximum compactability of soils using the proctor test. **Soil Science**, Baltimore, v. 161, n. 8, p. 502-508, 1996.

TROUSE JR., A. C. Effects of soil compression on the development of sugar cane roots. In: CONGRESS OF THE INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS, 12., San Juan, 1965. *Proceedings*. Amsterdam, International Society of Sugarcane Technologists, 1967. p.137-152

TROUSE, A.C.; HUMBERT, R.P. Some effects of soil compaction on the development of sugarcane roots. **Soil Science**, Baltimore, v. 91, n. 3, p. 208-217, 1961.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DA CANA-DE-AÇÚCAR. **Dados e cotações**: estatísticas. Disponível em: < <http://www.unica.com.br/dadosCotacao/estatistica/>>. Acesso em: 22 set. 2009

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS. Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético. Disponível em: <<http://www.nipeunicamp.org.br/>>. Acesso em: 9 jul. 2008.

URQUIAGA, S.; ALVES, B.J.R.; BOODEY, R.M. Produção de biocombustíveis: a questão do balanço energético. **Revista de Política Agrícola**, Brasília, ano 15, n. 1. p. 42-45, jan./mar. 2005.

VASCONCELOS, A.C.M de. **Dinâmica do desenvolvimento do sistema radicular da cana-de-açúcar e características físico-hídricas e químicas dos ambientes de produção**. Americana: Adonis, 2004. 31p. (Projeto Rhizocana: relatório de pesquisa).

VEIGA, C.F.M.; VIEIRA, J.R.; MORGADO, I.F. **Diagnóstico da cadeia produtiva da cana-de-açúcar do estado do Rio de Janeiro 2006** Rio de Janeiro: FAPPERJ, 2006. 107 p (Relatório de Pesquisa).

WILLIFORD, J.R. A controlled-traffic system for cotton production. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 23, n. 1 p. 65-70, 1980.

YANG, S.J. Soil physical properties and the growth of ratoon cane as influenced by mechanical harvesting. In: CONGRESS OF INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS, 16., São Paulo, 1977. Proceedings. São Paulo, International Society of Sugar Cane Technologists, 1977. p.835-847.