



**UNIVERSIDADE  
ESTADUAL DE LONDRINA**

---

**MATEUS CARVALHO BASILIO DE AZEVEDO**

**EFEITO DE TRÊS SISTEMAS DE MANEJO FÍSICO DO SOLO  
NO ENRAIZAMENTO E NA PRODUÇÃO DE CANA-DE-  
AÇÚCAR**

---

Londrina  
2008

**MATEUS CARVALHO BASILIO DE AZEVEDO**

**EFEITO DE TRÊS SISTEMAS DE MANEJO FÍSICO DO SOLO  
NO ENRAIZAMENTO E NA PRODUÇÃO DE CANA-DE-  
AÇÚCAR**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Agronomia.

Orientadora: Profa. Dra. Cristiane de Conti Medina. – (UEL, Londrina)

Co-orientador: Dr. Jean-Louis Chopart. – (CIRAD, Saint Pierre)

Londrina  
2008

**MATEUS CARVALHO BASILIO DE AZEVEDO**

**EFEITO DE TRÊS SISTEMAS DE MANEJO FÍSICO DO SOLO  
NO ENRAIZAMENTO E NA PRODUÇÃO DE CANA-DE-  
AÇÚCAR**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Agronomia.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Dr. Antônio Costa – IAPAR

---

Profa. Dra. Carmen Silvia Vieira Janeiro Neves  
UEL

---

Prof. Dr. Edelclaiton Daros – UFPR

---

Prof. Dr. Ricardo Ralisch – UEL

---

Dr. Júlio César Francchini (suplente)  
EMBRAPA/SOJA

---

Prof. Dr. João Tavares Filho (suplente) – UEL

---

Profa. Dra. Cristiane de Conti Medina  
Orientadora – UEL

Londrina, 27 de fevereiro de 2008.

A DEUS, por nos dar o dom da vida

**OFEREÇO**

A minha esposa, Priscila, pelo amor e total apoio

**DEDICO**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a minha orientadora, Dra Cristiane de Conti Medina, que, durante mais de 10 anos, sempre esteve disponível e atenciosa para me orientar. Sou muito grato pela orientação, mas também pela amizade, paciência e exemplo de profissional, o que me marcará por toda vida.

Agradeço a meu co-orientador, Dr. Jean-Louis Chopart, por todo o apoio, conselhos técnicos e amizade, além do acolhimento na Ilha Reunião, onde ele e sua esposa, Martine Chopart, propiciaram uma estada excelente.

À Priscila, minha esposa, agradeço pelo apoio no trabalho, incentivo em todos os momentos e pela companhia durante o estágio no exterior, o qual não seria o mesmo sem a sua presença.

Agradeço à Silvia Rosa Rodrigues e aos estagiários Luiz Gustavo Mantoani, Rafael Orindo Belgamo e Paulo Vicente Contador Zaccheo, pela sua ajuda, sem a qual não seria possível realizar os trabalhos, e pela amizade.

Agradeço aos funcionários da Fazenda Escola, pela realização dos tratos culturais e ajuda nos trabalhos mais pesados de avaliação do experimento.

Agradeço à CAPES, pelo apoio financeiro, ao CIRAD, pelo apoio financeiro e técnico, à cooperativa COROL, que colheu o experimento, e ao IAPAR, pelo fornecimento dos dados climáticos.

Aos meus pais, Erasmo e Marlene, agradeço pelo seu amor e pelo apoio incondicionais, imprescindíveis para eu chegar até aqui.

Agradeço aos meus irmãos, Lucas, Ana Julia e Maria Luíza, por sua amizade, seu apoio e sua compreensão.

Agradeço a meus avós Florinda, Naziozeno e Quitéria, exemplos de pessoas para mim, com sua grade Fé e força de vontade, e aos meus tios Elena, Malu, Raquel, Gilson, Israel e Aparecida, com os quais aprendi muitas lições.

Aos meus primos Francisco, Gesielene, Emanuel, Itauã, Bárbara, Rebeca, João Manuel e Gabriel, agradeço o apoio dado à família.

Aos meus amigos Ivan e Luiz Henrique, por todo companheirismo e ajuda durante tantos anos.

AZEVEDO, M. C. B. **Efeito de três sistemas de manejo físico do solo no enraizamento e na produção de cana-de-açúcar.** 2008. 100f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2008.

## RESUMO

A cana-de-açúcar (*Saccharum* spp) sempre foi importante para o desenvolvimento agrícola brasileiro, e atualmente assume papel fundamental na diversificação da matriz energética, com a demanda crescente por etanol carburante. Como fonte renovável de energia, também é fundamental produzi-la com sustentabilidade, preservando os recursos naturais necessários a sua exploração. Mas, visto as práticas de cultivo comumente empregadas pelas grandes usinas, com grande número de passadas de máquinas, implementos e caminhões pesados, por vezes em situação crítica de umidade, além da queima antes da colheita, o cenário muitas vezes é de degradação do solo, o que é contrário à produção renovável de energia. O objetivo deste trabalho foi avaliar três sistemas de manejo em Latossolo Vermelho eutroférico cultivado com cana-de-açúcar, a partir de estudos de biometria (parte aérea), de enraizamento e de alguns atributos físicos do solo; e comparar quatro métodos de avaliação do sistema radicular. O experimento foi instalado em Londrina – PR, e as avaliações foram feitas no terceiro e no quarto ciclos da variedade RB 72 454, em 2005 e 2006, respectivamente. Os manejos de solo foram: preparo vertical (PV), com preparo de solo com escarificação e duas gradagens e escarificação e adubação incorporada nas soqueiras; cultivo mínimo (CM), com escarificação e uma gradagem no preparo e adubação incorporada nas soqueiras; e plantio direto (PD), sem preparo de solo e adubação sem incorporação nas soqueiras. Foram 10 repetições por tratamento, em delineamento totalmente casualizado. As avaliações de biometria e de resistência do solo à penetração foram feitas em 10 repetições; os dados de enraizamento e atributos físicos do solo (densidade, porosidade total, macro e microporosidade) foram coletados em quatro repetições por tratamento. Na avaliação das raízes, foram utilizados quatro métodos: Monólito, Trado, Parede do Perfil, contando-se as raízes com uma grade, com posterior transformação dos dados em comprimento, e Parede do Perfil, avaliando-se imagens digitais. Houve déficit hídrico no primeiro ano avaliado (2005), com menor produtividade em relação a 2006. Os manejos foram iguais quanto à produtividade, ao enraizamento, à densidade e à porosidade do solo, mas o PV apresentou menor resistência do solo à penetração nas camadas superficiais. Verificou-se que a cana-de-açúcar teve quantidade de raízes estatisticamente igual durante os dois ciclos, apresentando enraizamento considerável até 1,8 m de profundidade. A profundidade máxima do sistema radicular foi de 4,3 m. Os métodos para quantificar as raízes foram equivalentes, à exceção da Parede do Perfil analisada por imagens digitais, que subestimou o comprimento de raízes nas camadas mais profundas. Com isso, conclui-se que os manejos CM e PD, com menos operações mecanizadas, podem ser alternativas ao PV, mas isso depende das características locais e análise econômica; a cana-de-açúcar mantém enraizamento constante, ao contrário do que acontece com a parte aérea; e os métodos de avaliação de raízes Monólito, Trado e da Parede do Perfil (contagem das raízes) apresentam resultados semelhantes, e sua escolha depende do objetivo, mão-de-obra e tempo disponíveis.

**Palavras-chave:** *Saccharum*. Soqueira. Raízes. Cultivo mínimo. Plantio direto.

AZEVEDO, M. C. B. **Effect of three soil physic management systems on rooting and production of sugarcane.** 2008. 100f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2008.

### ABSTRACT

The sugarcane (*Saccharum* spp) always has been important to the brazilian agricultural development and has a basic role on diversification of energy with the increasing demand for ethanol fuel. As a strong source of renewable energy, it is essential to produce the sugarcane in a sustainable way, preserving the natural resources necessaries to its explotation. However, as the cultural practices usually applied by the processors, with high use of machinery and heavy trucks with critical situation of soil humidity, beyond the burning before harvesting, often the scenario is a soil degradation, what is against the renewable energy production system. The objective of this work was to evaluate three management systems in Rhodic Eutrudox cultivated with sugarcane, using biometry (aerial part of rooting), some soil physical atributes, and to compare four root system evaluation methods. The trial was carried out in Londrina, PR, and the evaluations were taken on the third and fourth cycles of RB 72 454 sugarcane variety, in 2005 and 2006, respectively. The soil managements were: vertical preparation (VP), with soil preparation using scarification, 2 tillages and incorporated fertilization on stalks; minimum tillage (MT) with scarification, one tillage during preparation and incorporated fertilization on stalks, and no tillage (NT) (direct planting), without soil preparation and no-incorporated fertilization on stalks. A random design was used as a statistical model with 10 replications for each treatment. The biometry and soil resistance to the penetration evaluation were taken in 10 replications; the data of rooting and physical atributes of soil (density, total porosity, macro and microporosity) were collected in four replications for each treatment. For roots evaluation, four methods were used: Monolith, Auger method, Trench Profile (using a grid to count the number of roots and posterior transformation the data in length, and Trench Profile (evaluating the digital images). It was observed a water deficit in the first year of evaluation (2005), with lower productivity in relation to 2006. The management systems were equal regarding the productivity, the rooting, the density and the soil porosity, but the VP showed lower soil resistance to the penetration in the superficial portion. It was verified that the sugarcane showed a equal amount of roots during the two cycles, presenting considerable rooting up to 1.8 m deep. The roots reached no more than 4.3 m deep. The methods to quantify the roots were equivalent, except the Trench Profile analysed using digital images, which subestimated the root length on deeper layers. It was possible to conclude that the MT and NT managements, with less mechanical operations, may be used as a alternative to the VP, but it depends on the local characteristics and economical analysis; the sugarcane, unlike the aerial portion, keeps a constant rooting; and the methods of rooting evaluation Monolith, Auger Method and Trench Profile (roots counting) show similar results, and to choose one among them depends on the objective, labor and time available.

**Keywords:** *Saccharum*. Stalks. Roots. Minimum tillage. No tillage.



## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	11
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	14
2.1 IMPORTÂNCIA DA INDÚSTRIA SUCROALCOOLEIRA.....	14
2.2 CULTIVO DA CANA-DE-AÇÚCAR .....	15
2.3 COMPACTAÇÃO DO SOLO .....	16
2.4 IMPORTÂNCIA DO SISTEMA DE RAÍZES.....	19
2.4.1 Desenvolvimento das raízes da cana-de-açúcar.....	20
2.4.1.1 Cana-planta.....	22
2.4.1.2 Soqueira .....	22
2.4.2 Fatores que influenciam o desenvolvimento das raízes .....	24
2.4.3 Estudo do sistema de raízes da cana-de-açúcar .....	25
2.5 LITERATURA CITADA.....	31
<b>3 ARTIGO A: TRÊS MANEJOS FÍSICOS EM LATOSSOLO VERMELHO EM SOQUEIRA DE CANA-DE-AÇÚCAR: I. ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO E PRODUTIVIDADE</b> .....	36
Resumo .....	36
Abstract .....	37
3.1 Introdução .....	38
3.2 Material e Métodos.....	39
3.2.1 Dispositivo experimental .....	39
3.2.2 Tratamentos .....	40
3.2.3 Avaliações .....	42
3.3 Resultados e Discussão .....	43
3.3.1 Condições climáticas .....	43
3.3.2 Atributos físicos do solo .....	44
3.3.3 Produtividade .....	48
3.4 Conclusão .....	51
3.5 Agradecimentos .....	51
3.6 Literatura Citada.....	51

<b>4 ARTIGO B: TRÊS MANEJOS FÍSICOS EM LATOSSOLO VERMELHO EM SOQUEIRA DE CANA-DE-AÇÚCAR: II. EFEITOS SOBRE O SISTEMA DE RAÍZES E CONSEQÜÊNCIAS AGRONÔMICAS .....</b>	<b>55</b>
Resumo .....	55
Abstract .....	56
4.1 Introdução .....	57
4.2 Material e Métodos.....	58
4.2.1 Dispositivo e condições experimentais.....	58
4.2.2 Tratamentos .....	61
4.2.3 Amostras das raízes .....	62
4.2.4 Avaliações .....	63
4.3 Resultados e Discussão .....	64
4.3.1 Raízes .....	64
4.3.2 Relação entre parte aérea e raízes .....	71
4.4 Conclusão .....	74
4.5 Agradecimentos .....	75
4.6 Literatura Citada.....	75
<b>5 ARTIGO C: COMPARAÇÃO DE MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE RAÍZES PARA ESTUDOS AGRONÔMICOS E ECOFISIOLÓGICOS DE CANA-DE-AÇÚCAR .....</b>	<b>77</b>
Resumo .....	77
Abstract .....	78
5.1 Introdução .....	79
5.2 Material e Métodos.....	80
5.2.1 Dispositivo experimental .....	80
5.2.2 Descrição dos métodos e avaliações .....	81
5.3 Resultados .....	85
5.3.1 Análises de regressão.....	85
5.3.2 Comparações por profundidade .....	88
5.3.3 Tempo de trabalho .....	92
5.4 Discussão.....	93
5.5 Conclusão .....	96
5.6 Agradecimentos .....	96

5.7 Literatura Citada..... 97

**6 CONSIDERAÇÕES FINAIS** ..... 99

## 1 INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar (*Saccharum* spp, família das poáceas) é cultivada no Brasil desde os primeiros anos após a chegada dos portugueses, no século XVI. De origem asiática, encontrou condições ideais para o seu desenvolvimento em uma extensa área de terras. Essa gramínea ajudou no desenvolvimento econômico inicial da colônia, trazendo luxo e riqueza aos senhores de engenho. Mesmo com a crise, no século XVIII, por causa da concorrência no mercado internacional com o açúcar de beterraba produzido pela Europa, o setor açucareiro brasileiro sempre se manteve como uma das principais atividades agrícolas.

O açúcar foi o principal produto obtido da cana-de-açúcar, em escala mundial, até o século XX. Com o desenvolvimento industrial, propiciado pelo advento dos combustíveis fósseis, principalmente depois do final do século XIX (II Revolução Industrial - petróleo), a demanda energética teve uma ascensão exponencial, em que o petróleo, o carvão mineral e o gás natural foram os alicerces de tal industrialização. Esses combustíveis têm sido requeridos no mundo todo, mas suas reservas estão notadamente concentradas numa região do globo. Com as crises da década de 1970, causadas pelos sucessivos aumentos de preço pelos países produtores do Oriente Médio, ficou explícito o problema de uma matriz energética mundial não diversificada.

O Brasil, de frágil condição econômica, obrigou-se a desenvolver um programa de substituição ao petróleo (PROÁLCOOL - 1975), que, entre prós e contras, teve saldo positivo. Hoje, o país possui tecnologia de ponta na produção e utilização do álcool carburante, reconhecida no mundo todo, com possibilidade de expansão e exportação da produção.

À época e por causa desse programa, o setor sucroalcooleiro experimentou uma grande expansão a fim de suprir a futura demanda de carburante. Grandes agroindústrias foram criadas (hoje são mais de 320 em funcionamento e dezenas em construção). Para abastecer a indústria, são milhões de toneladas de cana, produzidas com grandes investimentos em motomecanização, de maneira a otimizar a produção agrícola.

Para tanto, preparar o solo e mantê-lo em boas condições para o desenvolvimento das plantas, em grandes áreas, é o que justifica o uso de grandes

máquinas e implementos nos talhões de cana-de-açúcar. O preparo do solo pode ser feito com subsoladores, arados e grades, e tem o objetivo de proporcionar ambiente adequado à implantação e desenvolvimento das plantas. Para isso, as operações do preparo do solo destroem as antigas touceiras, eliminam as plantas invasoras e modificam a estrutura do solo, a fim de proporcionar melhores condições de resistência à penetração das raízes e aeração, evitando-se a compactação do solo. No cultivo entre soqueiras, normalmente fazendo-se o tríplice cultivo, se faz uma escarificação, adubação e gradagem – esta última para incorporação do fertilizante e controle de plantas invasoras. Tal procedimento, após a colheita, é possível graças à eliminação da palhada por queima.

Ironicamente, os solos cultivados intensamente com cana-de-açúcar podem apresentar problemas de compactação e erosão. Vários estudos mostram que esses implementos compactam o solo abaixo da sua faixa de trabalho, degradando o solo. E a cana-de-açúcar, como alternativa renovável de energia, deve ser produzida respeitando-se os recursos naturais (solo e água).

No entanto, continua-se a utilizar várias operações por ocasião do plantio e após as colheitas. Sabendo-se que o uso intensivo e contínuo de máquinas, implementos de preparo de solo, cultivo pós-colheita e caminhões de carregamento causa compactação, a qual prejudica a exploração agrícola e que degrada o solo, como discernir quando é realmente necessário mobilizar o solo ou mesmo fazer uma rotação de culturas sem comprometer a produção de açúcar e álcool e sem prejuízo ao solo, mantendo a compactação em nível aceitável?

A resposta será conseguida através de estudos de fertilidade química, física e biológica do solo, que fornecem os parâmetros do ambiente de produção, da avaliação biométrica (parte aérea) e do enraizamento das plantas. A fertilidade e a avaliação da parte aérea são mais comumente utilizados, mas o estudo das raízes é difícil e trabalhoso; porém, é um indicador importante da relação solo-planta. O conhecimento da dinâmica de crescimento e quantidade de raízes é fundamental para se decidir sobre o manejo do solo, pois ele permite saber o volume de solo útil à planta e também se há impedimento ao crescimento radicular, assim como as relações entre a parte aérea e a parte subterrânea das plantas.

Estudar as raízes é necessário para se comparar tratamentos agrônômicos e esclarecer se há vantagem em reduzir o número de operações

mecanizadas. Talvez seja possível reduzir, buscando uma exploração agrícola durável, ao mesmo tempo em que se diminui o custo de produção por hectare.

Para a avaliação do enraizamento das plantas, existem diversos métodos, mas sem se conhecer as equivalências entre eles, dificultando a comparação entre autores e revisões de literatura sobre o tema. Além disso, o enraizamento é muito variável, e isso se reflete na heterogeneidade dos dados obtidos a campo e, de modo geral, é trabalhoso fazer muitas repetições, por causa do tempo e mão-de-obra necessários.

O objetivo deste trabalho foi avaliar três sistemas de manejo físico em Latossolo Vermelho eutroférico em dois ciclos de soqueira de cana-de-açúcar, a partir de estudos das partes aérea e enraizamento e de alguns atributos físicos do solo; e comparar quatro métodos de avaliação do enraizamento, num experimento localizado em Londrina - PR.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 IMPORTÂNCIA DA INDÚSTRIA SUCROALCOOLEIRA

Introduzida nos primeiros anos do Brasil colônia, a cana-de-açúcar é cultivada em grande parte do território nacional; desde sua implantação, essa cultura tem grande importância no desenvolvimento do país. Atualmente, a cana-de-açúcar tem um papel estratégico na matriz energética, além da força do açúcar nos mercados nacional e internacional. Do ponto de vista energético, existe crescente preocupação com relação ao uso de combustíveis fósseis, que são os grandes responsáveis pela emissão de gases poluentes na atmosfera. Vários países estão buscando reduzir ao máximo o uso desses combustíveis, pela diversificação das fontes energéticas. E a cana-de-açúcar é uma das melhores opções dentre as fontes de energia renovável, com grande importância no cenário agrícola brasileiro e um futuro promissor no cenário mundial.

O setor sucroalcooleiro movimenta R\$ 41 bilhões, o que representa 3,65% do PIB, gerando 4 milhões de empregos diretos e indiretos, entre eles 72 mil agricultores. A produção da safra 2006-2007 foi de 420 milhões de toneladas de cana-de-açúcar, transformadas em 30 milhões de toneladas de açúcar (exportação de 19 milhões de toneladas) e 17,5 bilhões de litros de álcool carburante (exportação de 3 bilhões). O parque industrial de 344 indústrias (em operação e projetos) investe R\$ 5 bilhões por ano e recolhe R\$ 12 bilhões em impostos (JORNAL CANA, 2008). Há demanda crescente pelo etanol: no mercado nacional, pela adoção de carros bi combustíveis e na produção de ésteres de óleos vegetais (biodiesel), com tecnologia desenvolvida pela Petrobrás, que substitui o uso de metanol na esterificação de ácidos graxos de diversas naturezas; e no mercado internacional, onde as nações desenvolvidas procuram diversificar sua matriz energética.

A indústria sucroalcooleira também tem impacto social positivo: a produção de álcool a partir da cana-de-açúcar é uma opção energética que cria muitos empregos. Como afirma MELLIS (2005), o álcool etílico carburante é reconhecido mundialmente pelas suas vantagens ambientais, sociais e econômicas,

e os países mais desenvolvidos, os quais têm a matriz energética baseada nos combustíveis fósseis, estão interessados nessa alternativa.

## **2.2 CULTIVO DA CANA-DE-AÇÚCAR**

Como ocorreu com todas as plantas cultivadas, o avanço da ciência agrônômica trouxe rápida evolução do conhecimento em fertilidade e adubação dos solos, com conseqüente aumento de produtividade, em todo o território brasileiro (BORGES et al., 1999).

No cultivo da cana-de-açúcar, diversos fatores influenciam a produção, a qualidade e o número de cortes dos talhões. Clima e solo são determinantes: sabe-se que a produção em escala industrial é recomendável até, aproximadamente, a latitude do trópico de Capricórnio; e é preciso haver solos férteis quimicamente e bem arejados. Em regiões mais secas, a água necessária pode ser complementada com irrigação; as condições de solo devem ser mantidas pelo manejo, o qual, segundo MEDINA (1993), tem o objetivo de melhorar ou manter a fertilidade do solo em níveis adequados, o que é fundamental para alcançar bons resultados de produtividade e longevidade.

A mecanização dos canaviais está ligada à tentativa de manter a fertilidade dos solos cultivados, e tem relação estreita com a expansão da agroindústria sucroalcooleira. Do século XVI até o advento das máquinas agrícolas modernas do século XX, o cultivo da cana-de-açúcar se baseou na força humana e nos implementos de tração animal. Como afirmam PRADO & CENTURION (2001), o uso de máquinas e implementos possibilitou cultivar áreas imensas com a mínima mão-de-obra, com grande revolvimento da camada arável do solo, otimizando o crescimento e desenvolvimento das plantas em curto prazo; mas, ao longo dos anos, tais práticas se revelaram nocivas ao solo.

Atualmente, com exceção da colheita, onde boa parte da cana-de-açúcar é colhida manualmente após queima, e do plantio dos toletes, máquinas e implementos de grande porte estão presentes em todas as etapas da produção agrícola, desde o preparo do solo até o carregamento da cana-de-açúcar colhida manualmente ou por colhedora. Segundo BASTOS (1997), esse tráfego de



equipamentos pesados sobre o solo pode resultar em compactação, com conseqüentes efeitos negativos na penetração da água, na aeração do solo e no desenvolvimento das raízes.

Para implantação ou reforma das lavouras de cana-de-açúcar, normalmente, são feitas diversas operações, que mobilizam o solo com o uso de grades, arados, escarificadores e subsoladores, a fim de potencializar o crescimento das plantas (CEDDIA et al., 1999), mantendo-se as condições físicas do solo adequadas ao desenvolvimento vegetal (SILVA & RIBEIRO, 1992; HELFGOTT, 1997). Essas operações, frequentemente, são aplicadas igualmente em áreas heterogêneas. Entretanto, sabe-se que, para um manejo adequado, deve-se levar em conta cada condição ambiental. Para SILVA & RIBEIRO (1992), o manejo sustentável é fundamental para que os esforços em melhoramento genético, fertilizantes e controle de pragas e doenças não sejam em vão.

O preparo do solo é generalizado, sempre com várias operações, mas o efeito de sua mobilização é diferente para cada tipo de solo (BARBIERI et al., 1997); da mesma forma, diferentes manejos de solo, atuando ativamente na formação e estabilização dos agregados responsáveis pela dinâmica do solo, apresentam resultados diferentes em um mesmo solo, podendo ser desfavoráveis tanto para a produtividade quanto para a longevidade dos canaviais (SILVA & MIELNICZUK, 1998).

Para manter a viabilidade da produção agrícola de cana-de-açúcar, é necessário manter a fertilidade do solo (nos contextos químico, físico e biológico), para produzir com eficiência e produtividade, ao mesmo tempo em que se conserva a possibilidade de exploração dos recursos naturais para o futuro (SCANDALIARIS et al., 1999), buscando-se o manejo adequado para cada tipo de solo e clima.

### **2.3 COMPACTAÇÃO DO SOLO**

É impossível obter altos rendimentos se as raízes não encontram as condições favoráveis para seu pleno desenvolvimento. Para isso, é preciso garantir condições físicas do solo satisfatórias e que os nutrientes e a umidade não sejam fatores limitantes. O manejo da compactação deve proporcionar um ambiente

adequado, tanto para o crescimento da planta, quanto para a conservação do solo e da água, e também para o deslocamento das equipes de trabalho (HELFGOTT, 1997).

Compactação, por definição, é a diminuição do espaço poroso causada pela compressão mecânica das partículas sólidas do solo. Essa diminuição do tamanho, e conseqüente modificação na distribuição das classes de poros, pode ocasionar suprimento deficiente de oxigênio para o crescimento e desenvolvimento das plantas, pois a taxa de difusão dos gases é mínima (BAVER et al., 1973).

É normal que a exploração agrícola perturbe o solo e aumente a resistência à penetração (CENTURION et al., 2001). A monocultura de cana-de-açúcar e o uso de máquinas e implementos pesados sobre o solo causam sua compactação, comum nas áreas canavieiras, impedindo o desenvolvimento normal das plantas (VERMA, 1995; BARBIERI et al., 1997; QUEIROZ-VOLTAN et al., 1998; SMITH et al., 2005), porque os valores de densidade do solo são mais elevados e a aeração é prejudicada, bem como a penetração e a proliferação de raízes (CORSINI & FERRAUDO, 1999). A compactação é mais intensa quanto mais úmido o solo durante o tráfego nas áreas cultivadas. Assim, grandes usinas lançam mão da subsolagem, que demanda muita energia por causa dos grandes tratores e implementos empregados, a fim de descompactar as áreas prejudicadas por esse tráfego (BARBIERI et al., 1997).

A determinação da compactação pode ser feita através da avaliação da densidade do solo, da porosidade - principalmente da distribuição dos poros de diferentes tamanhos (macro e microporosidade), e da resistência do solo à penetração (CENTURION et al., 2001; FALLEIRO et al., 2003; ABREU et al., 2004), que devem ser analisadas juntamente com o desenvolvimento das plantas. A resistência do solo à penetração detecta compactação, mas é fortemente influenciada pelo teor de água no solo. O coeficiente de variação (CV%) para a resistência do solo à penetração é maior quanto maior a umidade do solo. Logo após uma chuva, a variabilidade da umidade do solo é maior (SOUZA et al., 2006), sendo preferível determinar a resistência à penetração em períodos mais secos.

SILVA E RIBEIRO (1997), estudando um Latossolo Amarelo, de textura argilosa, na região dos Tabuleiros Costeiros, em Alagoas, caracterizaram os atributos físicos em talhões com 2, 18 e 25 anos de cultivo contínuo de cana-de-açúcar, comparando-os com o mesmo solo sob mata virgem nativa. Segundo seus

resultados, a densidade do solo foi maior para os tratamentos com 2 e 18 anos (média de 1,55 e 1,45 Mg m<sup>-3</sup>, respectivamente, até 0,4 m de profundidade), em relação à mata (1,28 Mg m<sup>-3</sup>). Contudo, o tratamento com 25 anos de cultivo, apresentou valor igual ao da mata. Quanto à porosidade, houve tendência da microporosidade aumentar com o tempo; para a macroporosidade e a porosidade total, existiu diminuição dos valores aos 2 anos; porém, houve aumento aos 18 e aos 25 anos, chegando próximos ao que é verificado no ecossistema sem intervenção. Os autores atribuem essa dinâmica ao enraizamento da cana-de-açúcar, à característica semi-perene de seu cultivo e a pouca movimentação do solo e tráfego de máquinas, pois só houve mobilização da camada arável a cada seis anos, nas renovações dos canaviais.

Também em solo de Tabuleiro Costeiro de Alagoas (Argissolo Amarelo distrófico, textura média a argilosa), MAIA E RIBEIRO (2004) avaliaram mata nativa e áreas com dois e 30 anos de cultivo de cana-de-açúcar. No horizonte Ap, houve aumento da densidade do solo no tratamento com dois anos, indicando que a destruição da mata e a implantação da monocultura modificaram a estrutura, provavelmente causada pelo preparo do solo e perda de matéria orgânica. No perfil do solo na área cultivada há 30 anos, a densidade decresceu em relação à área com dois anos de cultivo. Nos horizontes subsuperficiais, quanto maior o tempo de cultivo, maior a densidade do solo, resultante da compactação causada pelo tráfego de máquinas e implementos. A porosidade total não foi alterada, mas o cultivo de cana-de-açúcar causou aumento da microporosidade, com conseqüente diminuição dos macroporos. Essas mudanças se deram mais fortemente no horizonte superficial.

Os valores máximos de resistência do solo à penetração são bastante variáveis e, por causa da influência da umidade do solo, é impreciso fazer comparações na literatura, mesmo em semelhantes tipos de solo. IAIA et al. (2006), estudando um Latossolo Vermelho distrófico e um Latossolo Vermelho Amarelo distrófico, cultivados com cana-de-açúcar variedade SP 71 1406, utilizando um penetrômetro eletrônico, encontraram valores de até 4,63 MPa na camada de 0 a 0,05 m, e até 5,79 MPa, na profundidade de 0,05 a 0,1 m, com umidade do solo variando entre 3 e 24%. Houve tendência de diminuição da resistência à penetração em função da profundidade.

SOUZA et al. (2004), em cana-de-açúcar cultivada em Latossolo Vermelho eutroférico, encontraram resistência à penetração de 4,4 MPa, na camada de 0 a 0,2 m, e 5,11 MPa, de 0,2 a 0,4 m de profundidade, em avaliação feita com umidade gravimétrica média de 22%. Em outro Latossolo Vermelho eutroférico, BRITO et al. (2006), com umidade do solo variando entre 28 e 34%, encontraram valores máximos de 3,37 MPa, entre 0 e 0,15 m; 4,5 MPa, de 0,15 a 0,3 m; e 4,37 MPa, de 0,3 a 0,45 m de profundidade. Já SOUZA et al. (2006), num Latossolo Vermelho distrófico umidade gravimétrica média de 17%, obteve valores entre 1,99 e 2,3 MPa, entre 0 e 0,15 m de profundidade; de 2,29 a 3,77 MPa, de 0,15 a 0,3 m; e de 2,77 a 3,6 MPa, na profundidade entre 0,3 e 0,45 m.

Segundo Barbieri (1994), o que ajuda a prevenir situações críticas de compactação é o controle de tráfego nos talhões, com o objetivo de definir e restringir as faixas de tráfego nas plantações. A prevenção é feita da seguinte forma: a) não permitir o tráfego transversal às linhas de cana; b) tratores e máquinas com pneus de baixa pressão; e c) sistematizar o trabalho das frentes de corte manual e entradas dos caminhões, determinando pontos referenciais; neste caso, o objetivo é trafegar com os veículos sempre nas mesmas posições, já que 70% da compactação potencial é efetivada na primeira passagem. Para correção da compactação, o autor recomenda o uso de subsoladores com solo ligeiramente úmido, para que a operação não resulte em torrões muito grandes.

## **2.4 IMPORTÂNCIA DO SISTEMA DE RAÍZES**

Nos organismos vegetais, há interdependência entre a parte aérea e o sistema de raízes, ligados no que diz respeito ao transporte de água e nutrientes. No entanto, a relação de crescimento dessas partes pode ser muito variável, de acordo com as condições da planta e do meio ambiente (GUIMARÃES et al. 1997). Portanto, os estudos da parte aérea e das raízes não devem ser utilizados isoladamente em avaliações de sistemas de cultivo. Mas, de modo geral, sob o aspecto da absorção de nutrientes, é desejável que as plantas tenham amplo sistema de raízes (BARBER, 1995).

O sistema de raízes da cana-de-açúcar é fundamental para sua produção, pois, através dele, a planta consegue a maior parte da água e dos nutrientes para o seu desenvolvimento (KORNDORFER et al., 1989), além da sua fixação no solo (LIBARDI & LIER, 1999). BALL-COELHO et al. (1992) afirmam que as raízes da cana-de-açúcar também têm importância quanto ao acúmulo de matéria orgânica no solo. Segundo INGRAM e LEERS (2001), as raízes das plantas também são produtoras de reguladores de crescimento, se comunicando com a parte aérea.

A fisiologia do crescimento radicular vem ganhando importância cada vez maior na avaliação dos sistemas de produção agrícola, pois através dele é possível compreender melhor as interações entre o solo, as plantas e outros seres vivos. Esse entendimento traz questionamentos sobre os manejos empregados atualmente, procurando-se aliar o uso racional das terras às pressões econômicas do mundo capitalista (CRESTANA et al., 1994). Por isso, a necessidade de obter lucro também justifica o estudo do enraizamento da cana-de-açúcar, que consiste numa atividade agroindustrial de grande expressão, onde a máxima eficiência exigida não permite deixar de fora o conhecimento de parte tão importante.

Segundo CASAGRANDE (1991), esse conhecimento adquirido na pesquisa permite, na prática, a utilização racional das técnicas agrônomicas, como: espaçamento da cultura, aplicação de fertilizantes, operações de cultivo e cálculos de irrigação, além do melhoramento genético.

#### **2.4.1 Desenvolvimento das raízes da cana-de-açúcar**

As raízes têm influência direta sobre algumas características da planta, como resistência à seca, eficiência na absorção dos nutrientes do solo, tolerância ao ataque de pragas do solo, capacidade de germinação e brotação, porte (ereto ou decumbente), tolerância à movimentação de máquinas, entre outros. Entretanto, não é a quantidade de raízes o fator determinante, mas sua distribuição no perfil do solo. Uma quantidade muito grande de raízes nas camadas superficiais do solo pode significar um gasto excessivo de metabólitos sintetizados na parte aérea e translocados para as raízes, além de maior risco de estresse hídrico em

períodos de veranico, mas, por outro lado, em condições de cana irrigada, esta distribuição pode ser muito favorável (VASCONCELOS & GARCIA, 2005).

A distribuição de raízes de cana-de-açúcar é similar a de outras gramíneas tropicais, com declínio exponencial de biomassa de raízes em função da profundidade. Também apresenta considerável variabilidade na sua distribuição, particularmente em resposta à irrigação e impedimentos ao crescimento radicular, como compactação do solo ou alta umidade (SMITH et al., 2005).

Na cana-de-açúcar são descritos três tipos de raízes, segundo BACCHI (1985) e CASAGRANDE (1991): 1 - raízes superficiais, situadas nos primeiros centímetros de profundidade, responsáveis pela maior parte de absorção de água e nutrientes; 2 - raízes de fixação, que são brancas e suculentas, dirigindo-se para baixo com ângulo entre 45 e 60°, em relação à superfície do solo, que têm absorção limitada; e 3 - raízes em cordões, mais verticais que os 2 primeiros tipos, que podem absorver água em grande profundidade.

O conhecimento disponível sobre o desenvolvimento de raízes de cana-de-açúcar não pode ser largamente aplicado ao manejo da cultura ou ao melhoramento genético. Os dados existentes mostram que ocorrem variações genótípicas substanciais nas propriedades do sistema de raízes, mas nunca se quantificou essas variações. Como conseqüência, é muito difícil estabelecer objetivos para as raízes dentro de programas de melhoramento. Além disso, as informações que existem não são muito difundidas. Por exemplo: recomendações de irrigação e balanço de nutrientes são comumente baseados na hipótese de que a cana-de-açúcar tem um enraizamento superficial, e as reservas de água ou de nitrogênio, em profundidade, não estão disponíveis para a cultura. Recomendações de manejo que levem em conta essas características do sistema de raízes podem resultar em utilização mais eficiente das técnicas agrônômicas. Também há pouca informação sobre o efeito de lençóis freáticos rasos no crescimento de raízes (SMITH et al., 2005).

### **2.4.1.1 Cana-planta**

Após o plantio (cana-planta), as primeiras raízes são de fixação, provenientes da zona radicular do tolete (CASASGRANDE, 1991; ALVAREZ et al., 2000). Até o desenvolvimento das raízes superficiais, que se inicia 30 dias depois da germinação, a planta sobrevive das reservas do tolete e da absorção das raízes de fixação (CASAGRANDE, 1991). As raízes de cana-de-açúcar têm um desenvolvimento restrito nos primeiros estádios de crescimento da planta, com pequena superfície absorvente, até o aparecimento das primeiras folhas, que promovem crescimento das raízes de forma acelerada, a partir do broto. Aos 3 meses após o plantio, no caso da cana planta, ou após o corte, na soqueira, o abastecimento da planta é praticamente todo feito pelas raízes das brotações (HUMBERT, 1974).

As raízes jovens apresentam-se com um cilindro vascular limitado internamente por uma medula bem desenvolvida e, externamente, pela endoderme, pelo córtex, pela exoderme e pela epiderme. As raízes jovens (mais finas) têm sempre 8 pólos de metaxilema, enquanto que as mais velhas possuem mais, chegando a 15 pólos na cultivar SP 70 1143. Os elementos de protofloema e protoxilema, alternos aos raios, são numerosos, como resultado da ausência de desenvolvimento secundário. A razão entre o cilindro do córtex e o cilindro vascular tende a ser menor em áreas menos compactadas. Isso pode ser explicado pelo fato de que o aerênquima, presente no cilindro do córtex, tende a ser maior quanto menor a porosidade (maior compactação), a fim de aumentar a eficiência respiratória das raízes. Tal fato também ocorre em regiões muito úmidas, onde também há menos ar no solo (QUEIROZ-VOLTAN et al., 1998).

### **2.4.1.2 Soqueira**

A arquitetura do sistema de raízes da cana-de-açúcar tem alterações tanto entre ciclos quanto dentro de um mesmo ciclo. A cana-planta explora mais intensamente a superfície do solo, enquanto que as soqueiras exploram o solo em

maiores profundidades. Em cana de 8 anos pode-se, encontrar grande quantidade de raízes a 2,4 m. Contudo, é preciso ressaltar que essas profundidades variam com o tipo de solo e suas características químicas, físicas e biológicas, e as condições hídricas de cada local. Embora a cana-planta apresente menor quantidade de raízes que as soqueiras, sua eficiência de absorção por unidade de superfície é maior, pois apresenta um conjunto de raízes mais novas e mais tenras. As soqueiras, que têm um sistema com proporção maior de raízes mais velhas e mais lignificadas, cuja manutenção compete mais com a parte aérea por energia. É muito provável que essa seja uma das causas da queda de produtividade de um corte para o outro (VASCONCELOS & GARCIA, 2005).

Segundo HUMBERT (1974) e CASAGRANDE (1991), na rebrota da touceira após o corte, um novo sistema de raízes é formado, onde as raízes velhas deixam de funcionar gradativamente. Num experimento realizado em solos de diferentes texturas, GLOVER (1968) observou que, após 3 dias da colheita, as raízes eram visivelmente ativas, mas seu crescimento havia cessado, e, depois de algumas semanas, o antigo sistema de raízes estava morto. No entanto, essas raízes mantiveram certa atividade durante o período de declínio e morte, o que favorece o crescimento e desenvolvimento dos colmos da soqueira, enquanto o novo sistema de raízes não está totalmente formado. Segundo esse autor, essas raízes são importantes, principalmente, em profundidade, pois elas são fundamentais quando há um período de seca após a colheita, quando as novas raízes estão distribuídas apenas superficialmente.

SMITH et al. (2005) concluíram que a colheita da cana-de-açúcar causa morte parcial das raízes, mas existem evidências que indicam que não ocorre renovação total das raízes. A sobrevivência das raízes anciãs acontece para proteção contra períodos secos nos estádios iniciais de crescimento da soqueira. Não se sabe se existem efeitos genético ou ambiental sobre a mortalidade de raízes após a colheita. Também não é possível afirmar se a renovação das raízes continua durante o ciclo; portanto, o balanço de carbono da parte subterrânea é pouco conhecido. Segundo BALL-COELHO et al. (1992), a renovação das raízes em resposta à colheita pode resultar em mudanças significativas em sua distribuição e atividade, além de trazer incremento de matéria orgânica ao solo.

Plantas semi-perenes, como a cana-de-açúcar, que têm renovação de raízes entre ciclos, dificultam a avaliação da real arquitetura do sistema de raízes



ativo e, conseqüentemente, o avanço do conhecimento sobre sua dinâmica. Para FARONI (2004), é preciso identificar as raízes vivas e ativas. Para isso, é possível utilizar elementos radioativos, como o  $^{32}\text{P}$  (GLOVER, 1968) e o  $^{15}\text{N}$  (FARONI & TRIVELIN, 2006).

#### **2.4.2 Fatores que influenciam o desenvolvimento das raízes**

A relação entre as raízes e a água é bem estudada, mostrando que existem variações sensíveis entre as variedades de cana-de-açúcar e suas condutividades hidráulicas. Isso sugere que a eficiência das raízes em explorar o solo é diferente segundo cada genótipo. No entanto, não existem dados específicos para a assimilação de nutrientes. A hipótese é que cultivares que combinem alta capacidade específica para absorção de água e nutrientes, com pequeno sistema de raízes, podem assimilar C mais eficientemente. Existem indícios de que o controle de abertura estomacal na cana-de-açúcar, em resposta às condições de água para as raízes, é resultado da transmissão de um sinal químico no xilema. As relações entre as raízes e os colmos, no que diz respeito à condutividade de água e transpiração, são razoavelmente bem conhecidas, mas a extensão disso para as trocas de gases e assimilação de nutrientes, não são claras. De toda forma, as propriedades do sistema de raízes têm efeito direto na resposta de crescimento (SMITH et al., 2005).

A relação entre as condições hídricas e o desenvolvimento das raízes também são citados por FARONI & TRIVELIN (2006), que, avaliando as raízes ativas em cana-de-açúcar cultivada em Latossolo Vermelho distrófico, afirmam que épocas de seca podem provocar mortalidade de raízes, ocorrendo parcial renovação das raízes num mesmo ciclo da soqueira, quando o solo volta a ter umidade suficiente. Os autores observaram que a quantidade de raízes vivas e ativas aumentou com o passar do tempo, após a colheita, num ano em que não houve severa deficiência hídrica.

As características físicas do solo e as condições de fertilidade química também podem limitar o crescimento das raízes (HELFGOTT, 1997). JORGE (1986) afirma que a estrutura regula a aeração, o suprimento de água, a

penetração das raízes, a disponibilidade de nutrientes, a atividade biológica e a temperatura do solo. A porosidade de aeração para desenvolvimento vegetal deve ser, no mínimo, de 0,10 a 0,12 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> (BAVER et al., 1973). O aumento da densidade do solo pode restringir o desenvolvimento (CASAGRANDE, 1991; SMITH et al., 2005), mas seus efeitos devem ser relacionados a outros fatores, como textura, porosidade e umidade do solo e a variedade em questão (CASAGRANDE, 1991).

Os atributos físico-químicos e a umidade do solo têm papel fundamental no crescimento e no desenvolvimento das raízes. E as raízes são dinâmicas quanto às mudanças dessas características, durante o seu ciclo. Se há um ressecamento do solo, de cima para baixo, as raízes em profundidade se desenvolvem, explorando o maior volume de solo possível, aproveitando que os metabólitos são mais disponíveis e há baixa resistência à penetração, enquanto que as raízes em superfície encontram dificuldade para crescer e podem até morrer, dependendo do período de seca e das condições físico-químicas do solo. Mas, tão logo chova, essas últimas retomam seu crescimento e novas raízes laterais superficiais são desenvolvidas. A temperatura do solo também influencia o desenvolvimento das raízes. Em manejos onde a palhada permanece sobre o solo, sua temperatura é menor e pode diferenciar a quantidade de raízes, em relação aos manejos que resultam em solo descoberto (VASCONCELOS & GARCIA, 2005).

#### **2.4.3 Estudo do sistema de raízes da cana-de-açúcar**

Considerável conhecimento do sistema de raízes da cana-de-açúcar foi obtido no começo do século XX. A arquitetura das raízes foi descrita, com dados publicados sobre o enraizamento abaixo de 2 m, mas em trabalhos que datam da década de 1930. Não é possível saber se esses resultados são aplicáveis às variedades em uso (SMITH et al., 2005).

O conhecimento do sistema de raízes é importante, pois este interfere no desenvolvimento geral das plantas (CASAGRANDE, 1991; NEVES & MEDINA, 1999). Entretanto, são poucos os estudos sobre enraizamento, principalmente considerando os dados disponíveis da parte aérea das plantas. Isso

se dá, basicamente, pela dificuldade de visualização e adaptação de metodologias, sobretudo em avaliações a campo. Normalmente, a pesquisa que envolve avaliação de raízes é tediosa e trabalhosa. Outro problema é que, geralmente, experimentos de avaliação de raízes têm alto coeficiente de variação (CV%) (INGRAM e LEERS, 2001), onde muitas vezes não se nota diferenças estatísticas. Tal fato se dá pela alta variabilidade espacial das condições do solo e pela dificuldade de se fazer grande número de repetições. Para resolução desse problema, uma das hipóteses é ajustar modelos estatísticos adequados ao estudo de raízes.

A quantificação das raízes da cana-de-açúcar é feita em profundidade e em distância da touceira, medindo-se comprimento, massa e até área de raízes por unidade de volume de solo, além do diâmetro médio. BÖHM (1979) descreve vários métodos para a avaliação de raízes, como a parede do perfil, monólitos, trado, prancha de pregos, rhizotron, e até escavação e remoção de todo o sistema de raízes. INGRAM e LEERS (2001) destacam o minirhizotron, um método não destrutivo que permite observar o desenvolvimento das raízes, e, também, outros organismos do solo, como insetos, minhocas e fungos. A escolha da metodologia depende dos equipamentos, da mão-de-obra e da tecnologia disponíveis, bem como dos objetivos e condições do experimento.

A quantificação das raízes, em vários estudos, é feita pela densidade de comprimento de raízes (RLD – root length density), expressa em comprimento de raízes por unidade de volume de solo, mas também é comum observar a massa seca de raízes. Para a obtenção do comprimento de raízes, pode-se utilizar a metodologia desenvolvida por NEWMAN (1966) e modificada por TENNANT (1975), em amostras levadas ao laboratório. Essa metodologia se baseia no número de intersecções de raízes sobre uma tela com malha conhecida, calculando-se o comprimento total de todos os segmentos através de um modelo matemático.

Com o desenvolvimento e a difusão de tecnologias computacionais, foram realizados vários trabalhos que se utilizaram de fotografias e filmagens, digitalizadas e analisadas por softwares específicos, dispensando o uso de técnicas manuais como as descritas por NEWMAN (1966) e TENNANT (1975), diminuindo o tempo para a obtenção de dados, como em CRESTANA et al. (1994), JORGE et al. (1996), CHOPART & SIBAND (1999), BOUMA et al. (2000) e INGRAM & LEERS (2001).

IVO (1999), estudando a distribuição de raízes de cana-de-açúcar em solo de Tabuleiro Costeiro sob diferentes preparos, aferiu número, peso e comprimento de raízes, em experimento de preparo de solo para plantio. Foram três tratamentos: preparo convencional raso (aração a 0,2 m e 2 gradagens), convencional profundo (aração a 0,4 m e 2 gradagens) e cultivo mínimo (herbicida e sulcamento). Os dados foram obtidos adaptando-se os métodos da Parede do Perfil e Monólito (através do uso de prancha de pregos). Os monólitos foram retirados das trincheiras com as pranchas de pregos, onde, posteriormente, foi feito o perfil de enraizamento, com contagem de raízes realizada com auxílio de tela quadriculada. O experimento não obteve diferenças significativas no enraizamento, entre os tratamentos.

CRESTANA et al. (1994) realizaram experimento visando propor alternativas para estudo de raízes, através de processamento de imagens digitais. Foram feitos perfis (trincheiras), em lavouras de cana-de-açúcar e soja. Segundo os autores, os perfis devem ser fotografados ou filmados e as imagens analisadas, com possibilidade de uso de baixa tecnologia (põe-se um papel translúcido reticulado sobre a foto e contam-se as raízes), média tecnologia (imagens digitalizadas sem recursos de processamento) e alta tecnologia (imagens digitalizadas com recursos de processamento). Os autores consideram o uso de imagens como ferramenta importante na quantificação de raízes e de boa aplicabilidade. A utilização das diferentes tecnologias depende dos recursos disponíveis.

ROBAINA JÚNIOR (2001) estudou diferentes métodos de quantificação de raízes de cana-de-açúcar, em experimento com doses crescentes de vinhaça, em Latossolo Vermelho distroférico, em Londrina – PR. O autor comparou, através de estudo de regressão, o método do Trado, com medição da massa seca de raízes (em g), com o método do Trado e o método da Parede do Perfil, medindo-se área de raízes obtida por imagens digitais. Houve correlação significativa entre os métodos, indicando que as unidades empregadas para a quantificação de raízes são diretamente proporcionais; portanto, a escolha do método depende do objetivo. Por exemplo: se o experimento é realizado por vários anos, o método não destrutivo do trado é mais adequado; quando se quer conhecer a distribuição das raízes no solo, é mais adequado escolher o método da parede do perfil.

MEDINA (1993), em Terra Roxa Estruturada distrófica, em ensaio de aplicação de gesso, calcário e vinhaça, também utilizou o método da parede do perfil para quantificação de raízes de cana-de-açúcar, contando o número de raízes com o auxílio de uma tela quadriculada, assim como ROBAINA (2000), que estudou aplicação de doses de vinhaça, também em cana-de-açúcar.

QUEIROZ-VOLTAN et al. (1998) não quantificaram as raízes, mas avaliaram seus aspectos estruturais, em 10 áreas de Latossolo Roxo, no nordeste do Estado de São Paulo. O trabalho procurou fazer relação entre os níveis de densidade do solo e a razão entre a espessura do córtex (CO) e a espessura do cilindro vascular (CV). Não se observou relação direta entre os parâmetros, pois, provavelmente, outros fatores estão ligados à razão CO/CV, como umidade e outros atributos físicos do solo.

ALVAREZ et al. (2000), num experimento realizado em Latossolo Vermelho distrófico, realizaram 19 amostragens de raízes de cana-de-açúcar em 2 anos de avaliação. A massa seca de raízes foi utilizada como parâmetro de comparação entre cana crua e cana queimada. A metodologia utilizada foi a do trado cilíndrico, com amostragem até 1 m de profundidade. No 1º ano, a média foi de 0,27 g de raízes cm<sup>-3</sup> para cana crua e queimada; no 2º ano, as médias foram de 0,28 g cm<sup>-3</sup> para cana crua e 0,23 g cm<sup>-3</sup> para cana queimada. Ao analisar os resultados das várias épocas de avaliação, foi observado que não houve aumento da massa de raízes proporcional ao tempo, com a quantidade de raízes variando aleatoriamente. Os dados apresentaram grande variabilidade e em apenas 3 estádios avaliados no 2º ano foram verificadas diferenças estatísticas, com maior massa seca para a cana queimada colhida manualmente. Em mesmo tipo de solo, VASCONCELOS et al. (2003) encontraram resultado semelhante, com mais massa de raízes em cana queimada.

MORRIS e TAI (2004), caracterizando as raízes de cana-de-açúcar num experimento em vaso, recuperaram as raízes através de peneira de malha 2,5 cm (para separá-las do solo). Em seguida, estas foram lavadas numa máquina Gillison Hidropneumática. As raízes foram coletadas em peneira com malha de 1 mm e escaneadas, usando-se o programa WinRhizo para determinar diâmetro e comprimento de raízes, separando-as em 10 classes de diâmetro diferentes. Em termos visuais, o crescimento de raízes e colmos não foi modificado em função da profundidade do impedimento ao crescimento, causado por alta umidade, e não

houve crescimento de raízes para cima. A massa seca da parte aérea teve correlação com a profundidade do lençol freático (que tem efeito semelhante ao que acontece quando há camada compactada), mas, as raízes, não. A falta de resposta das raízes pode ter sido resultado de um aerênquima desenvolvido que se apresentou na cana-de-açúcar (o aerênquima transporta oxigênio dos colmos para as raízes; são abundantemente presentes em plantas tolerantes à inundação, como o arroz). Os autores também relatam que houve uma correlação negativa entre o massa de colmos e as raízes com diâmetro entre 2,5 e 4,5 mm na camada de 0 – 0,15 m de profundidade, e uma correlação positiva entre a massa de colmos e as raízes com diâmetro entre 0,5 e 1,0 mm em subsuperfície. Segundo os autores, raízes de menor diâmetro e maior comprimento indicam maior capacidade de absorção de nutrientes e maior produtividade, em relação às raízes grossas, que têm menor superfície específica (apud FAGERIA et al, 1997). Em torno de 85% das raízes apresentaram diâmetro inferior a 1,0 mm. Na comparação entre as variedades de cana-açúcar, submetidas às mesmas condições, foram observados diferentes comprimento total de raízes, diâmetro de raízes e porcentagem do comprimento por classe de diâmetro de raízes, e isto sugere que todas as características avaliadas têm influência genética.

VASCONCELOS et al. (2003), em cana-de-açúcar cultivada em Latossolo Vermelho distrófico, de textura média, avaliaram 5 metodologias para quantificar as raízes: 1 – Monólito, aferindo-se a massa seca de raízes; 2 – Monólito, estimando-se o comprimento total a partir do comprimento de 10% da massa de raízes; 3 – Trado, massa seca; 4 – Parede do Perfil, avaliando-se comprimento com o programa SIARCS<sup>®</sup> (JORGE et al., 1996); e 5 – Parede do Perfil, contagem de raízes. Os métodos do Monólito e do Trado apresentaram maior quantidade de raízes na camada de 0 – 0,2 m. Os autores concluíram que o Monólito e o Trado proporcionam amostragem volumétrica melhor, mas, deve-se considerar que, entre os métodos avaliados, são os únicos que amostram um volume de solo conhecido.

VEPRASKAS & HOYT (1988) compararam 2 metodologias: parede do perfil, contando o número de raízes no perfil do solo, e o trado cilíndrico, com determinação do comprimento de raízes, nas culturas de milho e fumo. Os autores destacam que a parede do perfil tem a vantagem de ser mais rápida do que o trado, usando equipamentos simples; mas, ao contrário do trado, ela não possibilita obter a densidade de comprimento de raízes (RLD), que é a unidade internacional usual na

quantificação de raízes, além de ser difícil manter a verticalidade do perfil na camada superficial do solo, geralmente mais solta e suscetível ao desmoronamento, podendo levar a contagens imprecisas; por outro lado, o trado demanda muito tempo. Com os resultados dos dois métodos, foi possível determinar uma relação entre eles, através de regressões lineares.

Vários autores já tentaram fazer uma relação entre o número de raízes num perfil e seu comprimento por volume de solo (VEPRASKAS & HOYT, 1992, apud BALDWIN et al., 1971, e MELHUIS & LANG, 1968z). CHOPART & SIBAND (1999), estudando raízes de milho, desenvolveram um método que utiliza uma grade com tela de nylon, para contar o número de raízes na parede do perfil, estimando a densidade de comprimento de raízes e a taxa de exploração do solo por meio de um modelo matemático. Para isso, os autores realizaram um estudo de isotropia e orientação preferencial das raízes, em várias profundidades, calibrando e validando o modelo em diversas áreas. Este método se mostrou de fácil aplicação no campo e de baixo custo, fazendo-se a estimativa em laboratório de informática, através do programa RACINE<sup>®</sup> (desenvolvido pelo CIRAD, França), apresentando resultados satisfatórios quando comparado com outros métodos.

LOPEZ-ZAMORA et al. (2002) também fizeram um estudo de avaliação de isotropia de raízes de plantas arbóreas da Amazônia, conseguindo estabelecer relações significativas entre o número de impactos de raízes no perfil do solo e a densidade de comprimento de raízes. Para a cana-de-açúcar, é preciso desenvolver um modelo específico que considere o grau de isotropia e orientação de suas raízes.

BALL-COELHO et al. (1992) estudaram as raízes da variedade CO 997, no nordeste do Brasil, durante 2 ciclos (cana planta e soqueira), amostrando as raízes com trado. Foi verificado que não houve variação consistente da massa total de raízes, amostradas aos 450 dias na cana-planta, e aos 20, 110, 200 e 290 dias na soqueira. O diâmetro médio das raízes não variou em função da profundidade. Aos 200 dias da soqueira, foi medida a proporção de massa das raízes vivas, em relação ao total amostrado, ficando entre 60 e 94%, com tendência de aumento com a profundidade. Quanto a isso, segundo os autores, as raízes ligadas aos colmos cortados morrem por falta de fotossintatos (apud JENSEN, 1931; BAVER et al., 1962; EVANS, 1964; e CLEMENTS, 1980). Entretanto, as raízes podem continuar graças às reservas presentes do que sobrou dos colmos colhidos. A massa seca

total de raízes, até 2 m de profundidade, foi em torno de 0,75 kg m<sup>-2</sup>, em cana planta, e de 0,9 a 1,1 kg m<sup>-2</sup>, na soqueira.

Como visto nos trabalhos citados e de acordo com SMITH et al. (2005), em sua extensa revisão sobre experimentos que avaliaram as raízes de cana-de-açúcar, não há um padrão na distribuição de raízes, em razão das inúmeras variedades e das condições do ambiente de produção, como as características de clima, umidade e fertilidade do solo. O efeito da distribuição de nutrientes sobre as raízes é incerto. A variabilidade no tamanho do sistema de raízes e a máxima densidade de raízes são grandes, mas não é possível, atualmente, diferenciar efeitos de genótipo e de ambiente na quantidade de raízes. A proporção das raízes em relação aos colmos depende do balanço das capacidades funcionais da parte aérea e da parte subterrânea, como também afirmam GUIMARÃES et al. (1997). De forma geral, é interessante haver um sistema de raízes bem desenvolvido, que possibilite crescimento da parte aérea e boa produtividade.

## 2.5 LITERATURA CITADA

ABREU, S. L.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. Escarificação mecânica e biológica para a redução da compactação em argissolo franco-arenoso sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, p.519-531, 2004.

ALVAREZ, I. A.; CASTRO, P. R. C.; NOGUEIRA, M. C. S. Crescimento de raízes de cana crua e queimada em dois ciclos. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.57, n.4, p.653-659, 2000.

BACCHI, O. O. S. **Ecofisiologia da cana-de-açúcar**. Piracicaba: IAA/Planalsucar, 1985. 20p.

BALL-COELHO, E. V. S. B.; SAMPAIO, H.; STWART, J. W. B. Root dynamics in plant and ratoon crops of sugar cane. **Plant and soil**, Dordrecht, v.142, p.297-305, 1992.

BARBER, S. A. **Soil nutrient bioavailability - a mechanistic approach**. New York: John Wiley & Sons, 1995. 414p.

BARBIERI, J. L.; ALLEONI, L. R.; DONZELLI, J. L. Avaliação agronômica e econômica de sistemas de preparo de solo para cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.21, n.1, p.89-98, 1997.



BARBIERI, J. L. Compactação dos solos: diagnóstico e correção. In: I SEMINÁRIO SOBRE TECNOLOGIAS DE MANEJO DE SOLO E ADUBAÇÃO DA CANA-DE-AÇÚCAR. **Anais**. . . Ribeirão Preto, p.14-27, 1994.

BASTOS, E. **Cana-de-açúcar, o verde mar de energia**. Ícone Editora Ltda, São Paulo, 1987. 127p.

BAVER, L. D.; GARDNER, W. H.; GARDNER, W. R. **Física de suelos**. UTEHA, México, 1973. 529p.

BÖHM, W. **Methods of studying root systems**. Springer-Verlag, New York, 1979. 188p.

BORGES, E. N.; LOMBARDI NETO, F.; CORRÊA, G. F.; BORGES, E.V.S. Alterações físicas introduzidas por diferentes níveis de compactação em latossolo vermelho-escuro textura média. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.9, p.1663-1667, 1999.

BOUMA, T. J.; NIELSEN, K. L.; KOUTSTAAL, B. Sample preparation and sanning protocol for computerized analysis of root length and diameter. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.218, p.185-196, 2000.

BRITO, L. F. L.; SOUZA, Z. M.; MONTANARI, R.; MARQUES JUNIOR, J.; CAZETTA, D.; CALZAVARA, S. A.; OLIVEIRA, L. Influência de formas do relevo em atributos físicos de um latossolo sob cultivo de cana-de-açúcar. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.36, n.6, p.1746-1755, 2006.

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

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

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

CHOPART, J. L.; SIBAND, P. Development and validation of a model to describe root length density of maize from root counts on soil profiles. **Plant and soil**, Dordrecht, v.214, p.61-74, 1999.

CORSINI, P. C.; FERRAUDO, A. S. Efeitos de sistemas de cultivo na densidade e na macroporosidade do solo e no desenvolvimento radicular do milho em latossolo roxo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.2, p.289-298, 1999.

CRESTANA, S.; GUIMARÃES, M. F.; JORGE, L. A. C.; RALISCH, R.; TOZZI, C. L.; TORRE, A.; VAZ, C. M. P. Avaliação da distribuição de raízes no solo auxiliada por

processamento de imagens digitais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.18, n.3, p.365-371, 1994.

FALLEIRO, R. M.; SOUZA, C. M.; SILVA, C. S. W.; SEDIYAMA, C. S.; SILVA, A. A.; FAGUNDES, J. L. Influência dos sistemas de preparo nas propriedades químicas e físicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p.1097-1104, 2003.

FARONI, C. E. Sistema radicular de cana-de-açúcar e identificação de raízes metabolicamente ativas. 2004. 68p. **Dissertação (Mestrado)** – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

FARONI, C. E.; TRIVELIN, P. C. O. Quantificação de raízes metabolicamente ativas de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.42, n.6, p.1007-1013, 2006.

GLOVER, J. The behavior of the root-system of sugarcane at and after harvest. **Proceedings of The South African Technologists' Association**, KwaZulu-Natal, v.42, p.133-135, 1968.

GUIMARÃES, M. F.; BALBINO, L. C.; MEDINA, C. C.; RIBEIRO, A. M. A.; RALISCH, R.; TAVARES FILHO, J. A metodologia do perfil cultural e o enraizamento. In: MESA REDONDA: MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DE ESTRATÉGIAS DE DEGRADAÇÃO E/OU RECUPERAÇÃO DE SOLOS – XXVI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Rio de Janeiro, 1997. 25 p.

HELFGOTT, S. **El cultivo de la caña de azúcar en la costa peruana**. UNALM (Universidad Nacional Agraria La Molina), Lima - Peru, 1997. 495p.

HUMBERT, R. P. **El cultivo de la caña de azúcar**. México, Companhia Editorial Continental S.A., 1974. 719p.

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.

INGRAM, K. T.; LEERS, G. A. Software for measuring root characters from digital images. **Agronomy Journal**, Madison, v.93, p.918-922, 2001.

IVO, W. M. Distribuição do sistema radicular da cana-de-açúcar em solo de Tabuleiro Costeiro. In: WORKSHOP SOBRE SISTEMA RADICULAR: METODOLOGIAS E ESTUDO DE CASOS. Aracaju, 1999. **Anais...** Aracaju: EMBRAPA Tabuleiros Costeiros, p101-114, 1999.

JORGE, J. A. **Física e manejo dos solos tropicais**. Campinas, Instituto Campineiro de Ensino Agrícola. 1986. 328 p.

JORGE, L. A. C.; RALISCH, R.; ABI SAAB, O. J. G.; MEDINA, C. C.; GUIMARÃES, M. F.; NEVES, C. S. V. J.; CINTRA, F. L. D.; BASSOI, L. H.; FERNANDES, S. B. V. Recomendações práticas para análise de imagens digitais através do SIARCS®. São

Carlos: EMBRAPA Instrumentação Agropecuária (**Circular Técnica**), 1996. CD Rom.

JORNAL CANA. **Dados & estatísticas**. Disponível em: <<http://www.jornalcana.com.br>>. Acesso em 06 fev. 2008.

KORNDORFER, G. H.; PRIMAVESI, O.; DEUBER, R. Crescimento e distribuição do sistema radicular de cana-de-açúcar em solo LVA. **Boletim Técnico Copersucar**, São Paulo, v.47, p.32 -36, 1989.

LIBARDI, P. L.; LIER, Q. J. V. Atuação dos fatores físicos do solo no desenvolvimento do sistema radicular. In: WORKSHOP SOBRE SISTEMA RADICULAR: METODOLOGIAS E ESTUDO DE CASOS. Aracaju, 1999. **Anais...** Aracaju: EMBRAPA Tabuleiros Costeiros, p.47-56, 1999.

LOPEZ-ZAMORA, I.; FALCÃO, N.; COMERFORD, N. B.; BARROS, N. F. Root isotropy and na evaluation of a method for measuring root distribution in soil trenches. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.166, p.303-310, 2002.

MAIA, J. L. T.; RIBEIRO, M. R. Propriedades de um argissolo amarelo fragipânico de Alagoas sob cultivo contínuo da cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.1, p.79-87, 2004.

MEDINA, C. C. Estudo da aplicação de gesso, calcário e vinhaça na produção e no enraizamento da cana-de-açúcar (*Saccharum spp*). 1993. 204p. **Tese (Doutorado)**. UNESP – Botucatu.

MELLIS, V. E; ANDRADE, A. C.; CHIBA, K. M. Adubação equilibrada. Revista: Cana, **Caderno Técnico e Cultivar**, Pelotas, n.70. Ed. Cultivar. 2005

MORRIS, D. R.; TAI, P. Y. P. Water table effects on sugarcane root and shoot development. **Journal American Society Sugar Cane Technologists**, Estados Unidos, v.24, p.41-59, 2004.

NEVES, C. S. V. J.; MEDINA, C. C. Distribuição de raízes de citrus em Latossolo Roxo. In: WORKSHOP SOBRE SISTEMA RADICULAR: METODOLOGIAS E ESTUDO DE CASOS. Aracaju, 1999. **Anais...** Aracaju: EMBRAPA Tabuleiros Costeiros, p.153-166, 1999.

NEWMAN, E. I. A method of estimating the total length of root in a sample. **Journal of Applied Ecology**, Oxford, v.3, p.139-145, 1966.

PRADO, R. M.; CENTURION, J. F. Alterações na cor e no grau de flocculação de um Latossolo Vermelho-Escuro sob cultivo contínuo de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, n.1, p.197-203, 2001.

QUEIROZ-VOLTAN, R. B.; PRADO, H.; MORETTI, F. C. Aspectos estruturais de raízes de cana-de-açúcar sob o efeito da compactação do solo. **Bragantia**, Campinas, v.57, n.1, p.49 -55, 1998.

ROBAINA JÚNIOR, R. A. H. Comparação entre métodos de avaliação do sistema radicular da cana-de-açúcar (*Saccharum* spp). 2001. 15p. **Dissertação (Mestrado)**. Universidade Estadual de Londrina, Londrina.

SCANDALIARIS, J.; MORANDINI, M.; ZAMORA, F. P.; DANTUR, N. El manejo com caña verde y cultivo mínimo en la producción de caña de azúcar en Tucumán. **Avance Agroindustrial**, La Talitas, v.20, n.79, p.8-12, 1999.

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

SILVA, I. F.; MIELNICZUK, J. Sistemas de cultivo e características do solo afetando a estabilidade de agregados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.22, n.2, p.311-317, 1998.

SILVA, M. S. L.; RIBEIRO, M. R. Influência do cultivo contínuo da cana-de-açúcar em propriedades morfológicas e físicas de solos argilosos de Tabuleiro no Estado de Alagoas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.16, n.3, p.397-402, 1992.

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

SOUZA, Z. M.; CAMPOS, M. C. C.; CAVALCANTE, I. H. L.; MARQUES JUNIOR, J.; CESARIN, L. G.; SOUZA, S. R. Dependência espacial da resistência do solo à penetração e do teor de água do solo sob cultivo contínuo de cana-de-açúcar. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.36, n.1, p.128-134, 2006.

SOUZA, Z. M.; MARQUES JUNIOR, J.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo em diferentes formas de relevo sob cultivo de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, n.6, p.937-944, 2004.

TENNANT, D. A test of a modified line intersect method of estimating root length. **Journal of Ecology**, Paris, v.63, n.3, p.995-1001, 1975.

VASCONCELOS, A. C. M.; CASAGRANDE, A. A.; PERECIN, D.; JORGE, L. A. C.; LANDELL, M. G. A. Avaliação do sistema radicular da cana-de-açúcar por diferentes métodos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p.849-858, 2003.

VASCONCELOS, A. C. M.; GARCIA, J. C. Desenvolvimento radicular da cana-de-açúcar. Cana-de-açúcar: ambientes de produção. **Encarte técnico POTAFOS – Informações técnicas**, Piracicaba, n.110, 2005, 32p.

VEPRASKAS, M., J.; HOYT, G. D. Comparison of the trench-profile and core method for evaluating root distribution in tillage studies. **Agronomy Journal**, Madison, v.80, p.166-172, 1988.

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

### 3. ARTIGO A: TRÊS MANEJOS FÍSICOS EM LATOSSOLO VERMELHO EM SOQUEIRA DE CANA-DE-AÇÚCAR: I. ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO E PRODUTIVIDADE

#### Resumo

As práticas de manejo têm influência direta sobre a produtividade das plantas. A cana-de-açúcar (*Saccharum* spp) cultivada com inúmeras operações mecanizadas pode ter queda de produtividade causada por degradação do solo. O objetivo desse trabalho foi avaliar a produtividade e alguns atributos físicos do solo (resistência à penetração, densidade e porosidade) em dois ciclos de soqueira de cana-de-açúcar em Latossolo Vermelho eutroférico. O experimento foi instalado em Londrina – PR, e suas avaliações compreenderam os terceiro e quarto ciclos da variedade RB 72 454 (2005 e 2006, respectivamente) sob três manejos do solo: preparo vertical (PV), com preparo de solo com escarificação e duas gradagens e escarificação e adubação incorporada nas soqueiras; cultivo mínimo (CM), com escarificação e uma gradagem no preparo e adubação incorporada nas soqueiras; e plantio direto (PD), sem preparo de solo e adubação sem incorporação nas soqueiras, distribuídos totalmente ao acaso, em 10 repetições. Os dados biométricos avaliados foram: toneladas de cana por hectare (TCH), número de colmos  $ha^{-1}$ , comprimento e diâmetro médios de colmos, feitos em 10 repetições por tratamento, assim como a penetrometria, realizada nos dois anos, até 0,6 m de profundidade. A densidade do solo e sua porosidade (macro, micro e porosidade total) foram feitas em quatro repetições, até 2 m de profundidade. As variáveis avaliadas foram submetidas à análise de variância complementada pelo teste de médias Tukey. O cálculo do balanço hídrico mostrou que houve deficiência de água no primeiro ano, explicando a menor produtividade em relação ao segundo. O PV apresentou menor resistência do solo à penetração na camada superficial do solo. A densidade e a porosidade do solo foram iguais para os três tratamentos, ao fim do experimento. A produtividade não apresentou diferença estatística entre os três tratamentos, com médias gerais de 88 TCH, em 2005, e de 105 TCH, em 2006.

Palavras-chave: *Saccharum*, densidade do solo, porosidade, resistência à penetração, sistemas de preparo.

## THREE SOIL PHYSIC MANAGEMENT SYSTEMS ON RATOON SUGARCANE IN A RHODIC EUTRUDOX: I. SOIL PHYSICS AND PRODUCTIVITY

### Abstract

The management practices have direct effect on plant productivity. The sugarcane (*Saccharum* spp) cultivated with a large amount of mechanical operations may present a reduced productivity caused by soil degradation. The objective of this work was to evaluate the sugarcane production and physical attributes of soil (penetration resistance, density and porosity) in two cycles of sugarcane stalks in a Rhodic Eutrudox. The trial was carried out in Londrina, PR, and the evaluations were performed during the third and fourth cycles of RB 72 454 sugarcane variety (2005 and 2006, respectively), under three soil managements: vertical preparation (VP), with soil preparation using scarification, two tillages and incorporated fertilization on stalks; minimum tillage (MT), with scarification, one tillage on preparation and incorporated fertilization on stalks, and no tillage (NT) (direct planting), without soil preparation and non-incorporated fertilization on stalks. A random design was used as a statistical model with 10 replications. The biometrical data evaluated were: tons of sugarcane per hectare (TSH), number of colms per ha, length and diameter of colms, using 10 replications for each treatment, and penetration resistance, taken in both years, up to 0.6 m deep. The soil density and its porosity (macro, micro and total porosity) were taken in four replications, up to 2.0 m deep. The analysed variables were submitted to Anova and Tukey's multiple range test. The hydric balance showed that there was a water deficit in the first year, explaining the lower productivity in relation to the second one. The VP showed lower soil resistance to the penetration in the superficial portion of the soil. The density and the porosity of the soil were similar regarding the three treatments. The productivity did not show statistical difference among the three treatments, with averages of 88 and 105 TSH in 2005 and 2006, respectively.

Key words: *Saccharum*, soil density, porosity, penetration resistance, preparation systems.

### 3.1. Introdução

São vários os fatores que influenciam a produtividade e a longevidade das lavouras de cana-de-açúcar. Entre eles, estão os que são regidos pelo manejo empregado na cultura, com o objetivo melhorar ou manter a fertilidade física do solo em níveis adequados, fundamental para se alcançar bons resultados de produtividade e de longevidade (MEDINA, 1993), além do genótipo e das condições climáticas.

O manejo do solo está diretamente ligado à mecanização, tendo esta relação estreita com a expansão da agroindústria sucroalcooleira, já que o uso de máquinas e implementos possibilitou o cultivo de grandes áreas com a mínima mão-de-obra, promovendo grande revolvimento da camada arável do solo, com a finalidade de otimizar o crescimento e o desenvolvimento das plantas. Entretanto, tais práticas podem ser nocivas ao solo (PRADO & CENTURION, 2001).

Apesar do preparo do solo ser feito, normalmente, generalizado, sempre com várias operações, o efeito da mobilização é diferente para cada tipo de solo (BARBIERI et al., 1997). Diferentes sistemas de manejo do solo, atuando ativamente na formação e estabilização dos agregados, responsáveis pela dinâmica do solo, resultam em diferentes condições, e essas condições podem ser desfavoráveis, tanto para a produtividade, quanto para a sustentabilidade dos canaviais (SILVA & MIELNICZUK, 1998).

O tráfego de máquinas, implementos e caminhões pesados nos talhões, aliado à queima pré-colheita, é o que mais prejudica a produtividade e a longevidade da cana-de-açúcar. A compactação do solo é um dos problemas mais comuns, causando o impedimento do desenvolvimento normal das plantas (VERMA, 1995; BARBIERI et al., 1997; QUEIROZ-VOLTAN et al., 1998; SMITH et al., 2005), em decorrência do aumento dos valores de densidade do solo e da diminuição da taxa de aeração, o que dificulta a penetração e a proliferação de raízes (CORSINI & FERRAUDO, 1999).

Com o objetivo de melhor compreender as conseqüências de três manejos de solo no cultivo da cana-de-açúcar, avaliou-se: a produtividade e a resistência do solo à penetração em 2 anos consecutivos (3º e 4º cortes); e a

densidade do solo e sua porosidade após quatro anos de cultivo em Latossolo Vermelho eutroférico, em Londrina - PR.

### 3.2. Material e Métodos

#### 3.2.1. Dispositivo experimental

O experimento foi instalado na Fazenda Escola da Universidade Estadual de Londrina (UEL), no município de Londrina, latitude 23°23'S, longitude 51°11'W e altitude de 560 m. O clima, segundo classificação de Wilhelm Köppen, é subtropical úmido, com precipitação média anual de 1620 mm e insolação média de 7,05 h dia<sup>-1</sup> (CORRÊA et al., 1982). O solo é classificado, de acordo com PRADO (2003), como Latossolo Vermelho eutroférico, de textura argilosa (Tabela 3.1.). Na época do plantio (2002), o solo apresentava, no perfil de 0 – 0,4 m: pH (CaCl<sub>2</sub>) = 5,3; 13 mg de P dm<sup>-3</sup>, 5,5 cmol<sub>c</sub> de Ca dm<sup>-3</sup>, 2,5 cmol<sub>c</sub> de Mg dm<sup>-3</sup>, 0,9 cmol<sub>c</sub> de K dm<sup>-3</sup>, com saturação de bases de 65% numa CTC de 13,6 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, sem presença de Al trocável.

Tabela 3.1. Análise granulométrica de um Latossolo Vermelho eutroférico. Londrina – PR (2008).

Prof. (m)	argila	silte g kg <sup>-1</sup>	areia
0-0,05	429	300	271
0,05-0,1	429	300	271
0,1-0,2	429	300	271
0,2-0,4	529	200	271
0,4-0,6	529	200	271
0,6-1,0	529	200	271
1,0-1,5	569	160	271
1,5-2,0	429	200	371

Análise: Laborsolo.



A variedade de cana-de-açúcar utilizada foi a RB 72 454. Anteriormente ao plantio, a área foi cultivada com culturas anuais e, no momento do preparo do solo, havia palhada de sorgo sobre o solo. A quantidade de fertilizantes foi igual para toda a área: no plantio, foram aplicados 280 kg de sulfato de amônio  $\text{ha}^{-1}$  (20% de N), 145 kg de superfosfato triplo  $\text{ha}^{-1}$  (45% de  $\text{P}_2\text{O}_5$ ) e 130 kg de KCl  $\text{ha}^{-1}$  (60% de  $\text{K}_2\text{O}$ ). Na primeira soqueira, em outubro de 2003, foram aplicados 220 kg de uréia  $\text{ha}^{-1}$  (45% de N). Logo em seguida aos 2º e 3º cortes (primeira e segunda ressocas), foram utilizados 150 kg de uréia  $\text{ha}^{-1}$ . Na Tabela 3.2, é mostrada a análise química do solo em 2005. O número de capinas manuais foi igual em todos os tratamentos, sendo que nenhum deles precisou ser tratado quimicamente, já que não houve presença de insetos ou doenças em nível de dano econômico.

Tabela 3.2. Análise química de um Latossolo Vermelho eutroférico. Londrina – PR (2005).

Prof. (m)	P $\text{mg dm}^{-3}$	MO $\text{g dm}^{-3}$	pH CaCl <sub>2</sub>	Al	H+Al	Ca	Mg	K	Na	S	T	V	Al %
						cmolc $\text{dm}^{-3}$							
0-0,05	18,9	31,0	5,0	0,01	4,65	3,30	1,76	0,58	0,02	5,7	10,3	54,8	0,1
0,05-0,1	14,3	31,2	5,1	0,01	4,65	3,32	1,70	0,42	0,01	5,5	10,1	54,0	0,1
0,1-0,2	14,2	27,6	5,1	0,00	4,33	3,52	1,66	0,23	0,01	5,4	9,7	55,6	0,0
0,2-0,4	3,8	26,5	5,2	0,00	4,62	2,47	1,06	0,07	0,01	3,6	8,2	43,9	0,0
0,4-0,6	3,8	24,7	5,3	0,00	4,44	2,85	1,01	0,05	0,01	3,9	8,4	46,9	0,0
0,6-1,0	2,0	15,8	5,6	0,00	3,91	3,07	0,28	0,03	0,00	3,4	7,3	46,4	0,0
1,0-1,5	1,6	29,1	5,5	0,00	3,74	2,77	0,45	0,03	0,00	3,3	7,0	46,5	0,0
1,5-2,0	0,6	34,7	4,7	0,00	4,51	0,66	0,44	0,03	0,00	1,1	5,6	20,0	0,0

P, K, Na: Mehlich-I; Ca, Mg, Al: KCl 1N; pH: CaCl<sub>2</sub> 0,01 M; S = soma de bases; T = capac. de troca de cátions; V = sat. por bases; MO = matéria orgânica.

### 3.2.2. Tratamentos

Foram três tratamentos, distribuídos totalmente ao acaso: preparo vertical (PV), cultivo mínimo (CM) e plantio direto (PD), em 10 repetições, com parcelas de quatro linhas com 30 m de comprimento, espaçadas em 1,4 m. Antes do plantio, realizado em junho de 2002, foram feitas as operações de preparo do solo e, em 2004 e 2005, os tratamentos foram diferenciados nos tratos culturais das ressocas.

Para o PV, no preparo de solo, em junho de 2002, foi realizada uma gradagem pesada com grade de arrasto de 32 discos, a 0,2 m de profundidade; logo após, foi feita uma escarificação com escarificador de cinco hastes (duas à frente e três atrás), espaçadas em 0,4 m, trabalhando na profundidade limitada de 0,3 m; por último, foi feita uma gradagem niveladora com grade em “V” de 34 discos, na profundidade de 0,15 m. O sulco de plantio foi feito com sulcador de uma linha, a 0,25 m de profundidade. Não houve operações de mobilização do solo na soqueira; após o corte das primeira e segunda ressocas, em dezembro de 2004 e em novembro de 2005, retirou-se a palha, fazendo-se escarificação com escarificador de três hastes (uma à frente e duas atrás), passando entre as linhas de cana-de-açúcar a uma profundidade limitada de 0,3 m, com adubação feita imediatamente após a escarificação, incorporando o fertilizante a 0,05 m de profundidade, com o uso de uma semeadora de plantio direto adaptada para fazer a adubação próximo às linhas de cana-de-açúcar.

No preparo de solo para o CM, foram feitas uma gradagem pesada, gradagem niveladora e sulco para plantio, utilizando-se os mesmos implementos do tratamento PV; nos tratos culturais das primeira e segunda ressocas, a palha foi mantida e a adubação foi feita com a semeadora de milho, incorporando-se o fertilizante. Já para o PD, foram feitos somente o sulco para plantio e, nas primeira e segunda ressocas, adubação próximo às linhas de cana-de-açúcar sobre a palhada, utilizando-se a mesma semeadora de milho, mas sem incorporar o fertilizante. Nos três sistemas de manejo, o número de capinas foi o mesmo e não houve tratamento fitossanitário.

### 3.2.3. Avaliações

O balanço hídrico para os dois anos avaliados (primeira e segunda ressocas) foi estimado segundo o modelo descrito por CHOPART & VAUCLIN (1990), considerando  $k_c$  (coeficiente cultural) igual a 1,2, reserva de água útil de 10% (FARIA & CARAMORI, 1986) e profundidade de 2 m, com os dados climáticos fornecidos pelo IAPAR (Instituto Agrônomo do Paraná), trabalhados no software OSIRI (CHOPART et al., 2007).

A resistência do solo à penetração, realizada em maio de 2005 e julho de 2006, foi estudada em 10 repetições por tratamento, em que cada repetição foi representada por um ponto por parcela, escolhido ao acaso, nas entrelinhas de cana-de-açúcar, nas profundidades de 0 – 0,1; 0,1 – 0,2; 0,2 – 0,4; e 0,4 – 0,6 m. Ao mesmo tempo, foram coletadas amostras de solo para cálculo da umidade gravimétrica (EMBRAPA, 1997). As batidas do penetrômetro de impacto Planalsucar foram transformadas em MPa (megapascal) (STOLF, 1991).

A densidade do solo e a porosidade (macro, micro e total, pelo método da mesa de tensão) foram feitas em 2007, após o 4º corte, utilizando-se anéis volumétricos de 93,9 cm<sup>3</sup>, nas profundidades de 0 – 0,05; 0,05 – 0,1; 0,1 – 0,2; 0,2 – 0,3; 0,3 – 0,4; 0,4 – 0,6; 0,6 – 1,0; 1,0 – 1,5; e 1,5 – 2,0 m de profundidade, em 4 repetições por tratamento, conforme EMBRAPA (1997).

Quanto à biometria, nos 3º e 4º cortes (2005 e 2006, respectivamente) foram avaliadas, em 10 repetições por tratamento, as seguintes variáveis: toneladas de colmos por hectare (TCH), colhendo-se 2 linhas x 4 m; comprimento (m) e diâmetro (cm) médios de colmos, onde cada repetição foi a média de 10 colmos em cada parcela; e número de colmos, que foram contados em 2 linhas x 10 m por repetição, obtendo-se número de colmos por hectare. Nos dois anos, essas avaliações foram feitas aos 10 meses após a rebrota. O delineamento experimental foi totalmente ao acaso; em todas as variáveis avaliadas, foi feita análise de variância, complementada por teste de médias Tukey (5% de significância). Para os dados de número de colmos, a análise foi feita após transformação por raiz quadrada; mas, para melhor compreensão dos resultados, esses foram mostrados em número de colmos por m linear.

### 3.3. Resultados e Discussão

#### 3.3.1. Condições climáticas

Na Figura 3.1 tem-se a quantidade de chuvas por mês (a) e a relação  $ET_{real}$  (Evapotranspiração real) e  $ET_{máxima}$  (b) (CHOPART & VAUCLIN, 1990; CHOPART et al., 2007) para os dois ciclos avaliados (2004/05 e 2005/06). A  $ET_{máxima}$  representa, de forma indireta, a água requerida pela cultura. Assim, pode-se verificar se a demanda de água das plantas foi atendida, calculando-se a  $ET_{real}$  e comparando-a com a  $ET_{máxima}$ . Quando essa relação é igual ou próxima a um, a demanda de água foi atendida, considerando as condições de temperatura e radiação solar; quando ela é inferior a 1, as plantas tiveram restrição hídrica.

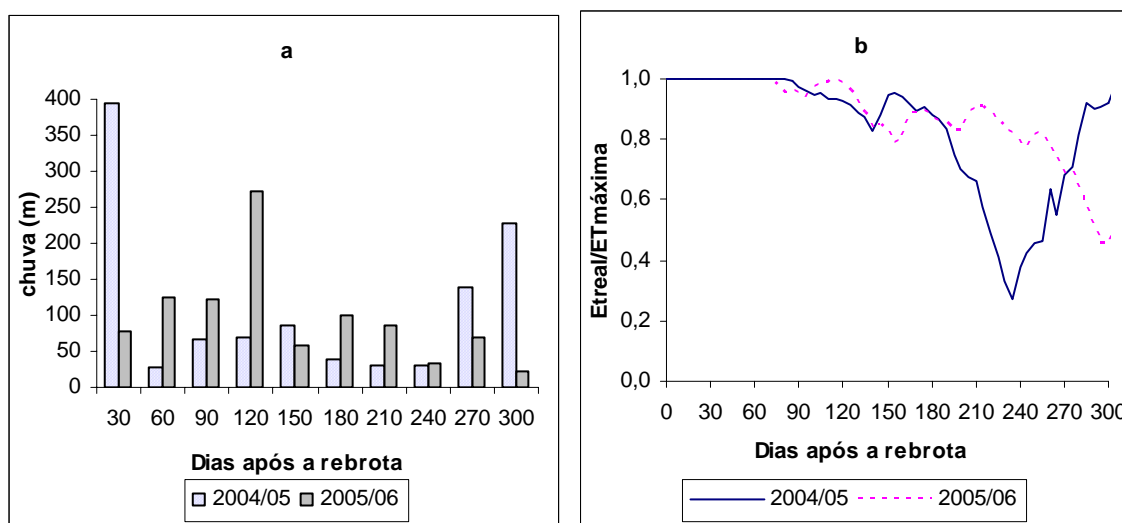


Figura 3.1. Quantidade de chuvas em mm (a) e relação entre a Evapotranspiração real ( $ET_{real}$ ) e a Evapotranspiração máxima ( $ET_{máxima}$ ) (b). Fonte dos dados climáticos: IAPAR.

Os dois anos tiveram distribuições de chuvas diferentes (Figura 3.1a). No ciclo 2004/05, houve muita chuva no 1º mês após a colheita (396 mm), mas com queda drástica a partir do 2º mês da soqueira. Foi um início de ano seco, com queda de produção das culturas de verão em toda a região. Dos 60 aos 240 dias do ciclo 2004/05, a média mensal foi inferior a 100 mm. No 2º ciclo avaliado,

houve melhor distribuição das chuvas. Na Figura 3.1b, observa-se que existiu diferença na relação  $ET_{real}/ET_{máxima}$  entre os dois períodos, já que o ano 2005/06 apresentou valores próximos a um durante boa parte do ciclo vegetativo. Quanto menor o valor da relação  $ET_{real}/ET_{máxima}$ , maior o estresse hídrico enfrentado pela planta, pois isso significa que as plantas não tiveram a evapotranspiração esperada (segundo o  $k_c$  da cultura, a temperatura e a radiação solar do período), em função da menor disponibilidade de água no solo, o que pode diminuir as atividades normais de metabolismo e, conseqüentemente, resultar em menor produtividade, dependendo da época de ocorrência do déficit hídrico.

### **3.3.2. Atributos físicos do solo**

Os resultados de resistência do solo à penetração, feita em maio de 2005 e julho de 2006, estão na Tabela 3.3, bem como suas respectivas umidades. Os valores variaram de 1,5 a 9,6 MPa, nos 2 anos avaliados. A grande diferença verificada entre 2005 e 2006 foi devido à umidade do solo no momento da avaliação.

Tabela 3.3. Resistência do solo à penetração (RP) e umidade gravimétrica (UG) de um Latossolo Vermelho eutrófico, cultivado com cana-de-açúcar sob 3 tratamentos – preparo vertical (PV), cultivo mínimo (CM) e plantio direto (PD). Londrina – PR (2005 e 2006).

	PV	CM	PD	PV	CM	PD
	RP (Mpa)			UG (%)		
Prof (m)	2005					
0-0,1	1,5 a	2,7 b	5,1 c	20	27	29
0,1-0,2	3,5 a	5,8 b	6,4 b	21	28	29
0,2-0,4	4,2 a	5,0 a	4,3 a	28	28	37
0,4-0,6	3,9 a	3,8 a	3,8 a	30	30	33
cv (%)	32					
Prof (m)	2006					
0-0,1	2,5 a	7,9 b	6,1 b	15	16	16
0,1-0,2	5,4 a	9,6 b	8,9 b	17	17	17
0,2-0,4	7,0 a	7,3 a	6,8 a	20	20	19
0,4-0,6	5,8 a	6,0 a	5,7 a	21	20	22
cv (%)	38					

Médias seguidas de letras iguais, nas linhas, não diferem entre si pelo teste de Tukey (5% de significância).

A resistência do solo à penetração depende da textura, da compactação e da umidade do solo. A textura não varia no talhão, então as diferenças observadas são atribuídas à estruturação e à compactação do solo, suscetíveis às operações de manejo. O PV apresentou menor resistência nas camadas mais superficiais do solo; mas, a partir de 0,2 m, não foi detectado efeito de tratamento. Verificando a profundidade em que ocorreram as maiores resistências, dentro de cada tratamento, observa-se que para o PV, nos dois anos, os maiores valores foram encontrados na camada de 0,2 a 0,4 m, diferentemente do que ocorreu com os tratamentos CM e PD, ambos com as maiores resistências entre 0,1 e 0,2m (Tabela 3.3). Isso é consequência da mobilização do solo realizada pelo preparo do solo e cultivo das soqueiras no PV.

Os sistemas de manejo influenciam a resistência do solo à penetração, a qual está intimamente ligada ao desenvolvimento das raízes e, conseqüentemente, da parte aérea. Segundo IAIA et al. (2006) apud ROSOLEM (1994), as raízes não respondem diretamente à compactação do solo, mas à resistência à penetração, da qual a compactação é um dos fatores. Quanto à

umidade, na avaliação feita em 2005, o solo do PV estava mais seco em relação aos outros tratamentos (Tabela 3.3).

Diversos trabalhos demonstraram que o cultivo contínuo de cana-de-açúcar causa compactação do solo, com altos valores de resistência. BRITO et al. (2006), IAIA et al. (2006), SOUZA et al. (2006) e SOUZA et al. (2004) encontraram valores máximos entre 3,8 e 5,8 MPa, dependendo da camada do perfil. De maneira geral, esses valores de resistência são considerados elevados e podem ser impeditivos ao desenvolvimento das plantas cultivadas; porém, tal afirmação é difícil de ser feita com precisão. Alguns autores consideram limitantes valores em torno de 2 MPa (MEROTTO & MUNDSTOCK, 1999; CENTURION et al., 2001 apud IMHOFF et al., 1999). Os resultados do presente trabalho contrariam esses autores, já que as plantas não mostraram sintomas de deficiência hídrica ou nutricional, ou desenvolvimento radicular limitado (dados não apresentados), comuns quando existe compactação do solo. O valor ao redor de 2 MPa pode ser limitante se houver uma camada completamente compactada, como em experimentos realizados em vasos; porém, é preciso considerar que o solo, em sua heterogeneidade natural, possibilita fissuras e espaços para o crescimento e colonização das raízes.

Após quatro anos de cultivo, o valor médio de densidade do solo, considerando o perfil de 2 m de profundidade, foi de 1,03 Mg m<sup>-3</sup> (Tabela 3.4). A densidade de partículas foi, na média, de 2,5 Mg m<sup>-3</sup>, dentro do esperado para solos minerais.

Tabela 3.4. Densidade, porosidade total, macro e microporosidade de um Latossolo Vermelho eutroférico, após 4 anos de cultivo de cana-de-açúcar sob preparo vertical (PV), cultivo mínimo (CM) e plantio direto (PD). Londrina – PR (2007).

Prof. (m)	PV	CM	PD	cv (%)	PV	CM	PD	cv (%).
	densidade ( $\text{Mg m}^{-3}$ ) <sup>ns</sup>				porosidade total ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ) <sup>ns</sup>			
0-0,05	1,02	0,99	1,00	8,5	0,60	0,62	0,57	1,8
0,05-0,1	1,02	1,05	1,15	17,1	0,59	0,58	0,58	5,1
0,1-0,2	1,01	1,11	1,08	9,6	0,58	0,56	0,57	7,2
0,2-0,3	1,11	1,16	1,11	15,1	0,57	0,57	0,54	5,1
0,3-0,4	1,04	1,14	1,11	8,5	0,57	0,55	0,54	6,2
0,4-0,6	0,97	1,04	1,00	8,1	0,55	0,58	0,58	7,3
0,6-1,0	0,96	0,96	0,97	5,4	0,59	0,59	0,60	2,7
1,0-1,5	0,99	0,94	0,99	8,5	0,60	0,62	0,62	2,0
1,5-2,0	1,00	0,96	0,95	4,4	0,61	0,60	0,60	3,5
	macroporosidade ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ) <sup>ns</sup>				microporosidade ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ) <sup>ns</sup>			
0-0,05	0,27	0,30	0,24	13,6	0,33	0,32	0,33	9,9
0,05-0,1	0,26	0,23	0,24	20,3	0,33	0,35	0,34	9,8
0,1-0,2	0,26	0,22	0,22	25,7	0,32	0,34	0,35	10,9
0,2-0,3	0,22	0,19	0,17	21,8	0,35	0,38	0,37	9,5
0,3-0,4	0,21	0,17	0,16	21,9	0,36	0,38	0,38	7,6
0,4-0,6	0,22	0,20	0,20	27,9	0,33	0,38	0,38	13,5
0,6-1,0	0,25	0,24	0,23	18,5	0,34	0,35	0,37	14,4
1,0-1,5	0,26	0,24	0,25	12,2	0,34	0,38	0,37	8,4
1,5-2,0	0,23	0,22	0,26	30,6	0,38	0,38	0,34	15,7

<sup>ns</sup>: variável não apresentou diferença estatística entre os tratamentos, em nenhuma profundidade (Teste de Tukey a 5% de significância)

Para densidade do solo, não houve diferença estatística entre os tratamentos, por profundidade. Abaixo de 0,4 m a média foi inferior a  $1 \text{ Mg m}^{-3}$ . Mesmo com mobilização do solo no PV (no preparo para plantio e na pós-colheita), não existiu efeito residual de tratamento (Tabela 3.4). Esses resultados reforçam que o preparo e os tratos culturais das soqueiras têm efeito de curto prazo, assim como afirmam CONTIERO (1997) e PRADO & CENTURION (2001). Logicamente, a escolha do manejo do solo depende de diversos fatores, como o tipo de solo, o número de passadas de máquinas e implementos e o teor de água em que é feito o tráfego. Mas, na prática, essas operações são generalizadas e, frequentemente, são aplicadas igualmente em áreas heterogêneas.

A porosidade total média, no perfil estudado, foi de  $0,58 \text{ m}^3 \text{m}^{-3}$ , composta por  $0,23 \text{ m}^3 \text{m}^{-3}$  de macroporos e  $0,35 \text{ m}^3 \text{m}^{-3}$  de microporos, condição



favorável ao desenvolvimento radicular. A porosidade também foi estatisticamente igual para os três tratamentos, em todas as profundidades avaliadas. Mesmo não havendo diferença estatística entre os tratamentos, em cada profundidade, percebe-se que a proporção de macroporos em relação à porosidade total, no perfil até 0,6 m de profundidade teve tendência de ser diferente nos três tratamentos: o PV resultou em 41,67% de macroporos, contra 37,83% do CM e 31,17% do PV, o que reflete as diferenças de resistência do solo à penetração (Tabela 3.3).

Os resultados permitem afirmar que o solo apresentou boa quantidade de macroporos para as trocas gasosas por difusão e percolação da água, estando longe dos limites mínimos de 0,10 a 0,12 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> (BAVER et al., 1973), possibilitando, desta forma, oxigenação suficiente à respiração das plantas. Num solo que apresenta compactação, esta é intimamente ligada à porosidade (McNABB et al., 2001). A compactação não necessariamente diminui a porosidade, mas sempre diminui a distribuição dos poros, ou seja, a relação entre macro e microporos, o que prejudica o desenvolvimento vegetal, por causa da diminuição da macroporosidade.

Esses três atributos – resistência do solo à penetração, densidade e porosidade do solo – auxiliam na avaliação de compactação. (CENTURION et al., 2001; FALLEIRO et al., 2003; ABREU et al., 2004). A resistência do solo à penetração detecta as camadas do solo mais compactadas, mas é fortemente influenciada pelo teor de água no solo (SOUZA et al., 2006). Como se verifica observando as Tabelas 3.3 e 3.4, o coeficiente de variação da resistência à penetração é maior que os de densidade e porosidade, que não têm influência da umidade do solo. De acordo com os resultados de SOUZA et al. (2006), no uso da penetrometria para estudo de compactação, é melhor fazê-lo com o solo mais seco, evitando-se períodos após chuvas.

### **3.3.3. Produtividade**

Para a produtividade, ao não houve diferença entre os três sistemas de manejo do solo, para os 3<sup>o</sup> e 4<sup>o</sup> cortes (Tabela 3.5). Portanto, o nível de mobilização do solo, a presença ou ausência de palha e as formas de adubação não

influenciaram o rendimento da cultura. O 3º ciclo do experimento (colhido em 2005) apresentou menor produtividade que o 4º ciclo (2006). Isso se explica pela diferença na distribuição de chuvas e suprimento da demanda de água pela cana-de-açúcar (Figura 3.1). Em 2005, entre 200 e 275 dias após a rebrota, a cana-de-açúcar sofreu estresse hídrico (Figura 3.1b). Já em 2006, a diminuição da água disponível ocorreu depois desse período, não prejudicando a produtividade. Pode-se notar a diferença de crescimento entre os 2 anos observando-se o número, o diâmetro e, principalmente, o comprimento médio de colmos (Tabela 3.5).

Tabela 3.5. Produtividade (toneladas de colmos por hectare - TCH), massa média por colmo, número de colmos por m linear, comprimento e diâmetro médios de colmos de cana-de-açúcar em Latossolo Vermelho eutroférico sob preparo vertical (PV), cultivo mínimo (CM) e plantio direto (PD). Londrina – PR (2005 e 2006).

tratamento	TCH	massa por colmo (kg)	número m <sup>-1</sup>	comprimento (m)	diâmetro (cm)
2005					
PV	85,5 a	0,784	15,26 a	1,58 b	2,71 a
CM	90,2 a	0,970	13,02 a	1,85 a	2,78 a
PD	87,9 a	0,897	13,72 a	1,81 a	2,62 a
cv (%)	16,6	-	10,5	7,5	6,3
2006					
PV	110,5 a	0,978	15,82 a	1,96 a	2,88 a
CM	104,6 a	0,872	16,80 a	1,93 a	2,81 a
PD	100,2 a	0,903	15,54 a	2,07 a	2,80 a
cv (%)	20,5	-	4,8	10,0	8,6

Para cada ano separadamente, médias seguidas de mesma letra, nas colunas, não diferem entre si (Tukey 5%)

O tratamento PV, em 2005, foi estatisticamente inferior quanto ao comprimento médio de colmos, mas isso não influenciou a produtividade significativamente, provavelmente por causa da tendência de apresentar maior número de colmos; ou seja, houve boa condição para o perfilhamento, em razão da mobilização do solo e pela grande quantidade de chuva no primeiro mês (Figura 1), mas, no decorrer do ciclo, os colmos não se desenvolveram como nos outros tratamentos. BARBIERI et al. (1997), estudando preparos de solo, que foram desde o cultivo mínimo (destruição das soqueiras por herbicida + sulcamento) até o convencional (4 gradagens + subsolagem + gradagem niveladora + sulcamento),

verificaram que o cultivo convencional proporcionou maior brotação inicial. Entretanto, no decorrer do ciclo, esses autores observaram que os tratamentos se igualaram, pois o número de colmos é uma característica varietal, pouco influenciada pelo preparo de solo. No presente trabalho, houve tendência do número de colmos ser inversamente proporcional ao comprimento destes, nos dois anos avaliados (Tabela 3.5). Portanto, uma brotação com grande número de colmos pode não significar maior produtividade, pois os colmos podem concorrer entre si e pode haver mortalidade de parte dos perfilhos.

Em 2006, não houve nenhuma diferença entre os tratamentos nas avaliações biométricas (Tabela 3.5). Segundo CONTIERO (1997) e BARBIERI et al. (1997), com o preparo convencional do solo pode-se conseguir maior produtividade, principalmente no 1º ano, pela grande mobilização do solo em superfície, que favorece o enraizamento. Contudo, não se deve esquecer que manejos com menos mobilização do solo, como o cultivo mínimo, propiciam, ao longo dos anos, melhores condições do solo (GALLI, 1994; SCHAEFER et al., 2001), e que, com o passar do tempo, o efeito do preparo para a implantação é perdido em função do tráfego de tratores, caminhões e implementos (CONTIERO, 1997).

Ao avaliar todas as variáveis estudadas conjuntamente, percebe-se que a produtividade de colmos foi boa, sobretudo considerando a fertilidade química do solo (Tabela 3.2), que, nas épocas de avaliação, apresentava níveis indicativos de necessidade de correção do solo. As produtividades médias de 88 TCH (2005) e 105 TCH (2006) podem ser atribuídas às condições não restritivas de umidade e atributos físicos do solo. Esses valores de produtividade certamente seriam melhores com a correção do solo.

Apesar de não ter havido diferença estatística entre os tratamentos, as produtividades apresentadas pelos manejos devem ser consideradas economicamente. Na média dos dois anos avaliados, as produtividades foram de 98 TCH para o PV, 97,4 para o CM e 94,1 para o PD. Na determinação das práticas de manejo, deve-se levar em conta, além da produtividade, os custos de produção e a conservação do solo. Esta pode ser prejudicada, porque o cultivo convencional praticado nas usinas de cana-de-açúcar, onde se faz queima prévia e o triplice cultivo após a colheita, deixa o solo vulnerável à erosão e também pode resultar em compactação abaixo da profundidade de trabalho dos implementos.

### 3.4. Conclusão

De acordo com as condições do experimento, conclui-se que:

- o cultivo convencional resulta em menor resistência do solo à penetração até 0,2 m de profundidade;
- os manejos empregados, após 4 anos de cultivo, não diferem quanto à densidade do solo, porosidade total, micro e macroporosidade;
- não há diferença de produtividade entre os tratamentos avaliados nas primeira e segunda ressecas de cana-de-açúcar.

### 3.5. Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, CAPES, pelo apoio financeiro; ao Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement, CIRAD, pelo apoio financeiro e científico; e ao Instituto Agrônômico do Paraná, IAPAR, pelos dados climáticos fornecidos.

### 3.6. Literatura Citada

ABREU, S. L.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. Escarificação mecânica e biológica para a redução da compactação em argissolo franco-arenoso sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, p.519-531, 2004.

BARBIERI, J. L.; ALLEONI, L. R.; DONZELLI, J. L. Avaliação agronômica e econômica de sistemas de preparo de solo para cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.21, n.1, p.89-98, 1997.

BAVER, L. D.; GARDNER, W. H.; GARDNER, W. R. **Física de suelos**. UTEHA, México, 1973. 529p.

BRITO, L. FL.; SOUZA, Z. M.; MONTANARI, R.; MARQUES JUNIOR, J.; CAZETTA, D.; CALZAVARA, S. A.; OLIVEIRA, L. Influência de formas do relevo em atributos

físicos de um latossolo sob cultivo de cana-de-açúcar. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.36, n.6, p.1746-1755, 2006.

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

CHOPART, J. L.; MEZINO, M.; AURE, F.; LE MEZO, L.; METE, M.; VAUCLIN, M. OSIRI: A simple decision-making tool for monitoring irrigation of small farms in heterogeneous environments. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.87, p.128-138, 2007.

CHOPART, J. L.; VAUCLIN, M. Field test and sensitivity analysis of a model for estimating water balance of a cropped soil. **Soil Science Society American Journal**, Atlanta, v.54, p.1377-1384, 1990.

CONTIERO, R. L. Sistemas de preparo de solo para a cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum* spp): efeitos no solo e na planta. **Tese (Doutorado)**. 1997. 105p. UNESP – Botucatu.

CORRÊA, A. R.; GODOY, H.; BERNARDES, L. R. M. Características climáticas de Londrina. Londrina. **Circular Técnica IAPAR**, n.5, 2ª ed., 1982, 16p.

CORSINI, P. C.; FERRAUDO, A. S. Efeitos de sistemas de cultivo na densidade e na macroporosidade do solo e no desenvolvimento radicular do milho em latossolo roxo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.2, p.289 - 298, 1999.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análise de solo**. 2ª edição. Rio de Janeiro, 1997. 213p.

FALLEIRO, R. M.; SOUZA, C. M.; SILVA, C. S. W.; SEDIYAMA, C. S.; SILVA, A. A.; FAGUNDES, J. L. Influência dos sistemas de preparo nas propriedades químicas e físicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p.1097-1104, 2003.

FARIA, R.T.; CARAMORI, P.H. Caracterização físico-hídrica de um Latossolo Roxo distrófico do município de Londrina, PR. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.21, n.12, p.1303-1311, 1986.

GALLI, A. J. B. Benefícios do plantio direto para a cultura da cana-de-açúcar. In: I SEMINÁRIO SOBRE TECNOLOGIAS DE MANEJO DE SOLO E ADUBAÇÃO DA CANA-DE-AÇÚCAR. **Anais**. . . Ribeirão Preto, p.74-85, 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.

McNABB, D. H.; STARTSEV, A. D.; NGUYEN, H. Soil wetness and traffic level effects on bulk density and air-filled porosity of compacted boreal forest soils. **Soil Science Society of American Journal**, Atlanta, v.65, n.4, p.1238-1247, 2001.

MEDINA, C. C. Estudo da aplicação de gesso, calcário e vinhaça na produção e no enraizamento da cana-de-açúcar (*Saccharum* spp). **Tese (Doutorado)**. 1993. 204p. UNESP – Botucatu.

MEROTTO, A.; MUNDSTOCK, C.M. Wheat root growth as affected by soil strength. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.23, p.197-202, 1999.

PRADO, H. **Solos do Brasil: gênese, morfologia, classificação, levantamento, manejo**. 3ª ed. Piracicaba, 2003. 275p.

PRADO, R. M.; CENTURION, J. F. Alterações na cor e no grau de floculação de um Latossolo Vermelho-Escuro sob cultivo contínuo de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, n.1, p.197-203, 2001.

QUEIROZ-VOLTAN, R.; PRADO, H.; MORETTI, F. C. Aspectos estruturais de raízes de cana-de-açúcar sob o efeito da compactação do solo. **Bragantia**, Campinas, v.57, n.1, p.49 -55, 1998.

SCHAEFER, C. E. G. R.; SOUZA, C. M.; VALLEJOS, F. J.; VIANA, J. H. M.; GALVÃO, J. C. C.; RIBEIRO, L. M. Características da porosidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo submetido a diferentes sistemas de preparo de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, n.3, p.765-769, 2001.

SILVA, I. F.; MIELNICZUK, J. Sistemas de cultivo e características do solo afetando a estabilidade de agregados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.22, n.2, p.311-317, 1998.

SILVA, M. S. L.; RIBEIRO, M. R. Influência do cultivo contínuo da cana-de-açúcar em propriedades morfológicas e físicas de solos argilosos de Tabuleiro no Estado de Alagoas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.16, n.3, p.397-402, 1992.

SOUZA, Z. M.; CAMPOS, M. C. C.; CAVALCANTE, I. H. L.; MARQUES JUNIOR, J.; CESARIN, L. G.; SOUZA, S. R. Dependência espacial da resistência do solo à penetração e do teor de água do solo sob cultivo contínuo de cana-de-açúcar. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.36, n.1, p.128-134, 2006.

SOUZA, Z. M.; MARQUES JUNIOR, J.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo em diferentes formas de relevo sob cultivo de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, n.6, p.937-944, 2004.

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

STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.15, n.3, p.229-235, 1991.

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

#### 4. ARTIGO B: TRÊS MANEJOS FÍSICOS EM LATOSSOLO VERMELHO EM SOQUEIRA DE CANA-DE-AÇÚCAR: II. EFEITOS SOBRE O SISTEMA DE RAÍZES E CONSEQÜÊNCIAS AGRONÔMICAS

##### Resumo

Na avaliação agronômica do manejo do solo, é preciso considerar seus efeitos sobre o enraizamento das plantas, que completa as informações sobre a parte aérea da planta e as condições do solo. O objetivo deste trabalho foi avaliar o enraizamento de soqueira de cana-de-açúcar em cinco estádios de desenvolvimento, compreendendo dois anos de cultivo, e sua relação com a parte aérea das plantas, em três manejos de um Latossolo Vermelho no Paraná. O experimento foi instalado em Londrina, PR, numa área cultivada com cana-de-açúcar variedade RB 72 454, com avaliações no 3º e no 4º ciclos. Os tratamentos foram: preparo vertical (PV), com preparo de solo com escarificação e duas gradagens e escarificação e adubação incorporada nas soqueiras; cultivo mínimo (CM), com escarificação e uma gradagem no preparo e adubação incorporada nas soqueiras; e plantio direto (PD), sem preparo de solo e adubação sem incorporação nas soqueiras, distribuídos totalmente ao acaso, em 10 repetições por tratamento. A análise das raízes foi feita aos 90 e 280 dias, em 2005, e aos 60, 170 e 240 dias, em 2006, com amostras feitas pelo método do Trado, de 0 a 0,6 m de profundidade, em 2005 e 2006, e de 1,6 a 1,8 m, em 2006. Foram analisadas as densidades de comprimento e massa de raízes, além de sua profundidade máxima. Os dados foram submetidos à análise de variância e teste de médias Tukey. Também foram feitas análises de regressão, para estimar o perfil de enraizamento entre 0 e 1,8 m; e a razão entre as massas secas da parte aérea e das raízes em cada estágio vegetativo. Os resultados indicaram que não houve diferença estatística entre os tratamentos e que a cana-de-açúcar mantém quantidade de raízes pouco mutável durante o ciclo. As plantas apresentaram mais de 2000 m de raízes m<sup>-2</sup> de solo, no perfil até 0,6 m, e as raízes alcançaram 4,3 m, em 2006. A razão parte aérea/raízes passou de 3,6 (60 dias) a 13,8 (240 dias). Os 3 tratamentos são viáveis para a produção de cana-de-açúcar e as plantas exploram o solo em grandes profundidades, o que deve ser levado em conta para o cálculo do balanço hídrico e na disponibilidade de nutrientes.

Palavras-chave: *Saccharum*, raízes, cultivo mínimo, plantio direto



## THREE SOIL PHYSIC MANAGEMENT SYSTEMS ON RATOON SUGARCANE IN A RHODIC EUTRUDOX: II. EFFECTS ON ROOT SYSTEM AND AGRONOMICAL CONSEQUENCES

### Abstract

Regarding the agronomical evaluation of soil management, it is necessary to considerate its effects on plant rooting, which complets the information about the aerial portion and soil conditions. The objective of this work was to evaluate the rooting of sugarcane stalks in five development stages, in two productive cycles, and its relation with the plants aerial portion, in three managements of a Rhodic Eutrudox in Parana. The experiment was carried out in Londrina, PR, in a cultivated area of RB 72454 sugarcane variety, during its third and fourth cycles. The treatments were: vertical preparation (VP), with soil preparation using scarification, two tillages and incorporated fertilization on stalks; minimum tillage (MT), with scarification, one tillage on preparation and incorporated fertilization on stalks, and no tillage (NT) (direct planting), without soil preparation and non-incorporated fertilization on ratoons. A random design was used as a statistical model with 10 replications. The root analysis were performed 90 and 280 after soil preparation in 2005, and 60, 170 and 240 days after soil preparation in 2006. The samples were taken using the auger method (0-0.6 m deep in 2005 and 2006, and 1.6 - 1.8 m deep in 2006). The density, length, root mass and maximum root deep reached were evaluated. The data were submitted to Anova and Tukey's multiple range test. Regression analysis, to estimate the rooting profile from 0-1.8m deep, were also performed, as well the ratio between the root dry mass of the aerial portion and roots of each vegetative stage. It was observed that there was no statistical difference between treatments and the sugarcane keeps the amount of roots during its cycle. The plants showed more than 2,000 m of roots per square meter (up to 0.6 m deep) and the roots reached 4.3 m deep in 2006. The ratio aerial portion/roots ranged from 3.6 (60 days after soil preparation) to 13.8 (240 days after soil preparation). The three treatments are feasible to the sugarcane production and the plants deeply exploited the soils, what has to be considerate to calculate the hydric balance and available quantity of nutrients.

Key-words: *Saccharum*, roots, minimum tillage, no tillage.

#### 4.1. Introdução

O cultivo da cana-de-açúcar (*Saccharum* spp) no Brasil é intensivo e, muitas vezes, as práticas adotadas, a fim de suprir a indústria de matéria prima, causam efeitos negativos à parte agrícola da cadeia produtiva, em função das inúmeras operações mecanizadas no preparo do solo e no cultivo pós-colheita, levando a problemas de compactação do solo. Mas, como saber quando é necessário mobilizar o solo, para mantê-lo em boas condições de cultivo, sem causar compactação abaixo da faixa de trabalho dos implementos?

Os trabalhos que avaliam manejo, geralmente, são voltados aos atributos físicos do solo e à parte aérea das plantas, como em CONTIERO (1997) e BARBIERI et al. (1997). Poucos são os estudos que enfocam o impacto das operações motomecanizadas no enraizamento da cana-de-açúcar. Isto é justificado pela dificuldade de se estudar o sistema de raízes. Para a cana-de-açúcar, esse tipo de estudo se mostra particularmente complexo, por causa da característica semi-perene de seu cultivo, em que as plantas apresentam morte e renovação de raízes, principalmente após as colheitas. Além disso, com base nos dados disponíveis (HUMBERT, 1974; CASAGRANDE, 1991; BALL-COELHO et al., 1992; SMITH et al., 2005), não há consenso a respeito da total renovação das raízes da soqueira.

O sistema de raízes é a parte da planta que interage com o solo e, portanto, seu conhecimento é ferramenta importante no entendimento da relação solo-planta, permitindo avaliar, com mais precisão, o efeito das condições físicas e químicas do solo resultantes das atividades agrícolas. A avaliação das raízes também é pertinente para a compreensão dos efeitos do manejo sobre a parte aérea, pois, como afirmam GUIMARÃES et al. (1997), existe uma interdependência entre as raízes e a parte aérea, ligados no que se refere ao transporte de água e nutrientes. Entretanto, a relação de crescimento dessas partes pode ser muito variável, de acordo com as condições da planta e do meio ambiente (GUIMARÃES et al., 1997; SMITH et al., 2005).

O conhecimento do volume de solo explorado e a dinâmica de crescimento das raízes são fundamentais para a escolha do manejo. Então, o objetivo deste trabalho foi avaliar o enraizamento de soqueira de cana-de-açúcar em cinco estádios, compreendendo dois anos de cultivo, e sua relação com a parte

aérea das plantas, em três sistemas de manejo físico de um Latossolo Vermelho no Paraná.

## 4.2. Material e Métodos

### 4.2.1. Dispositivo e condições experimentais

O trabalho foi realizado no município de Londrina – PR, localizado à latitude 23°23'S, longitude 51°11'W e altitude média de 560 m. O clima é subtropical úmido, com precipitação média anual de 1620 mm e insolação de 7,05 h dia<sup>-1</sup> (CORRÊA et al., 1982). A cana-de-açúcar, variedade RB 72 454, implantada em 2002, foi cultivada num Latossolo Vermelho eutroférico, de textura argilosa, conforme Tabela 4.1. O presente trabalho avaliou o 3º e o 4º ciclos (2004/05 e 2005/06, respectivamente). Na época do plantio (2002), o solo apresentava, no perfil de 0 – 0,4 m: pH (CaCl<sub>2</sub>) = 5,3; 13 mg de P dm<sup>-3</sup>, 5,5 cmol<sub>c</sub> de Ca dm<sup>-3</sup>, 2,5 cmol<sub>c</sub> de Mg dm<sup>-3</sup>, 0,9 cmol<sub>c</sub> de K dm<sup>-3</sup>, com saturação de bases de 65% numa CTC de 13,6 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, sem presença de Al trocável. Na Tabela 4.2, é mostrada a análise química do solo em 2005.

Tabela 4.1. Análise granulométrica de um Latossolo Vermelho eutroférico. Londrina – PR (2008).

Prof. (m)	argila	silte g kg <sup>-1</sup>	areia
0-0,05	429	300	271
0,05-0,1	429	300	271
0,1-0,2	429	300	271
0,2-0,4	529	200	271
0,4-0,6	529	200	271
0,6-1,0	529	200	271
1,0-1,5	569	160	271
1,5-2,0	429	200	371

Análise: Laborsolo

No plantio, foram aplicados 280 kg de sulfato de amônio ha<sup>-1</sup> (20% de N), 145 kg de superfosfato triplo ha<sup>-1</sup> (45% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) e 130 kg de KCl ha<sup>-1</sup> (60% de K<sub>2</sub>O), em toda a área. Após a 1<sup>o</sup> colheita, em outubro de 2003, foram aplicados 220 kg de uréia ha<sup>-1</sup> (45% de N). Logo em seguida aos 2<sup>o</sup> e 3<sup>o</sup> cortes, foram aplicados 150 kg de uréia ha<sup>-1</sup>.

Tabela 4.2. Análise química de um Latossolo Vermelho eutroférico. Londrina – PR (2005).

Prof. (m)	P mg dm <sup>-3</sup>	MO g dm <sup>-3</sup>	pH CaCl <sub>2</sub>	Al	H+Al	Ca	Mg	K	Na	S	T	V	Al %
						cmolc dm <sup>-3</sup>							
0-0,05	18,9	31,0	5,0	0,01	4,65	3,30	1,76	0,58	0,02	5,7	10,3	54,8	0,1
0,05-0,1	14,3	31,2	5,1	0,01	4,65	3,32	1,70	0,42	0,01	5,5	10,1	54,0	0,1
0,1-0,2	14,2	27,6	5,1	0,00	4,33	3,52	1,66	0,23	0,01	5,4	9,7	55,6	0,0
0,2-0,4	3,8	26,5	5,2	0,00	4,62	2,47	1,06	0,07	0,01	3,6	8,2	43,9	0,0
0,4-0,6	3,8	24,7	5,3	0,00	4,44	2,85	1,01	0,05	0,01	3,9	8,4	46,9	0,0
0,6-1,0	2,0	15,8	5,6	0,00	3,91	3,07	0,28	0,03	0,00	3,4	7,3	46,4	0,0
1,0-1,5	1,6	29,1	5,5	0,00	3,74	2,77	0,45	0,03	0,00	3,3	7,0	46,5	0,0
1,5-2,0	0,6	34,7	4,7	0,00	4,51	0,66	0,44	0,03	0,00	1,1	5,6	20,0	0,0

P, K, Na: Mehlich-I; Ca, Mg, Al: KCl 1N; pH: CaCl<sub>2</sub> 0,01 M; S = soma de bases; T = capac. de troca de cátions; V = sat. por bases; MO = matéria orgânica.

A distribuição de chuvas é apresentada na Figura 4.1, mostrando a diferença no regime hídrico entre os dois ciclos de avaliação, a partir dos dados fornecidos pelo IAPAR (Instituto Agrônômico do Paraná, Londrina).

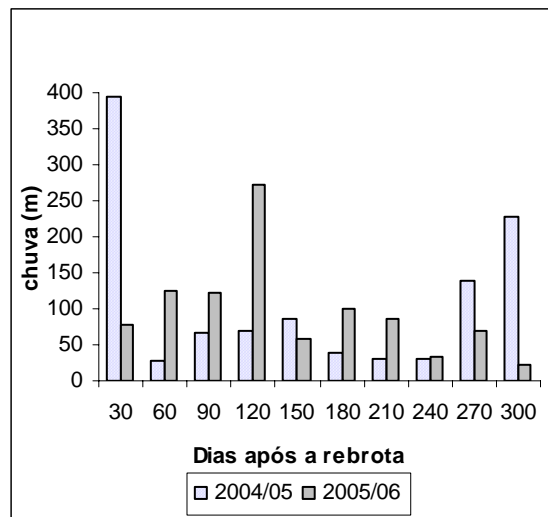


Figura 4.1. Quantidade de chuvas em mm nos ciclos 2004/05 e 2005/06. Fonte: IAPAR, Londrina.

A resistência do solo à penetração, realizada em maio de 2005 e julho de 2006, foi estudada em 10 repetições por tratamento, onde cada repetição foi representada por um ponto por parcela, escolhido ao acaso nas entrelinhas de cana-de-açúcar (Tabela 4.3), com o número de impactos transformados em MPa (megapascal) (STOLF, 1991).

Tabela 4.3. Resistência do solo à penetração (RP) e umidade gravimétrica (UG) de um Latossolo Vermelho eutroférrico, cultivado com cana-de-açúcar sob três tratamentos – preparo vertical (PV), cultivo mínimo (CM) e plantio direto (PD). Londrina – PR (2005 e 2006).

	PV	CM	PD	PV	CM	PD
	RP (MPa)			UG (%)		
Prof (m)	2005					
0-0,1	1,5 a	2,7 b	5,1 c	20	27	29
0,1-0,2	3,5 a	5,8 b	6,4 b	21	28	29
0,2-0,4	4,2 a	5,0 a	4,3 a	28	28	37
0,4-0,6	3,9 a	3,8 a	3,8 a	30	30	33
cv (%)	32					
Prof (m)	2006					
0-0,1	2,5 a	7,9 b	6,1 b	15	16	16
0,1-0,2	5,4 a	9,6 b	8,9 b	17	17	17
0,2-0,4	7,0 a	7,3 a	6,8 a	20	20	19
0,4-0,6	5,8 a	6,0 a	5,7 a	21	20	22
cv (%)	38					

Médias seguidas de letras iguais, na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey (5% de significância).

#### 4.2.2. Tratamentos

Foram três tratamentos, distribuídos totalmente ao acaso: preparo vertical (PV), cultivo mínimo (CM) e plantio direto (PD), em 10 repetições, com parcelas de quatro linhas com 30 m de comprimento, espaçadas em 1,4 m. Antes do plantio, realizado em junho de 2002, foram feitas as operações de preparo do solo e, em 2004 e 2005, os tratamentos foram diferenciados nos tratos culturais das ressorcas.

Para o PV, no preparo de solo, em junho de 2002, foi realizada uma gradagem pesada com grade de arrasto de 32 discos, a 0,2 m de profundidade; logo após, foi feita uma escarificação com escarificador de cinco hastes (duas à frente e três atrás), espaçadas em 0,4 m, trabalhando na profundidade limitada de 0,3 m; por último, foi feita uma gradagem niveladora com grade em “V” de 34 discos, na profundidade de 0,15 m. O sulco de plantio foi feito com sulcador de uma linha, a 0,25 m de profundidade. Não houve operações de mobilização do solo na soqueira; após o corte das primeira e segunda ressorcas, em dezembro de 2004 e em novembro de 2005, retirou-se a palha, fazendo-se escarificação com escarificador de três hastes (uma à frente e duas atrás), passando entre as linhas de cana-de-açúcar a uma profundidade limitada de 0,3 m, com adubação feita imediatamente após a escarificação, incorporando o fertilizante a 0,05 m de profundidade, com o uso de uma semeadora de plantio direto adaptada para fazer a adubação próximo às linhas de cana-de-açúcar.

No preparo de solo para o CM, foram feitas uma gradagem pesada, gradagem niveladora e sulco para plantio, utilizando-se os mesmos implementos do tratamento PV; nos tratos culturais das primeira e segunda ressorcas, a palha foi mantida e a adubação foi feita com a semeadora de milho, incorporando-se o fertilizante. Já para o PD, foram feitos somente o sulco para plantio e, nas primeira e segunda ressorcas, adubação próximo às linhas de cana-de-açúcar sobre a palhada, utilizando-se a mesma semeadora de milho, mas sem incorporar o fertilizante. Nos três sistemas de manejo, o número de capinas foi o mesmo e não houve tratamento fitossanitário.

### 4.2.3. Amostragens das raízes

As amostragens de raízes das plantas foram feitas em cinco estádios de vegetação, em dois ciclos da cana-de-açúcar: 2005, aos 90 e 280 dias após a rebrota; e 2006, aos 60, 170 e 240 dias. Para a quantificação das raízes, feita em quatro repetições por tratamento e por estádio, com o método do Trado cilíndrico (0,074 m de diâmetro) (BÖHM, 1979). Como o espaçamento era de 1,4 m, avaliou-se até a metade da entrelinha (0,7 m) nos seguintes intervalos: 0 - 0,23; 0,23 - 0,47; e 0,47 - 0,7 m da touceira, amostrando-se no meio de cada intervalo (0,11, 0,35 e 0,58 m). As coletas foram feitas nas profundidades de 0 a 0,6 m, e de 1,6 a 1,8 m (esta somente em 2006), em amostras de 0,1 m de profundidade (volume individual igual de  $0,43 \text{ dm}^{-3}$ ). Posteriormente, os dados foram agrupados por camada de solo, onde, em cada profundidade, a média das três distâncias compreendeu uma repetição.

Após a coleta, o solo contendo as raízes foi levado ao laboratório, para separação das raízes. Cada amostra foi colocada em um balde plástico com água e agitada com um pedaço de madeira; em seguida, a água e as raízes em suspensão foram vertidas numa peneira com malha de 1 mm. Essa operação foi repetida até não haver mais raízes. As raízes aparentemente mortas foram descartadas.

Depois desse procedimento, as raízes foram imersas em solução contendo azul de metileno - a fim de homogeneizá-las e protegê-las da ação de organismos decompositores, e colocadas em papel toalha. A secagem das raízes foi realizada em estufa de ventilação forçada, a  $50 \text{ }^\circ\text{C}$ , durante 3 dias.

Também foi avaliada a profundidade máxima das raízes, cavando-se junto à parede do perfil, numa área de aproximadamente  $1 \text{ m}^2$ , aos 300 dias, em 2005, e aos 240 dias, em 2006, em 1 repetição por tratamento. Amostrou-se 4 L de solo, a cada 0,1 m de profundidade, fazendo-se a triagem do solo sobre um saco de polietileno branco. Quando não foi encontrada nenhuma raiz na amostra, o procedimento foi repetido para confirmação da ausência de raízes.

#### 4.2.4. Avaliações

Imediatamente após a retirada das amostras de raízes da estufa, estas foram pesadas em balança de precisão para a determinação da massa seca. A avaliação do comprimento foi feita utilizando-se o software ANALYRA<sup>®</sup>, desenvolvido pelo CIRAD (Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement, França). Esse programa usa a metodologia desenvolvida por NEWMAN (1966), modificada por TENNANT (1975), de forma virtual sobre as imagens digitais das raízes.

Para a obtenção das imagens digitais, as raízes, depois de secas e pesadas, foram colocadas numa bandeja branca de plástico e re-hidratadas, aplicando-se uma fina lâmina d'água. Na bandeja, foi colocado um círculo de borracha preta com diâmetro conhecido, que serviu como escala. Em seguida, a bandeja foi colocada em uma caixa de papelão para evitar o excesso de luminosidade e os reflexos do ambiente. A câmera fotográfica digital foi fixada sobre a caixa, de maneira que a lente ficasse paralela à bandeja, e as fotografias foram tiradas com o flash acionado, com resolução de 1,2 megapixels. As imagens foram trabalhadas no software Corel Photo Paint 12, da Microsoft<sup>®</sup>, para transformá-las em 256 tons de cinza na extensão TIFF, que é o tipo padrão para imagens trabalhadas no ANALYRA.

Quanto à biometria, nos 3<sup>o</sup> e 4<sup>o</sup> cortes (2005 e 2006, respectivamente) foi avaliada, em 10 repetições por tratamento, a produtividade de colmos em toneladas de colmos por hectare (TCH), colhendo-se 2 linhas x 4 m de comprimento em cada parcela, aos 300 dias após a rebrota.

Para avaliação da relação entre as matérias secas da parte aérea e das raízes, foram feitas coletas dos colmos e das folhas (secas e verdes) em quatro épocas diferentes (280 – 2005; 60, 170 e 240 dias - 2006), em 1 m na linha de cana-de-açúcar, em 3 repetições por tratamento. O delineamento experimental foi totalmente casualizado, com os resultados sendo submetidos à análise de variância, e as médias comparadas pelo teste de Tukey (5% de significância), e por análise de regressão.



### 4.3. Resultados e Discussão

#### 4.3.1. Raízes

O sistema de raízes da cana-de-açúcar se desenvolveu até 4,3 m de profundidade. Em 2005, as raízes atingiram 4 m no PV, enquanto que no CM e no PD chegaram a 3,9 m de profundidade. Em 2006, a profundidade máxima foi de 4 m no PV, 3,7 m no CM e 4,3 m no PD (Tabela 4.4). Foi possível observar que as raízes estavam vivas, pois se apresentavam tenras e exsudavam água. Essa avaliação revelou que a cana-de-açúcar explora um grande volume de solo; e que a profundidade máxima das raízes, superior a 4 m, possibilita que as plantas tenham acesso às reservas de água, provavelmente inatingíveis para culturas anuais. Isso indica que a cana-de-açúcar pode, comparativamente às culturas anuais, suportar melhor períodos de restrição de água no solo. Outra vantagem do vigor do seu enraizamento é a possibilidade de recuperar nutrientes lixiviados, como K e N, por exemplo.

Tabela 4.4. Profundidade máxima das raízes de cana-de-açúcar cultivada em Latossolo Vermelho eutroférico sob preparo vertical (PV), cultivo mínimo (CM) e plantio direto (PD), aos 300 dias (2005) e 240 dias após a rebrota (2006). Londrina – PR.

	PV	CM	PD
ano	prof (m)		
2005	4,0	3,9	3,9
2006	4,0	3,7	4,3

Em 2005 e 2006, avaliando-se o comprimento ( $\text{cm cm}^{-3}$  de solo) e a massa seca ( $\text{mg cm}^{-3}$  de solo) de raízes, entre 0 – 0,6 m e 1,6 – 1,8 m de profundidade, observou-se que não houve diferença significativa entre os três tratamentos, em nenhuma profundidade ou época de avaliação (Tabelas 4.5 e 4.6).

Tabela 4.5. Densidade de comprimento ( $\text{cm cm}^{-3}$ ) de raízes de cana-de-açúcar, cultivada sob 3 manejos de solo – preparo vertical (PV), cultivo mínimo (CM) e plantio direto (PD), em Latossolo Vermelho eutroférico. Londrina – PR (2005 e 2006).

Ano	Estádio	Prof (m)	cm de raízes $\text{cm}^{-3}$ de solo			cv (%)
			PV <sup>ns</sup>	CM <sup>ns</sup>	PD <sup>ns</sup>	
2005	90 dias	0,0 – 0,1	1,10	0,47	0,89	57
		0,1 – 0,2	0,62	0,38	0,45	56
		0,2 – 0,4	0,37	0,28	0,35	47
		0,4 – 0,6	0,40	0,19	0,28	35
	280 dias	0,0 – 0,1	0,82	0,83	0,82	33
		0,1 – 0,2	0,58	0,52	0,39	31
		0,2 – 0,4	0,35	0,28	0,24	39
		0,4 – 0,6	0,26	0,32	0,16	43
2006	60 dias	0,0 – 0,1	0,71	0,51	0,57	30
		0,1 – 0,2	0,42	0,29	0,41	62
		0,2 – 0,4	0,24	0,20	0,32	29
		0,4 – 0,6	0,24	0,21	0,26	29
		1,6 – 1,8	0,11	0,16	0,09	79
	170 dias	0,0 – 0,1	1,06	0,83	0,69	45
		0,1 – 0,2	0,6	0,48	0,34	40
		0,2 – 0,4	0,35	0,35	0,24	42
		0,4 – 0,6	0,24	0,24	0,17	41
		1,6 – 1,8	0,05	0,15	0,09	74
240 dias	0,0 – 0,1	0,71	0,57	0,89	32	
	0,1 – 0,2	0,65	0,52	0,50	38	
	0,2 – 0,4	0,46	0,36	0,40	26	
	0,4 – 0,6	0,26	0,24	0,29	20	
	1,6 – 1,8	0,10	0,07	0,10	11	

<sup>ns</sup>: não significativo entre tratamentos, em nenhuma profundidade, pelo teste Tukey (5% de significância).

A variabilidade dos resultados é grande, como se vê pelos coeficientes de variação, justificando a ausência de diferenças estatísticas entre os manejos. O coeficiente de variação, neste caso, é alto devido à grande variabilidade espacial do enraizamento. Percebe-se diminuição da densidade de raízes em função da profundidade; mas, de toda forma, não se pode negligenciar a quantidade de raízes entre 1,6 e 1,8 m. Os resultados concordam com SMITH et al. (2005), que afirmam que a distribuição das raízes de cana-de-açúcar é similar às outras gramíneas tropicais, com declínio de biomassa e densidade de comprimento de raízes (RLD – root length density) em profundidade, mas com grande variação no

tamanho e na densidade máxima de raízes. Por esse motivo, torna-se complexo diferenciar efeitos de meio ambiente.

A massa seca de raízes segue o mesmo padrão de distribuição do comprimento, sem diferença entre os tratamentos (Tabela 4.6), mas apresentando maior variabilidade nos resultados

Tabela 4.6. Densidade de massa seca ( $\text{mg cm}^{-3}$ ) de raízes de cana-de-açúcar, cultivada sob 3 manejos de solo – preparo vertical (PV), cultivo mínimo (CM) e plantio direto (PD), em Latossolo Vermelho eutroférico. Londrina – PR (2005 e 2006).

Ano	Estádio	Prof (m)	mg de raízes $\text{cm}^{-3}$ de solo			cv (%)
			PV <sup>ns</sup>	CM <sup>ns</sup>	PD <sup>ns</sup>	
2005	90 dias	0,0 – 0,1	0,99	0,76	0,81	46
		0,1 – 0,2	0,67	0,66	0,39	29
		0,2 – 0,4	0,53	0,48	0,29	36
		0,4 – 0,6	0,48	0,29	0,47	25
	280 dias	0,0 – 0,1	0,55	0,52	0,64	34
		0,1 – 0,2	0,73	0,56	0,50	47
		0,2 – 0,4	0,39	0,56	0,33	45
		0,4 – 0,6	0,41	0,29	0,22	73
	60 dias	0,0 – 0,1	0,43	0,45	0,45	37
		0,1 – 0,2	0,35	0,40	0,33	59
		0,2 – 0,4	0,19	0,28	0,38	45
		0,4 – 0,6	0,18	0,26	0,30	37
1,6 – 1,8		0,12	0,18	0,07	84	
2006	170 dias	0,0 – 0,1	0,71	0,60	0,66	40
		0,1 – 0,2	0,54	0,46	0,47	46
		0,2 – 0,4	0,30	0,34	0,31	51
		0,4 – 0,6	0,19	0,22	0,21	35
		1,6 – 1,8	0,11	0,11	0,12	70
240 dias	0,0 – 0,1	0,36	0,33	0,69	49	
	0,1 – 0,2	0,52	0,46	0,63	49	
	0,2 – 0,4	0,51	0,43	0,47	46	
	0,4 – 0,6	0,30	0,23	0,30	34	
	1,6 – 1,8	0,05	0,07	0,08	67	

<sup>ns</sup>: não significativo entre tratamentos, em nenhuma profundidade, pelo teste Tukey (5% de significância).

Pelos resultados, entre as várias épocas de avaliação, pode-se afirmar que a cana-de-açúcar apresentou enraizamento uniforme ao longo do ciclo,

não havendo mais raízes quanto mais avançado o estágio das plantas, tanto para o comprimento, quanto para a massa seca de raízes. Esses resultados concordam com ALVAREZ et al. (2000), que avaliaram o enraizamento de cana-de-açúcar colhida crua e queimada, em 19 amostragens durante dois anos, não encontrando diferença de quantidade de raízes entre as épocas de avaliação.

GLOVER (1968), num experimento feito em vasos, com solos de texturas diferentes, também verificou que as raízes são totalmente renovadas, mas concluiu que as raízes antigas mantêm certa atividade até sua morte, o que favorece o crescimento e desenvolvimento dos colmos da soqueira, enquanto o novo sistema de raízes não está totalmente formado. Ainda segundo GLOVER (1968), essas raízes ajudam na absorção de água, principalmente em profundidade, sendo fundamentais quando ocorre um período de seca após a colheita, já que as raízes novas estão distribuídas apenas superficialmente.

Já SMITH et al. (2005) afirmam que a colheita da cana-de-açúcar causa morte parcial das raízes, existindo evidências de que parte das raízes do ciclo anterior permanecem vivas, possibilitando melhores condições para a nova soqueira. Esses autores consideram que, com as informações disponíveis, não se pode saber se existem efeitos genético ou ambiental sobre a morte de raízes após a colheita, ou se a renovação das raízes é contínua durante o ciclo vegetativo. Portanto, o balanço de carbono da parte subterrânea da cana-de-açúcar é pouco conhecido.

Para melhor entendimento, e como não houve diferença entre as datas de avaliação, foram feitos os perfis médios de comprimento e massa seca de raízes, por profundidade, para cada tratamento, para os dois anos avaliados (Figura 4.2).

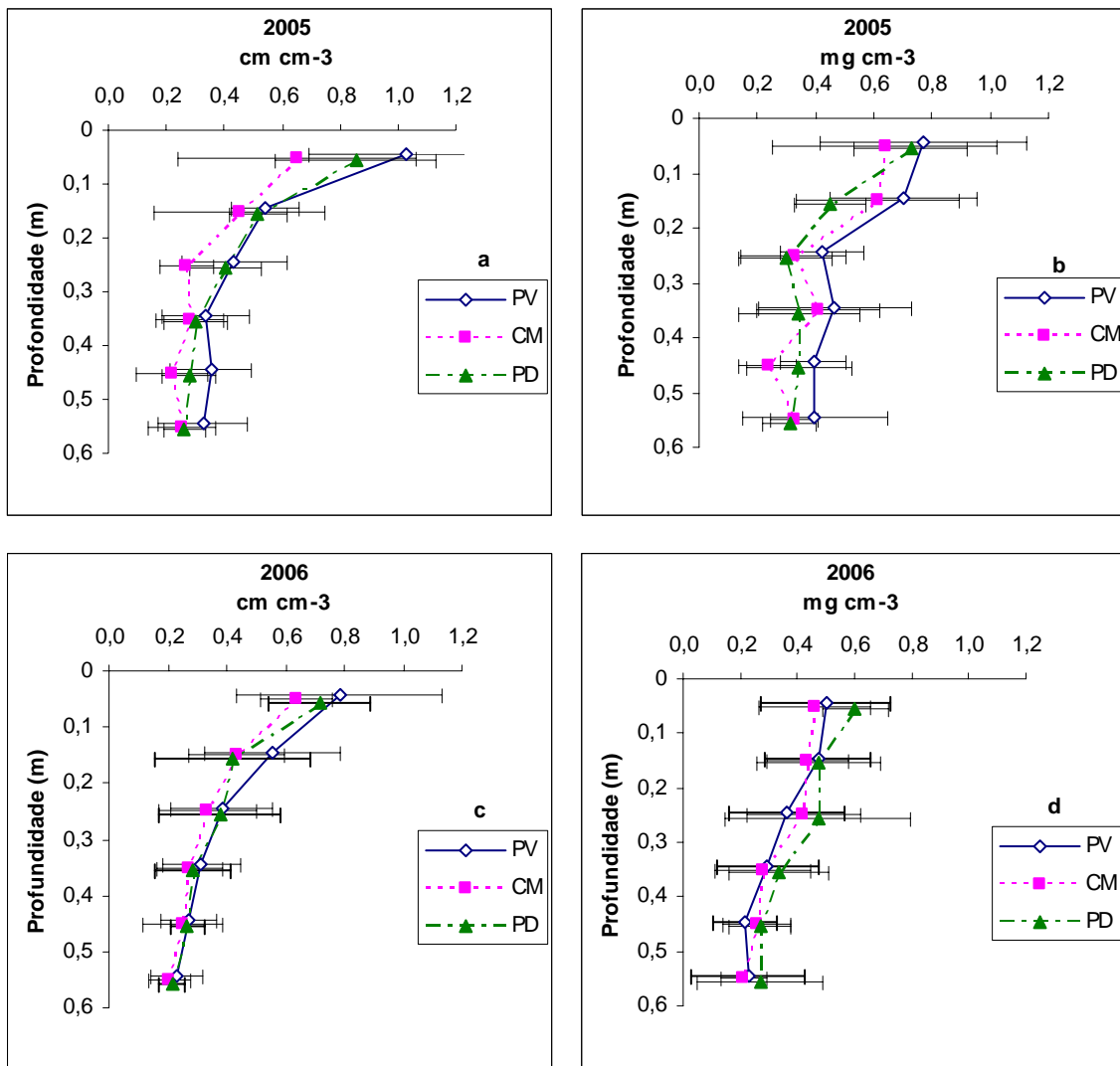


Figura 4.2. Comprimento e massa seca de raízes (cm e mg cm<sup>-3</sup> de solo, respectivamente) de cana-de-açúcar cultivada sob preparo vertical (PV), cultivo mínimo (CM) e plantio direto (PD), em Latossolo Vermelho eutroférrico, nos anos de 2005 (a e b) e 2006 (c e d). Londrina – PR.

Os resultados das amostras de 1,6 a 1,8 m de profundidade, coletadas em 2006, também não apresentaram diferença significativa (Tabelas 4.5 e 4.6). Nessa profundidade, os valores encontrados mostraram que as plantas exploram o solo em profundidade, e isto serve, principalmente, para cálculo de balanço hídrico e recomendação de irrigação. Para VASCONCELOS & GARCIA (2005), a exploração em profundidade é uma das diferenças entre a cana-planta e as soqueiras. Segundo eles, a cana-planta explora mais intensamente a superfície do solo, enquanto que as soqueiras o fazem até maiores profundidades. Esses

autores encontraram grande quantidade de raízes a 2,4 m, em cana-de-açúcar de 8 anos, avaliando o enraizamento pelo método da parede do perfil (BÖHM, 1979).

O enraizamento das soqueiras não foi alterado pelos sistemas de preparo e manejo do solo. Nas médias por profundidade, o comprimento e a massa seca de raízes mantêm a mesma relação entre si, em todo o perfil do solo (dados não apresentados), o que significa que o comprimento específico (razão entre o comprimento e a massa de raízes, expressa em  $\text{m g}^{-1}$  de raízes) é constante. O diâmetro médio das raízes, aferido através do programa ANALYRA, foi de 1,17 mm, com desvio-padrão de 0,35 mm.

A partir dos dados de 0 a 0,6 e de 1,6 a 1,8 m de profundidade, coletados em 2006, foram ajustados modelos para completar o perfil de enraizamento entre 0,6 e 1,6 m, considerando a média dos três tratamentos e das três datas conjuntamente (Figura 4.3).

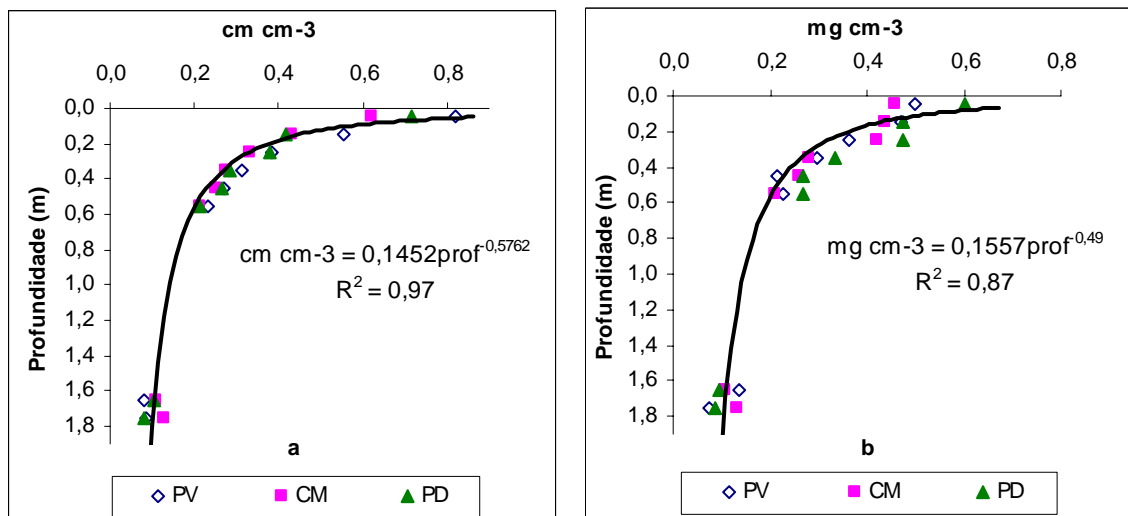


Figura 4.3. Regressões para comprimento ( $\text{cm cm}^{-3}$  de solo) (a) e massa seca de raízes ( $\text{mg cm}^{-3}$  de solo) (b) de cana-de-açúcar cultivada em Latossolo Vermelho eutroférico sob preparo vertical (PV), cultivo mínimo (CM) e plantio direto (PD), em função da profundidade. Londrina – PR (2006).

As regressões obtidas explicam a relação entre o comprimento e a massa seca de raízes e a profundidade, com alto  $R^2$  (Figura 4.3), sendo significativas ( $p < 0,05$ ), e permitiram estimar a quantidade de raízes nas profundidades em que o solo não foi amostrado. Pelos resultados, verificou-se que a

densidade de raízes foi ajustada segundo equações potenciais (Figura 4.3).

Calculou-se, então, o comprimento e a massa seca totais de raízes, por  $m^2$ , para as profundidades de 0 – 0,6 m, e a estimativa desses mesmos parâmetros, entre 0 – 1,8 m, utilizando-se as regressões da Figura 4.3. Como não houve diferença entre os tratamentos, são apresentados os valores médios dos 3 manejos, para cada data, na Tabela 4.7.

Tabela 4.7. Comprimento ( $m m^{-2}$  de solo) e massa seca ( $g m^{-2}$  de solo) totais de raízes de cana-de-açúcar cultivada em Latossolo Vermelho eutroférico sob preparo vertical (PV), cultivo mínimo (CM) e plantio direto (PD), nos anos de 2005 (90 e 280 dias) e 2006 (60, 170 e 240 dias), considerando os perfis de 0 – 0,6 e de 0 – 1,8 m de profundidade, Londrina – PR.

ano	Estádio (dias)	tratamento	comprimento de raízes ( $m m^{-2}$ )		massa seca de raízes ( $g m^{-2}$ )	
			0 - 0,6 m	0 - 1,8 m*	0 - 0,6 m	0 - 1,8 m*
2005	90	PV	2994 a	-	296 a	-
		CM	1764 a	-	290 a	-
		PD	3037 a	-	272 a	-
	280	PV	2592 a	-	204 a	-
		CM	2415 a	-	220 a	-
		PD	1953 a	-	216 a	-
2006	60	PV	1986 a	3617	169 a	345
		CM	1627 a	3371	207 a	396
		PD	2196 a	3789	243 a	409
	170	PV	2833 a	4357	222 a	396
		CM	2485 a	4200	218 a	392
		PD	1857 a	3465	218 a	394
	240	PV	2789 a	4402	250 a	412
		CM	2289 a	3856	210 a	377
		PD	2781 a	4396	286 a	455
cv(%)			28,8		32,3	

\*Estimativa.

Médias seguidas de mesma letra, nas linhas, não diferem entre si pelo teste Tukey (5% de significância).

Os resultados não apresentaram diferença estatística. De maneira geral, o comprimento e a massa seca de raízes, de 0 a 0,6 m de profundidade, representam, respectivamente, 60,2% e 58,9% do total estimado até 1,8 m de profundidade; assim, observou-se, através da estimativa, que cerca de 40% das raízes estariam abaixo de 0,6 m profundidade, as quais, freqüentemente, não são contabilizadas. A partir dessa estimativa, foi constatado que a cana-de-açúcar tive

até 4402 m de raízes até 1,8 de profundidade (Tabela 4.7).

O valor médio estimado da massa seca de raízes, até 1 m de profundidade, pelas equações da Figura 4.2b, foi, na média, de 0,29 mg de raízes  $\text{cm}^{-3}$ , resultado semelhante aos obtidos por de ALVAREZ et al. (2000), que, avaliando a variedade SP 70 - 1143 pelo método do Trado até 1 m de profundidade, encontraram média de 0,28 mg  $\text{cm}^{-3}$  para cana crua e 0,27 mg  $\text{cm}^{-3}$  para cana queimada, no 1º ano de avaliação, e média de 0,20 mg  $\text{cm}^{-3}$  para cana crua e 0,22 mg  $\text{cm}^{-3}$  para cana queimada, no 2º ano.

Outros trabalhos sobre raízes de cana-de-açúcar avaliaram profundidades menores, como VASCONCELOS et al. (2003), até 0,80 m, AZEVEDO (2004), até 0,6 m, e PAULINO et al. (2004), até 0,50 m, justificado pelo fato dos tratamentos avaliados por estes autores não terem efeito no enraizamento, abaixo dessas profundidades. A quantificação de raízes em profundidade, apesar da dificuldade em decorrência do trabalho empregado, é importante; porém, não há trabalhos publicados a esse respeito para as variedades em uso, o que é determinante para se conhecer a exploração do solo pela cultura, as diferenças entre genótipos quanto à quantidade e eficácia das raízes, bem como entre condições ambientais, o que serviria para programas de melhoramento genético, uso racional da água de irrigação e avaliação do manejo do solo, como afirmam CASAGRANDE (1991), SMITH et al. (2005) e VASCONCELOS & GARCIA (2005).

#### **4.3.2. Relação entre parte aérea e raízes**

Os dados de produtividade estão na Tabela 4.8. Não foi observada diferença estatística entre os tratamentos; a diferença entre 2005 e 2006 foi em razão da distribuição de chuvas (Figura 4.1).



Tabela 4.8. Toneladas de colmos por hectare (TCH) em preparo vertical (PV), cultivo mínimo (CM) e plantio direto (PD), em Latossolo Vermelho eutroférico. Londrina – PR (2005 e 2006).

Tratamento	TCH	
	2005	2006
PV	85,5 a	110,5 a
CM	90,2 a	104,6 a
PD	87,9 a	100,2 a
cv (%)	16,6	20,5

Para cada ano separadamente, médias seguidas de mesma letra, nas colunas, não diferem entre si (Tukey 5%).

Não havendo diferença estatística entre os sistemas de manejo quanto à produtividade e à quantidade de raízes, a relação entre a massa seca da parte aérea e a massa seca das raízes foi realizada com a médias dos três tratamentos (Tabela 4.9). Pode-se observar, a partir dos dados de 2006, o grande aumento de matéria seca da parte aérea entre 60 e 240 dias. No entanto, o aumento da massa de raízes foi bem menor durante o ciclo, o que significa que a soqueira apresentou exploração do solo pouco variável. A relação entre a massa seca de colmos e folhas e a massa seca de raízes variou de 6,2 a 22,4, quando se considerou o perfil de 0 a 0,6 m de profundidade, e de 3,6 a 13,8, na estimativa de 0 a 1,8 m de profundidade.

Tabela 4.9. Relação entre as massas secas da parte aérea e das raízes de cana-de-açúcar cultivada em Latossolo Vermelho eutroférico, em 2005 (280 dias) e 2006 (60, 170 e 240 dias), considerando os perfis de solo de 0 – 0,6 e de 0 – 1,8 m de profundidade. Londrina - PR.

	2005		2006	
	280 dias	60 dias	170 dias	240 dias
	kg de matéria seca m <sup>-2</sup>			
Parte aérea	4,02	1,28	4,53	5,56
Raízes 0 – 0,60 m	0,213	0,206	0,219	0,248
Aérea/raízes (0,60 m)	18,9	6,2	20,7	22,4
Raízes 0 – 1,80 m*		0,359	0,372	0,402
Aérea/raízes (1,80 m)		3,6	12,2	13,8

\*Estimativa

Os resultados de crescimento da parte aérea concordaram com GAVA et al. (2001). Eles encontraram uma taxa de crescimento lenta até 60 dias após o corte, um grande acúmulo entre 60 e 210 dias. A partir de 210 dias, consideraram como período de maturação, no qual não há grande acúmulo de matéria seca, mas uma transformação dos metabólitos em açúcares.

A proporção das raízes em relação aos colmos depende de vários fatores, os quais afetam o crescimento e o desenvolvimento de ambas as partes (GUIMARÃES et al., 1997; SMITH et al., 2005). De toda forma, um enraizamento bem desenvolvido tem o efeito de aumentar o crescimento dos colmos e, conseqüentemente, a produtividade. O melhor conhecimento das relações entre parte aérea e parte subterrânea é importante para se fazer o balanço de carbono completo da cana-de-açúcar, o que ainda hoje não é possível fazer com segurança, uma vez que não existe conhecimento suficiente sobre o enraizamento (SMITH et al., 2005).

De acordo com os resultados do presente trabalho, a produtividade da cana-de-açúcar (Tabela 4.8), que é o objetivo principal do seu cultivo, foi mais influenciada pelas condições climáticas (Figura 4.1), visto as diferenças de rendimento entre os 2 anos, do que pelos manejos empregados, que não foram diferentes entre si. O enraizamento também não foi diferente entre os tratamentos; mas, ao contrário da parte aérea, houve pequena diferença entre os ciclos avaliados. Os manejos foram diferentes em relação à resistência do solo à penetração, em que o PV resultou em menor resistência do solo à penetração nas camadas superficiais, obviamente em função da mobilização anual da camada arável. Contudo, isso não acarretou maior produção de massa de colmos por hectare.

A quantidade de raízes no perfil do solo foi constante, seja por conta da manutenção das raízes do ciclo anterior, seja pela renovação do sistema de raízes, o que ainda não é claro, nem para as raízes em superfície, nem para as raízes em profundidade. A profundidade máxima das raízes passou dos 4 m e verificou-se grande quantidade de raízes até 1,8 m de profundidade, revelando que a cana-de-açúcar explorou um grande volume de solo, sendo, desta forma, uma planta capaz de absorver nutrientes em profundidade e suportar períodos de restrição hídrica. O fato de não ter havido diferença na exploração do solo pelas raízes, entre estádios de vegetação, e mesmo entre anos com condições hídricas

diferentes, mostra que a má distribuição de chuvas no 1º ano não afetou o desenvolvimento radicular, mas somente a quantidade de água disponível no volume de solo ocupado pelas plantas, explicando o menor rendimento em 2005. A quantificação das raízes foi um excelente indicador do estado do solo para o desenvolvimento das plantas, porque, mesmo com altos valores de resistência do solo à penetração nos tratamentos com menor revolvimento do solo, esses não apresentaram rendimento diferente do manejo convencional. A igualdade de desenvolvimento das plantas indicou que a mobilização do solo realizada no PV não resultou em melhorias significativas nos seus atributos, em comparação aos tratamentos CM e PD.

#### **4.4. Conclusão**

De acordo com as condições experimentais, conclui-se que:

- nas soqueiras, a densidade de raízes por volume de solo não difere significativamente durante todo o ciclo da cana-de-açúcar;
- os sistemas de manejo físico do solo não influenciam no desenvolvimento das raízes da cana-de-açúcar, mesmo apresentando resistência do solo à penetração diferentes;
- não há diferença de enraizamento entre os tratamentos avaliados; portanto, o cultivo mínimo e o plantio direto são alternativas ao cultivo convencional;
- o Latossolo Vermelho é bem explorado pelas raízes até 1,8 m de profundidade; deve-se, então, levar em conta a grande reserva hídrica associada a esta profundidade radicular no cálculo do balanço hídrico;
- as raízes de cana-de-açúcar ultrapassam os 4 m de profundidade, indicando que a profundidade efetiva das raízes, em solo profundo, vai além dos horizontes superficiais;
- a quantificação das raízes esclarece porque não há diferença de produtividade entre os manejos testados, mesmo em condições diferentes de resistência à penetração, sendo um parâmetro essencial para a tomada de decisão que envolve práticas de cultivo.

#### 4.5. Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, CAPES, pelo apoio financeiro; ao Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement, CIRAD, pelo apoio financeiro e científico; e ao Instituto Agrônomo do Paraná, IAPAR, pelos dados climáticos fornecidos.

#### 4.6. Literatura Citada

ALVAREZ, I. A.; CASTRO, P. R. C.; NOGUEIRA, M. C. S. Crescimento de raízes de cana crua e queimada em dois ciclos. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.57, n.4, p.653-659, 2000.

AZEVEDO, M. C. B. Preparo do solo para plantio de cana-de-açúcar em latossolo vermelho eutroférico. 2004. 45p. **Dissertação (Mestrado)**. Universidade Estadual de Londrina.

BALL-COELHO, B.; SAMPAIO, E. V. S. B.; TIESSEN, H.; STEWART, J. W. B. Root dynamics in plant and ratoon of sugar cane. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.142, p.297-305, 1992.

BARBIERI, J. L.; ALLEONI, L. R.; DONZELLI, J. L. Avaliação agrônômica e econômica de sistemas de preparo de solo para cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 21, n. 1, p. 89-98, 1997.

BÖHM, W. **Methods of studying root systems**. Springer-Verlag, New York, 1979. 188p.

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

CONTIERO, R. L. Sistemas de preparo de solo para a cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum* spp): efeitos no solo e na planta. 1997, 105p. **Tese (Doutorado)**. UNESP – Botucatu.

CORRÊA, A. R.; GODOY, H.; BERNARDES, L. R. M. Características climáticas de Londrina. Londrina. **Circular Técnica IAPAR**, n.5, 2ª ed., 1982, 16p.

GAVA, G. J. C., TRIVELIN, P. C. O., OLIVEIRA, M. W., PENATTI, C. P. Crescimento e acúmulo de nitrogênio em cana-de-açúcar cultivada em solo coberto com palhada.

**Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, n.11, p.1347-1354, 2001.

GLOVER, J. The behavior of the root-system of sugarcane at and after harvest. **Proceedings of The South African Technologists' Association**, KwaZulu-Natal, v.42, p.133-135, 1968.

GUIMARÃES, M. F.; BALBINO, L. C.; MEDINA, C. C.; RIBEIRO, A. M. A.; RALISCH, R.; TAVARES FILHO, J. A metodologia do perfil cultural e o enraizamento. In: MESA REDONDA: MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DE ESTRATÉGIAS DE DEGRADAÇÃO E/OU RECUPERAÇÃO DE SOLOS – XXVI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Rio de Janeiro, 1997. 25p.

HUMBERT, R. P. **El cultivo de la caña de azúcar**. México, Companhia Editorial Continental S.A., 1974. 719p.

NEWMAN, E. I. A method of estimating the total length of root in a sample. **Journal of Applied Ecology**, Oxford, v.3, p.139-145, 1966.

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

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

TENNANT, D. A test of a modified line intersect method of estimating root length. **Journal of Ecology**, Paris, v.63, n.3, p.995-1001, 1975.

VASCONCELOS, A. C. M.; CASAGRANDE, A. A.; PERECIN, D.; JORGE, L. A. C.; LANDELL, M. G. A. Avaliação do sistema radicular da cana-de-açúcar por diferentes métodos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p.849-858, 2003.

VASCONCELOS, A. C. M.; GARCIA, J. C. Desenvolvimento radicular da cana-de-açúcar. Cana-de-açúcar: ambientes de produção. **Encarte técnico POTAFOS – Informações técnicas**, Piracicaba, n.110, 2005. 32p.

## 5. ARTIGO C: COMPARAÇÃO DE MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE RAÍZES PARA ESTUDOS AGRONÔMICOS E ECOFISIOLÓGICOS DE CANA-DE-AÇÚCAR

### Resumo

O objetivo desse trabalho foi avaliar métodos de estudo do sistema de raízes radicular de cana-de-açúcar cultivada em Latossolo Vermelho eutroférico (Londrina – PR): Monólito (MON), Trado (TRA), Parede do Perfil, com contagem de raízes com o auxílio de uma grade (PPG), e Parede do Perfil, analisando-se imagens digitais (PPI). As avaliações foram feitas durante 2 ciclos da cana-de-açúcar, em vários estádios de vegetação. Foram calculados o comprimento (MON, TRA, PPG, PPI) e massa de raízes (MON, TRA) e o tempo necessário para realização dos quatro métodos. A análise dos resultados foi feita por equações de regressão e análise de variância, em diferentes profundidades e distâncias da linha de plantio. Os métodos MON, TRA e PPG apresentaram resultados semelhantes, mas com tendência do TRA e do PPG superestimarem a quantidade de raízes na camada superficial. O modelo matemático para estimativa do comprimento de raízes, utilizado no método PPG, mostrou-se bem ajustado. O PPI subestimou a densidade de comprimento de raízes em subsuperfície. O MON demandou mais de 100 horas de trabalho para amostrar um perfil de 1 x 1,5 m, sendo impraticável como método de rotina. A PPG foi o método mais rápido, tendo sido eficiente na quantificação do comprimento de raízes. O TRA é o mais indicado para situações onde não pode haver perturbação do solo e para a obtenção da massa de raízes; e o PPG é uma alternativa aos métodos MON e TRA na quantificação de raízes pelo seu comprimento.

Palavras-chave: *Saccharum*, raízes, monólito, trado, parede do perfil.

## COMPARISON OF SUGARCANE ROOT SYSTEM EVALUATION METHODS FOR AGRONOMY AND ECOPHYSIOLOGY

### Abstract

The objective of this work was to evaluate root system methods - Monolith - MON, Auger Method - AM, Trench Profile - TPG, using a grid to count the number of roots and posterior transformation the data in root length density, and Trench Profile - TPI, evaluating the digital images, in sugarcane cultivated in a Rhodic Eutrudox in Londrina, PR. The evaluations were performed during 2 cycles of sugarcane in several vegetative stages. The root length (MON, AM, TPG and TPI) and root mass (MON and AM), and the time necessary to perform the four methods were evaluated. The analysis were done by means of regression equations and variance analysis, in different depths and distances of planting lines. The methods MON, AM and TPG showed similar results, but AM and TPG tended to superestimate the root quantity on the superficial layer. The model to estimate the root length density, used on TPG method, showed to be a well-fitted model. The TPI underestimated the root length density in the 0.3 – 0.6 m layer. The MON demanded more than 100 working hours to sample a profile of 1 x 1.5 m, what turns it into a non-practicable method. The TPG was the faster method, being efficient on root length quantification. The AM is the most feasible method for situations when a soil movement is not permitted and to obtain the root mass; the TPG is an alternative to MON and AM methods regarding the quantification of roots by means of its length.

Key-words: *Saccharum*, roots, monolith, auger method, trench profile.

## 5.1. Introdução

O conhecimento do sistema de raízes e sua dinâmica é essencial para se entender o funcionamento da planta, calcular os balanços hídrico, mineral e de incremento de matéria orgânica ao solo com mais eficácia, além de servir como indicador das condições físicas do solo, permitindo avaliar as conseqüências do manejo. Para isso, os parâmetros radiculares mais importantes são: a densidade de comprimento de raízes, a biomassa e a distribuição por profundidade.

Existem vários métodos de estudo de raízes (BÖHM, 1979), cuja escolha depende de uma série de fatores, como: objetivo da avaliação (manejo de culturas, estudos genéticos ou ecofisiológicos); atributos requeridos (densidade de comprimento, biomassa, distribuição no perfil, profundidades máxima e efetiva); mão de obra; tecnologia; equipamentos e recursos disponíveis. Os métodos apresentam vantagens e desvantagens entre si, dependendo da situação. Com o avanço da informática, os trabalhos que estudam o enraizamento ganharam ferramentas computacionais que ajudaram a reduzir o tempo gasto nas avaliações (CRESTANA et al., 1994; BOUMA et al., 2000; INGRAM & LEERS, 2001).

Em estudos sobre enraizamento, os diversos métodos e a variabilidade dos dados são colocados como entraves na avaliação das raízes (CHOPART & SIBAND, 1999; AZEVEDO, 2004; PAULINO et al., 2004; SMITH et al., 2005). A comparação e a equivalência dos métodos são pouco conhecidas, dificultando comparações de resultados. Os trabalhos de comparação de metodologias envolvem, normalmente, dois métodos (VEPRASKAS & HOYT, 1988; ROBAINA JÚNIOR, 2001). Em cana-de-açúcar, VASCONCELOS et al. (2003) compararam cinco métodos para quantificação de raízes. Contudo, estudos desse tipo são raros para esta cultura, que possui sistema de raízes complexo, com renovação após as colheitas.

Entre os métodos comumente empregados, pode-se destacar o do Monólito, do Trado e da Parede do Perfil (BÖHM, 1979). O método do Monólito permite boa representatividade do perfil estudado, podendo-se obter comprimento e biomassa de raízes; porém, é destrutivo, trabalhoso e amostra grandes volumes de solo, impossibilitando fazer muitas repetições. O Trado permite, como o Monólito, obter diretamente os principais parâmetros, mas tem menor representatividade do



volume do perfil, havendo necessidade de maior número de repetições. No método da Parede do Perfil, é possível observar a distribuição do enraizamento no perfil do solo e não há necessidade de amostragem e separação das raízes, sendo mais rápido que os dois primeiros; mas, é destrutivo e não se obtém medidas diretas de densidade de raízes ou biomassa. Neste último método, é possível fazer a estimativa do comprimento de raízes através de modelos matemáticos (CHOPART & SIBAND, 1999; CHOPART et al., 2008), ou fotografando o perfil e analisando as imagens digitais com programas específicos, como o SIARCS<sup>®</sup> 3.0 (JORGE et al, 1996), obtendo-se comprimento e área de raízes.

Visto a falta de informações sobre a metodologia de avaliação de raízes, que servem às avaliações agronômicas e ecofisiológicas, o objetivo desse trabalho foi fazer uma comparação sistemática dos métodos que podem ser, em hipótese, os mais adaptados em avaliações de cana-de-açúcar no Brasil: Monólito, Trado e Parede do Perfil.

## **5.2. Material e Métodos**

### **5.2.1. Dispositivo experimental**

O experimento foi instalado na Fazenda Escola da Universidade Estadual de Londrina – PR, latitude 23°23'S, longitude 51°11'W e altitude média de 560 m. O clima é classificado como subtropical úmido, com precipitação de 1620 mm anuais e insolação de 7,05 h dia<sup>-1</sup> (CORRÊA et al., 1982). A variedade de cana-de-açúcar foi a RB 72 454, implantada em 2002, em Latossolo Vermelho, de textura argilosa (Tabela 5.1). Durante o experimento, não houve tráfego de caminhões pesados, pois a cana colhida foi levada para fora da área manualmente; apenas tratores e implementos para os tratamentos culturais das soqueiras entraram no talhão. A densidade do solo, realizada com anéis volumétricos, segundo EMBRAPA (1997), também é mostrada na Tabela 5.1. No início do terceiro ciclo, foi feita a análise química do solo (Tabela 5.2). As avaliações de raízes foram feitas em cinco estádios

de vegetação: aos 90 e 240 dias (2005) e aos 60, 170 e 240 dias após a rebrota (2006).

Tabela 5.1. Análise granulométrica e densidade (ds) de Latossolo Vermelho eutroférico, Londrina – PR (2007).

Prof. (m)	argila	silte	areia	ds
		g kg <sup>-1</sup>		Mg m <sup>-3</sup>
0-0,05	429	300	271	1,00
0,05-0,1	429	300	271	1,07
0,1-0,2	429	300	271	1,07
0,2-0,4	529	200	271	1,11
0,4-0,6	529	200	271	1,00
0,6-1,0	529	200	271	0,96
1,0-1,5	569	160	271	0,97
1,5-2,0	429	200	371	0,97

Análise: Laborsolo.

Tabela 5.2. Análise química de um Latossolo Vermelho eutroférico. Londrina – PR (2005).

Prof. (m)	P	MO	pH	Al	H+Al	Ca	Mg	K	Na	S	T	V	Al
	mg dm <sup>-3</sup>	g dm <sup>-3</sup>	CaCl <sub>2</sub>										%
						cmolc dm <sup>-3</sup>							
0-0,05	18,9	31,0	5,0	0,01	4,65	3,30	1,76	0,58	0,02	5,7	10,3	54,8	0,1
0,05-0,1	14,3	31,2	5,1	0,01	4,65	3,32	1,70	0,42	0,01	5,5	10,1	54,0	0,1
0,1-0,2	14,2	27,6	5,1	0,00	4,33	3,52	1,66	0,23	0,01	5,4	9,7	55,6	0,0
0,2-0,4	3,8	26,5	5,2	0,00	4,62	2,47	1,06	0,07	0,01	3,6	8,2	43,9	0,0
0,4-0,6	3,8	24,7	5,3	0,00	4,44	2,85	1,01	0,05	0,01	3,9	8,4	46,9	0,0
0,6-1,0	2,0	15,8	5,6	0,00	3,91	3,07	0,28	0,03	0,00	3,4	7,3	46,4	0,0
1,0-1,5	1,6	29,1	5,5	0,00	3,74	2,77	0,45	0,03	0,00	3,3	7,0	46,5	0,0
1,5-2,0	0,6	34,7	4,7	0,00	4,51	0,66	0,44	0,03	0,00	1,1	5,6	20,0	0,0

P, K, Na: Mehlich-I; Ca, Mg, Al: KCl 1N; pH: CaCl<sub>2</sub> 0,01 M; S = soma de bases; T = capac. de troca de cátions; V = sat. por bases; MO = matéria orgânica.

### 5.2.2. Descrição dos métodos e avaliações

Os métodos aplicados foram: Monólito (MON), Trado (TRA), Parede do Perfil (BÖHM, 1979) com contagem de raízes com o auxílio de uma grade (PPG) e Parede do Perfil analisada por imagens digitais (PPI). Em todos eles, as amostras foram coletadas de 0,1 em 0,1 m de profundidade (de 0 – 0,6 e de 1,6 – 1,8 m para

MON, TRA e PPG; e de 0 – 0,6 para PPI), em diferentes distâncias da planta. Como o espaçamento era de 1,4 m, avaliou-se até o meio da entrelinha (0,7 m) nos seguintes intervalos: de 0 a 0,23, de 0,23 a 0,47 e de 0,47 a 0,7 m da touceira.

Para as avaliações, foram abertas trincheiras perpendiculares às linhas de plantio, com as seguintes dimensões: 2 m de comprimento, 2 m de profundidade e 2 m de largura. Na Figura 5.1, está ilustrado o esquema de coleta das amostras. Na Tabela 5.3, encontram-se as épocas, o número de repetições e as profundidades de avaliação de cada método.

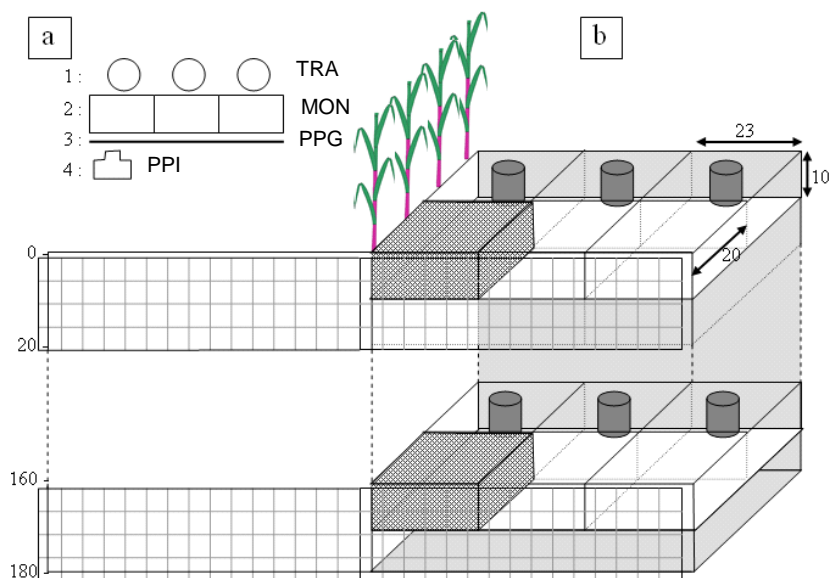


Figura 5.1. Esquema do perfil de solo utilizado na comparação de métodos de avaliação radicular de cana-de-açúcar cultivada em Latossolo Vermelho eutroférico: a – vista de cima de metade de uma entrelinha, onde 1 – TRA (Trado); 2 – MON (Monólito); 3 – PPG (Parede do Perfil Grade); e 4 – fotografia para PPI (Parede do Perfil Imagem); b – vista do perfil em perspectiva. Londrina – PR (2005 e 2006).

Tabela 5.3. Número de repetições para os métodos MON (Monólito), TRA (Trado), PPG (Parede do Perfil Grade) e PPI (Parede do Perfil Imagem), por estágio de desenvolvimento das plantas e por profundidade, na avaliação de raízes de cana-de-açúcar cultivada em Latossolo Vermelho eutrófico, realizada em 2005 (90 e 280 dias) e 2006 (60, 170 e 240 dias). Londrina – PR.

Estádio	Prof. (m)	MON	TRA	PPG	PPI
90 dias	0 – 0,6	-	12	-	6
280 dias	0 – 0,6	-	12	12	-
60 dias	0 – 0,6	6	12	12	6
	1,6 – 1,8	6	6	12	-
170 dias	0 – 0,6	3	12	12	-
	1,6 – 1,8	3	3	12	-
240 dias	0 – 0,6	3	12	12	-
	1,6 – 1,8	3	3	12	-

A ordem na realização dos métodos foi: PPG, PPI, MON e TRA. No método PPG, as raízes foram expostas com o auxílio de um rolo de pregos (com 0,01 cm). Em seguida, utilizando uma grade com malha de 0,05 x 0,05 cm, foi contado número de raízes, em cada quadrado, no ponto de intersecção das raízes com o solo, sem contar as ramificações ocorrentes nas raízes expostas. Não foram contabilizadas as raízes mortas. Os dados dessa cartografia de pontos de raízes foram transformadas em densidade de comprimento de raízes, à partir do modelo proposto por CHOPART et al. (2008), especialmente concebido para cana-de-açúcar, aplicado ao programa computacional RACINE<sup>®</sup> (desenvolvido pelo CIRAD), que transforma o número de raízes em comprimento de raízes. Tal procedimento é semelhante ao modelo apresentado por CHOPART & SIBAND (1999).

No método PPI, as raízes expostas para o PPG foram destacadas com tinta látex branca, usando-se pincéis finos, a fim de melhorar o contraste entre elas e o solo. As raízes mortas não foram pintadas. Foi utilizada grade com malha de nylon de 0,25 x 0,25 m, em 2005, e de 0,05 x 0,05 m, em 2006. Em seguida, o perfil foi fotografado com máquina digital (resolução 1,2 megapixels); essas imagens foram analisadas pelo programa SIARCS<sup>®</sup> (JORGE et al., 1996). O SIARCS<sup>®</sup> permite calcular o comprimento de raízes por unidade de área. Como as imagens são bidimensionais, o cálculo da densidade de comprimento de raízes, expressa em volume de solo, foi feito levando-se em consideração que o rolo de pregos removeu, aproximadamente, 0,01 m do perfil do solo.

O método MON foi feito através da amostragem de monólitos de 0,23 m transversalmente à linha de plantio, 0,2 m longitudinalmente à linha e 0,1 m de profundidade, perfazendo 4,6 dm<sup>3</sup> de volume. Foram coletados 3 monólitos por profundidade, até o meio da entrelinha. Na retirada dos monólitos, tomou-se cuidado para não se perder solo.

Para o método TRA, foram coletadas amostras de solo utilizando um trado cilíndrico tipo caneca, de 0,074 m de diâmetro, amostrando-se no meio de cada intervalo determinado para o MON: 0,11, 0,35 e 0,58 m de distância da touceira. A coleta se deu até a profundidade de 0,6 m e de 1,6 a 1,8 m, em amostras de 0,1 m de profundidade (volume individual de 0,43 dm<sup>3</sup>).

As amostras coletadas pelos métodos MON e TRA foram levadas ao laboratório, para separação das raízes. Cada amostra foi colocada num balde plástico com água e agitada com um pedaço de madeira; em seguida, a água e as raízes em suspensão foram vertidas numa peneira com malha de 1 mm. Essa operação foi repetida até não haver mais raízes. As raízes aparentemente mortas foram descartadas. Depois desse procedimento, as raízes foram imersas em solução contendo azul de metileno, a fim de homogeneizá-las e protegê-las da ação de organismos decompositores, e colocadas em papel toalha. A secagem das raízes foi realizada em estufa de ventilação forçada, a 50 °C, durante 3 dias. Imediatamente depois de retiradas da estufa, as amostras foram pesadas em balança de precisão para a aferição da massa seca. A avaliação do comprimento foi feita utilizando-se o software ANALYRA<sup>®</sup>, desenvolvido pelo CIRAD (Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement, França). Esse programa usa a metodologia Newman-Tennant (NEWMAN, 1966, modificada por TENNANT, 1975) de forma virtual sobre as imagens digitais das raízes. Nas amostras de MON com muitas raízes, foram feitas alíquotas para a determinação do comprimento, as quais também foram pesadas para se obter o comprimento total, através de simples regra de três.

Para a obtenção das imagens digitais, as raízes, depois de secas e pesadas, foram colocadas numa bandeja branca de plástico e re-hidratadas aplicando-se uma fina lâmina d'água. Na bandeja, foi colocado um círculo de borracha preta com diâmetro conhecido, que serviu como escala. Então, a bandeja foi colocada em uma caixa de papelão para evitar o excesso de luminosidade e os reflexos do ambiente. Nas amostras de monólito contendo muitas raízes, foi retirada

uma alíquota do total, calculando-se o comprimento total a partir das massas da própria alíquota e massa total. A câmera fotográfica digital foi fixada sobre a caixa, de maneira que a lente ficasse paralela à bandeja, e as fotografias foram tiradas com o flash acionado, com resolução de 1,2 megapixels. As imagens foram trabalhadas no software Corel Photo Paint 12, da Microsoft®, para transformá-las em 256 tons de cinza na extensão TIFF, que é o tipo padrão para imagens trabalhadas no ANALYRA.

O tempo dispensado é um elemento importante para a escolha do método a ser empregado, pois métodos mais morosos demandam mais tempo ou mais pessoas. Assim, foi determinado o tempo de trabalho para a avaliação de um perfil de 1,5 m de largura x 1 m de profundidade.

Devido à dificuldade do trabalho, não foi possível estudar todos os métodos em todas as datas e em todas as profundidades, ou fazer o mesmo número de repetições. A comparação dos quatro métodos foi feita aos 60 dias (2006), até 0,6 m de profundidade, levando-se em conta, para todos os métodos, as repetições correspondentes às do MON. Nas outras datas e profundidades, foram feitas comparações entre dois ou três métodos, sempre considerando as repetições (feitas em diversos locais no talhão) comuns aos métodos em cada uma das análises.

O delineamento experimental foi totalmente ao acaso; para análise dos dados de densidade de raízes, primeiro foram feitas regressões entre os métodos (pelo programa Microsoft Excel®), através dos resultados de todas as profundidades e distâncias da touceira. Depois, calculou-se as médias e os desvios-padrão por profundidade, com análise de variância para os valores médios de 0 – 0,3; 0,3 – 0,6; e 1,6 – 1,8 m de profundidade (programa Stat).

### **5.3. Resultados**

#### **5.3.1. Análises de regressão**

Os resultados obtidos com os quatro métodos foram, primeiramente, testados aos 60 dias, em 2006, nas profundidades de 0 a 0,6 m e nas três distâncias

da linha de plantio. Para três métodos, MON, TRA e PPG, foram coletados dados entre 1,6 e 1,8 m, os quais foram integrados às regressões (Figura 5.2). Cada valor da Figura 5.2 foi a média das repetições dos pontos amostrados em relação à distância e à profundidade no perfil do solo.

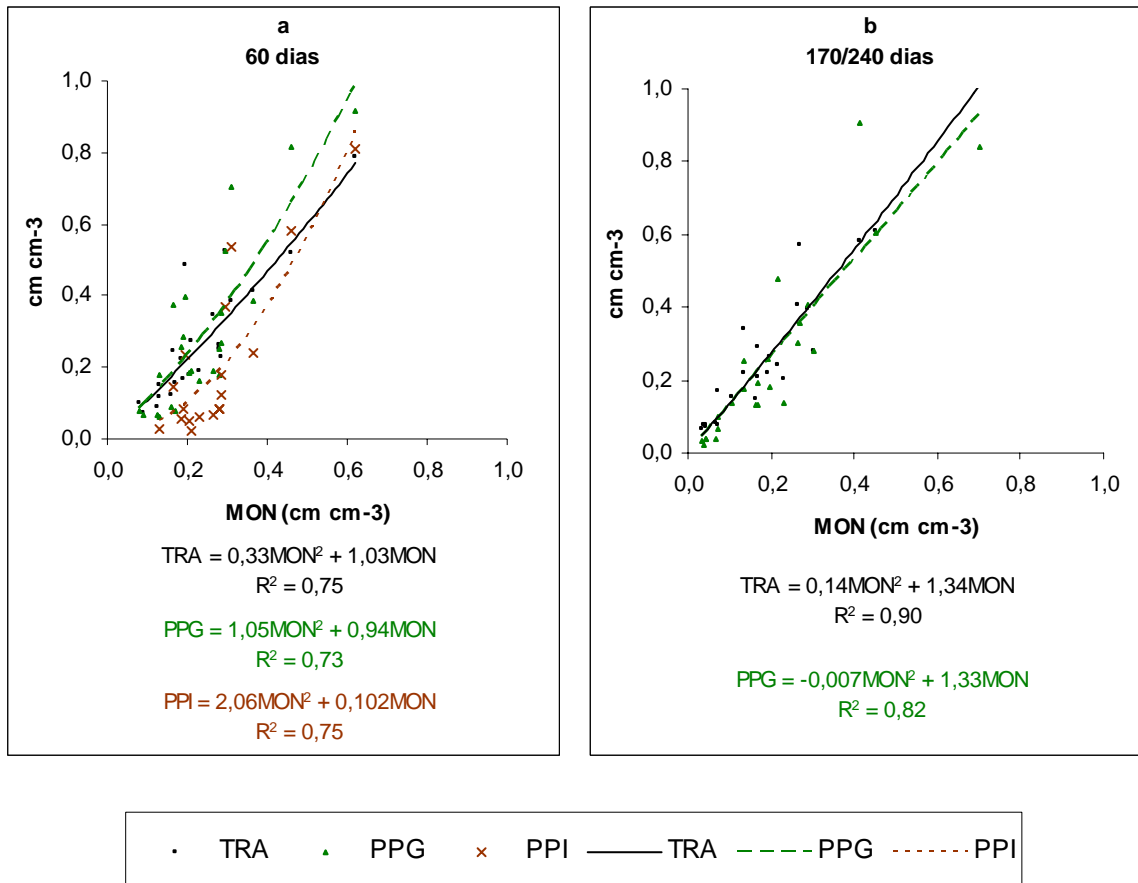


Figura 5.2. Relações entre os métodos MON (Monólito), TRA (Trado), PPG (Parede do Perfil Grade) e PPI (Parede do Perfil Imagem) aos 60 (a) e aos 170/240 (b) dias após a rebrota para densidade de comprimento de raízes ( $\text{cm cm}^{-3}$  de solo) de cana-de-açúcar em Latossolo Vermelho eutroférico. Londrina – PR (2006).

Todas as regressões foram significativas ( $p < 0,05$ ). O método MON foi considerado como referência. Foram obtidas regressões polinomiais que explicam as relações entre os métodos, visto o  $R^2$  superior a 0,7 (Figura 5.2a). Nas relações com o MON, para TRA e PPG foram 24 pares ordenados (três distâncias x oito profundidades;  $n = 24$ ); para PPI, foram 18 (3 distâncias x 6 profundidades;  $n = 18$ ). A partir das regressões, ficou claro que as relações entre os tratamentos não

são lineares, modificando-se de acordo com a quantidade de raízes nas amostras. O método PPI subestimou a densidade de raízes. Já os métodos TRA e PPG foram comparáveis ao MON, mas apresentaram valores superiores ao método padrão para densidade de raízes superiores a  $0,3 \text{ cm cm}^{-3}$ , com uma diferença crescente a partir desse valor, chegando a mais de 50% acima de  $0,8 \text{ cm cm}^{-3}$ .

O mesmo tipo de análise foi realizado em estágio de pleno desenvolvimento radicular – 170/240 dias (Figura 5.2b), para MON, TRA e PPG. Os resultados confirmaram o que foi verificado aos 60 dias (Figura 5.2a): os comprimentos de raízes de TRA e PPG são próximos, e os valores de densidade de raízes apresentados por MON foram um pouco inferiores, com tendência da distância entre esse e aqueles outros aumentar com os valores mais elevados, mas de modo menos pronunciado em relação a 60 dias (Figura 5.2).

Também foram realizadas análises de regressão para massa seca de raízes obtida pelos métodos MON e TRA (Figura 5.3). Para esse parâmetro, o melhor ajustamento foi por regressão linear, diferente do comprimento de raízes (Figura 5.2). Não houve tendência da diferença entre os 2 métodos aumentar proporcionalmente à quantidade de raízes. O TRA resultou em maior massa seca de raízes de maneira linear, sendo que a diferença foi menor no estágio de desenvolvimento 170/240 dias.



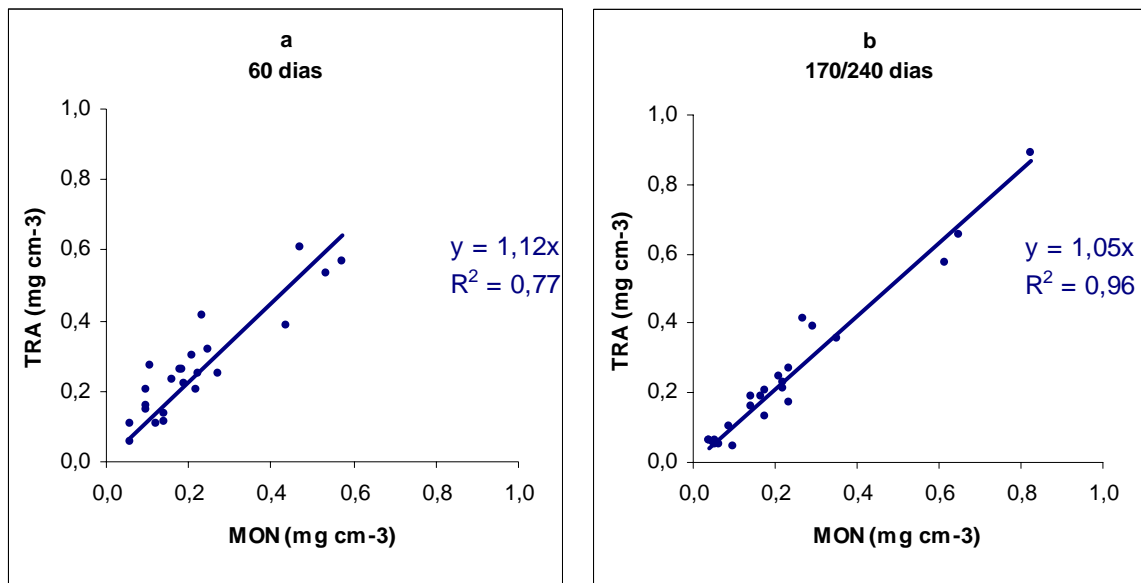


Figura 5.3. Relações obtidas entre MON (Monólito) e TRA (Trado) para massa seca de raízes de cana-de-açúcar em Latossolo Vermelho eutroférrico aos 60 (a) e 170/240 (b) dias após a rebrota. Londrina – PR (2006).

### 5.3.2. Comparações por profundidade

As médias dos valores de densidade de comprimento de raízes, por camada do perfil (a cada 0,1 m), estão mostradas na Figura 5.4a. Houve grande variabilidade dos dados, como é comum em estudos de raízes, mostrada pelas barras que indicam o desvio-padrão. É possível observar que as médias estão todas dentro dos desvios-padrão, à exceção do PPI, que subestimou o comprimento abaixo dos 0,3 m de profundidade. Como as raízes têm tendência de ser mais verticais em profundidade, houve, provavelmente, menos raízes horizontais expostas e contabilizadas pelo SIARCS<sup>®</sup>, o que não aconteceu com o PPG (contagem das raízes e posterior transformação em comprimento), já que o modelo proposto por CHOPART et al. (2008) leva em conta a verticalidade das raízes em profundidade.

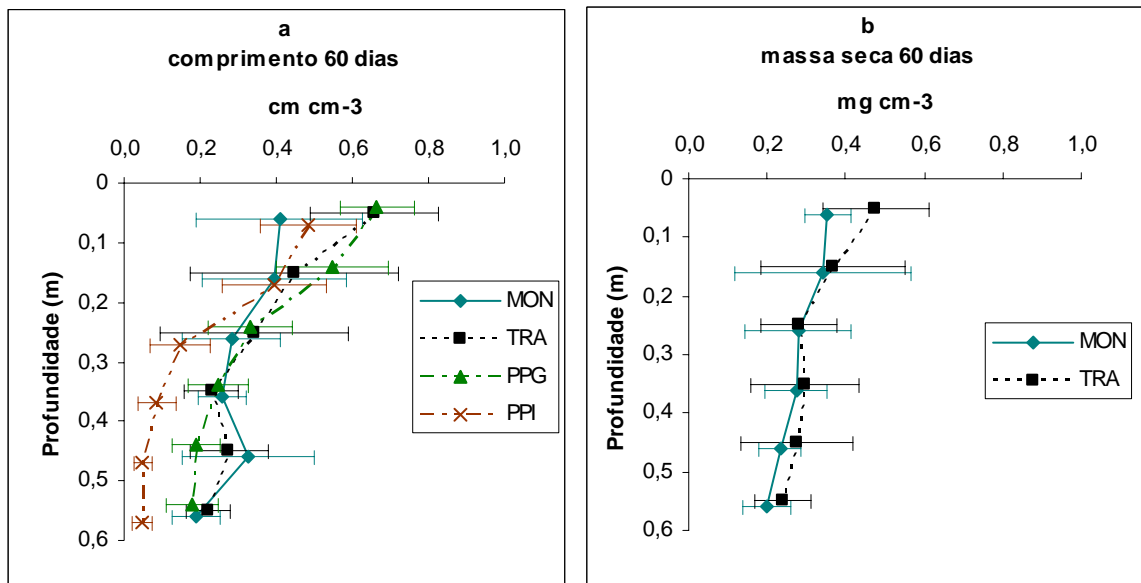


Figura 5.4. Perfil de enraizamento de cana-de-açúcar cultivada em Latossolo Vermelho eutroférrico, aos 60 dias após a rebrota: a – densidade de comprimento de raízes para os métodos MON (Monólito), TRA (Trado), PPG (Parede do Perfil Grade), PPI (Parede do Perfil Imagem); b – massa seca de raízes para MON e TRA. Londrina – PR (2006).

Os métodos MON, TRA e PPG apresentaram resultados semelhantes para comprimento de raízes (Figura 4a), com tendência dos métodos TRA e PPG apresentarem valores superiores na camada mais superficial. Quanto à massa seca, MON e TRA apresentaram resultados equivalentes, exceto de 0 – 0,1 m de profundidade. Foi feita a mesma comparação aos 170/240 dias, e os resultados estão na Figura 5.5. Foi observado resultado semelhante ao obtido aos 60 dias.

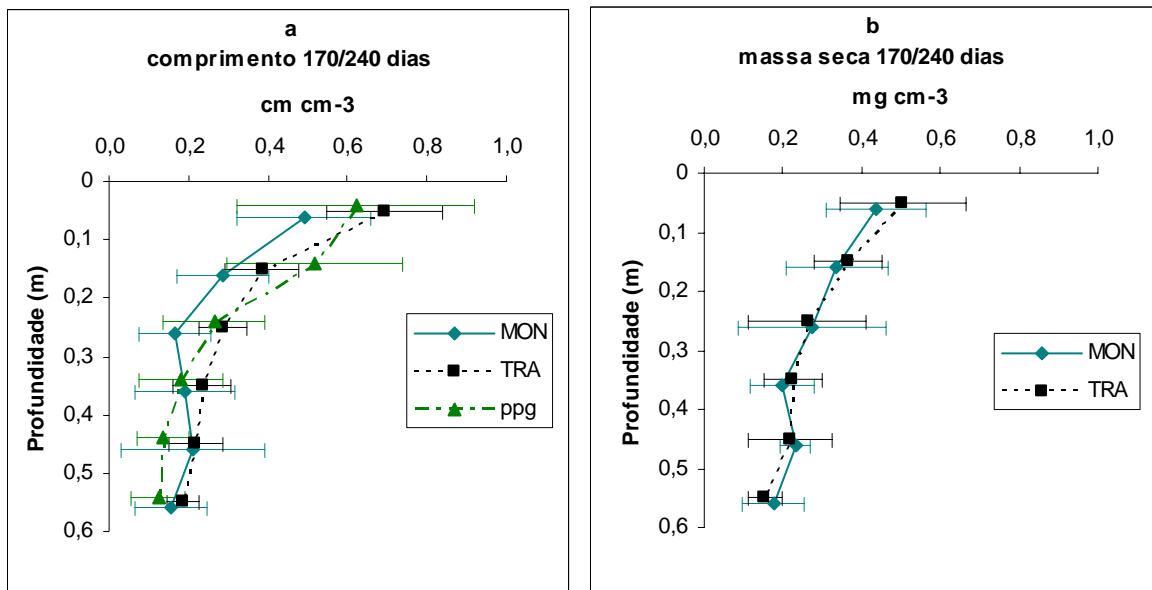


Figura 5.5. Perfil de enraizamento de cana-de-açúcar cultivada em Latossolo Vermelho eutroférrico, aos na média de 170/240 dias após a rebrota: a – densidade de comprimento de raízes para os métodos MON (Monólito), TRA (Trado), PPG (Parede do Perfil Grade); b – massa seca de raízes para MON e TRA. Londrina – PR (2006).

Os resultados de densidade de comprimento de raízes (Figura 5a) foram ligeiramente inferiores para o método MON, em comparação ao TRA e ao PPG, até os 0,3 m. Contudo, na comparação das massas secas entre MON e TRA (Figura 5.5b), os dois apresentaram resultados mais próximos.

Aos 90 dias (2005), não foi feita a amostragem de monólitos, mas comparou-se o PPI com o TRA, considerando este último como referência (Figura 5.6a), em 6 repetições cada. Nessa época, verificou-se que o PPI apresentou valores de densidade de comprimento de raízes inferiores, em praticamente todo o perfil, até 0,6 cm de profundidade, diferente do que ocorreu aos 60 dias, em 2006 (Figura 4.4a), onde este resultou em valores inferiores de comprimento de raízes somente a partir de 0,3 m.

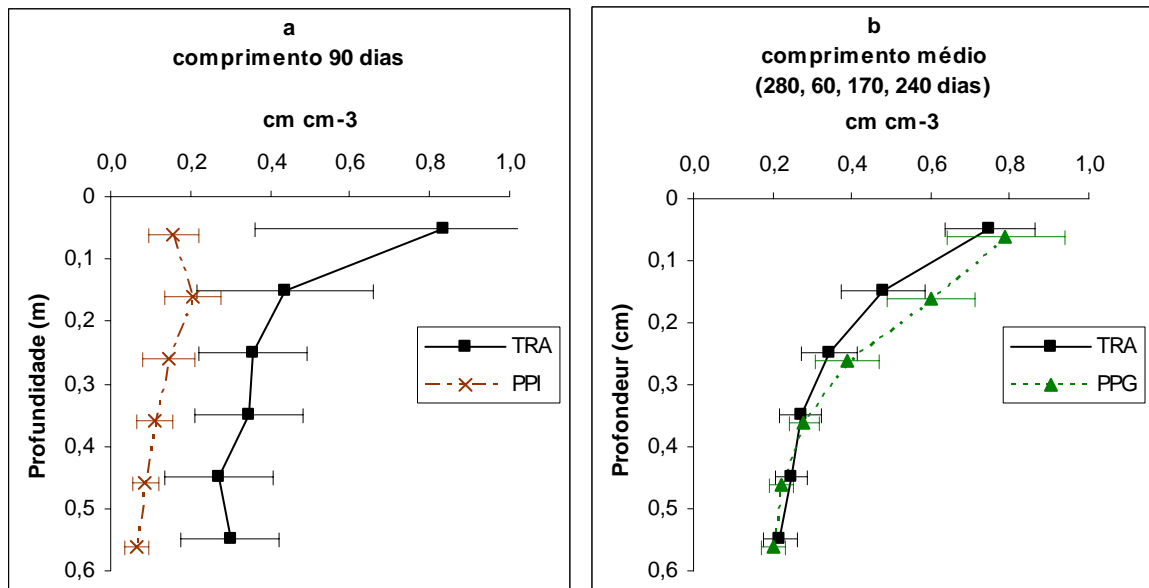


Figura 5.6. Densidade de comprimento de raízes de cana-de-açúcar cultivada em Latosolo Vermelho eutroférrico: a – comparação entre TRA (Trado) e PPI (Parede do Perfil Imagem), aos 90 dias, em 2005; b – comparação entre TRA e PPG (Parede do Perfil Grade), na média de 280 (2005), 60, 170 e 240 (2006) dias após a rebrota. Londrina – PR.

Numa comparação geral entre o TRA e o PPG, foram agrupados os dados de quatro épocas (Figura 5.6b), considerando que não houve diferença na quantidade de raízes entre todas as épocas de avaliação (dados não apresentados). Foi feita a média de 48 repetições para cada método. Foi possível, então, observar perfis médios de enraizamento para a cana-de-açúcar, e verificar que houve equivalência um método tradicional, que amostra certo volume de solo, medindo-se o comprimento das raízes (TRA), e um outro que faz uma estimativa do comprimento de raízes (PPG), baseado em estudos de isotropia e direção preferencial de crescimento de raízes, transformando número de raízes em comprimento de raízes por volume de solo, conforme modelo proposto por CHOPART et al. (2008).

Com os resultados dos 4 métodos aos 60 dias e de 3 métodos aos 170/240 dias, foi feito um agrupamento das profundidades, calculando-se as médias para as camadas de 0 – 0,3, 0,3 – 0,6 e 1,6 – 1,8 m (Tabela 5.4).

Tabela 5.4. Densidade de comprimento de raízes ( $\text{cm cm}^{-3}$  de solo) de cana-de-açúcar cultivada em Latossolo Vermelho eutrófico aos 60 e aos 170/240 dias para os tratamentos MON (Monólito), TRA (Trado), PPG (Parede do Perfil Grade) e PPI (Parede do Perfil Imagem). Londrina – PR (2006).

Método	60 dias			170/240 dias		
	Profundidade (m)			Profundidade (m)		
	0 – 0,3	0,3 – 0,6	1,6 – 1,8	0 – 0,3	0,3 – 0,6	1,6 – 1,8
MON	0,36 a	0,26 a	0,12 a	0,32 a	0,18 a	0,05 a
TRA	0,48 a	0,25 a	0,09 a	0,46 a	0,21 a	0,07 a
PPG	0,51 a	0,20 a	0,07 a	0,47 a	0,15 a	0,04 a
PPI	0,32 a	0,05 b	-	-	-	-
cv (%)	35	30	42	33	37	36

Médias seguidas de mesma letra, nas colunas, não diferem entre si pelo teste Tukey (5% de significância).

Nessas camadas, foi feita a análise de variância (Tabela 5.4). Os resultados indicaram diferença significativa entre o PPI e os outros métodos. A análise do comprimento pelo método PPI apresentou valores de densidade radicular inferiores estatisticamente para a profundidade de 0,3 a 0,6 m. Os outros métodos não apresentaram diferenças estatísticas. Também pode-se observar que o cv (%) (coeficiente de variação) foi elevado, sempre superior a 30%, outra característica comum aos trabalhos de avaliação de raízes. Os métodos MON, TRA e PPG ainda foram avaliados na profundidade de 1,6 a 1,8 m, sem, entretanto, apresentar diferença significativa.

### 5.3.3. Tempo de trabalho

Feitas todas as amostragens, foi possível estimar o tempo médio gasto em cada método. O tempo de abertura das trincheiras, necessárias para os métodos MON, PPG e PPI, tem de ser considerado segundo as possibilidades para escavação: se forem abertas manualmente, o tempo vai depender do número de pessoas, tipo e condição do solo; se for mecanizada, leva em torno de uma hora para abertura e mais uma hora para deixar os dois perfis perpendiculares à superfície do terreno. Na Tabela 5.5 são apresentados os tempos para obtenção dos

parâmetros massa seca (MON e TRA) e comprimento de raízes (MON, TRA, PPG e PPI), considerando-se um perfil de 1 m de profundidade x 1,5 m de largura. Os tempos dispensados pelos métodos foi bastante diferente.

Tabela 5.5. Tempo de trabalho necessário para obtenção da densidade de raízes em um perfil de 1 m de profundidade x 1,5 m de largura para os métodos MON (Monólito), TRA (Trado), PPG (Parede do Perfil Grade) e PPI (Parede do Perfil Imagem). Londrina – PR (2005 e 2006).

	Horas de trabalho por pessoa			
	campo	laboratório	computador	total
MON	3,8	90	8,4	106
TRA	1,7	33	8,4	45
PPG	2,8	-	0,6	3,4
PPI	5,1	-	8,7	14

O MON demandou muito tempo no laboratório para lavagem e separação das raízes (90 horas), devido ao grande volume de solo de cada amostra. O TRA necessitou de cerca de 40% do tempo do MON. O PPG e o PPI têm a vantagem de não haver a fase de laboratório, pois não se retira amostras de solo. No campo, o PPI foi o que demandou mais tempo, por causa da pintura das raízes no perfil. Para todos os métodos, utilizou-se programas computacionais para determinação do comprimento das raízes, mas o programa RACINE<sup>®</sup> (usado no PPG) foi muito mais rápido no tratamento dos dados, bastando alguns minutos para a entrada dos dados de contagem, e alguns segundos para o cálculo do comprimento. Nos métodos MON e TRA, é preciso adquirir e trabalhar cada fotografia individualmente. No PPI, as fotografias foram tiradas no campo, mas o trabalho no SIARCS<sup>®</sup> foi lento.

#### 5.4. Discussão

Os métodos TRA e PPI pareceram superestimar, ligeiramente, os valores de densidade de comprimento de raízes, ao menos em superfície, onde o enraizamento é maior. Isso ocorreu menos intensamente para a massa de raízes, na

comparação entre o TRA e o MON. Para as diferenças de comprimento de raízes, pode-se levantar algumas hipóteses: o TRA e o PPI realmente superestimam as raízes nas camadas mais superficiais; ou que na amostragem do MON em superfície, com a instabilidade da parede devido ao maior volume de terra solta e a grande quantidade de raízes, pode ter havido perda de solo ou pequenas diferenças no dimensionamento dos monólitos; ou ainda que, ao estimar o comprimento no programa ANALYRA<sup>®</sup>, pode ter ocorrido um erro sistemático de medição, visto que, para as amostras do MON que tinham muitas raízes, foi feita uma estimativa indireta do comprimento total, ao tomar uma alíquota da amostra total. No entanto, fazer a medição de todas as raízes torna o trabalho ainda mais demorado, sendo efetivamente impraticável. Em todo caso, tais diferenças não são significativas, já que elas foram observadas apenas nas amostras com muitas raízes, sendo os três métodos, na média, bastante semelhantes.

O método TRA, realizado em três distâncias da linha de plantio, resultou em dados aparentemente confiáveis e pode ser considerado como método de referência, assim como o MON; sendo menos trabalhoso que este último, possibilitando fazer mais repetições em menor tempo, mas não deixa de ser demorado. É preciso ter disponibilidade de mão de obra, sobretudo na separação das raízes. VASCONCELOS et al. (2003) comparando 5 metodologias para avaliação de raízes de cana-de-açúcar, encontraram valores maiores de massa seca para o Monólito em relação ao Trado.

O método PPG foi mais rápido de ser feito do que os outros 3, com resultados próximos àqueles obtidos pelo TRA e pelo MON. Salvo a desvantagem da perturbação do solo na escavação das trincheiras, o PPG pode ser utilizado como uma alternativa rápida e relativamente precisa, permitindo, inclusive, fazer avaliações em áreas de produção comercial. Pequenas trincheiras servem para diagnóstico de compactação e avaliação da qualidade do manejo do solo, através de análises de atributos físicos do solo; e pode, também, ser utilizado em análises qualitativas, como o perfil cultural. O modelo desenvolvido para esse método, proposto por CHOPART et al. (2008), que o validaram em áreas do Paraná e da Ilha Reunião, se mostrou eficaz para obtenção do comprimento de raízes.

Com o método PPI, as densidades de comprimento de raízes estimadas foram inferiores aos outros métodos, mostrando certa inconsistência em calcular a quantidade de raízes por unidade do volume de solo, quando se tem

imagens bidimensionais. No método PPI, é imprescindível obter imagens de boa qualidade, pois o reconhecimento das raízes pode ser dificultado se a imagem não tiver bom contraste entre o solo e as raízes. Nas imagens bidimensionais, as raízes expostas que são perpendiculares à superfície do perfil aparecem como um ponto na imagem digitalizada, impossibilitando a medição de seu comprimento real. Nas camadas subsuperficiais, onde as raízes tomam uma direção mais vertical, a retirada de apenas 0,01 m de solo do perfil para exposição das raízes – que nem sempre é homogênea em função da umidade do solo ou do avaliador –, certamente contribuiu para subestimar a densidade de raízes. Esses resultados estão de acordo com VASCONCELOS et al. (2003), os quais também verificaram que o método da Parede do Perfil, analisada por imagens digitais, subestimou a quantidade de raízes. Entretanto, o método é útil em estudos qualitativos, que requerem a visualização, no campo, da distribuição de raízes.

Nenhum dos métodos avaliados requer equipamentos sofisticados e de alto valor, mas todos eles necessitam de grande quantidade de mão de obra. A qualidade dos resultados é, logicamente, o elemento mais importante de qualquer metodologia científica, mas o trabalho e a complexidade não podem ser negligenciados. Os métodos tradicionais de amostragem de raízes (MON e TRA) se mostraram bastante demorados, principalmente, em função do tempo no laboratório, onde foram feitos o peneiramento e a separação de raízes mortas e detritos orgânicos, enquanto que o PPG e o PPI não possuem essa etapa. O tempo gasto para aquisição das imagens também é importante; o trabalho no ANALYRA<sup>®</sup> foi relativamente rápido, com a medição do comprimento de cada imagem em 1 ou 2 minutos, dependendo da quantidade de raízes. Porém, o programa SIARCS<sup>®</sup> se mostrou bastante moroso, porque o usuário tem que fazer todas os procedimentos de reconhecimento das raízes da imagem manualmente, até a obtenção do comprimento. A vantagem do PPG está na rapidez para obtenção do comprimento e outros parâmetros, como a distância média entre as raízes e a taxa de exploração do solo (dados não mostrados), calculados, automaticamente, a partir dos dados de contagem inseridos em uma planilha do programa RACINE<sup>®</sup>, que é alimentado com as informações do modelo matemático específico para a cana-de-açúcar (CHOPART et al., 2008).



## 5.5. Conclusão

Com base nas condições experimentais, conclui-se que:

- os métodos do monólito, do trado e da parede do perfil com transformação da contagem das raízes em comprimento, resultam em dados equivalentes de densidade de comprimento de raízes, os quais servem a estudos agrônômicos e ecofisiológicos da cana-de-açúcar;
- o método da parede do perfil com análise de imagens digitais apresenta menor densidade de comprimento de raízes nas camadas subsuperficiais em relação aos outros três métodos;
- a contagem de raízes no perfil, transformada em densidade de comprimento de raízes, é mais rápida de ser realizada em relação aos outros métodos, possibilitando maior número de repetições; pode, ainda, servir como ferramenta no estudo de cartografia e heterogeneidade do enraizamento, por contar as raízes de todo o perfil, estratificado a cada 0,05 m;
- o método do trado é eficiente, não destrutivo e menos trabalhoso que o método do monólito, sendo a melhor opção para estudos que envolvam a biomassa radicular da cana-de-açúcar.

## 5.6. Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, CAPES, pelo apoio financeiro; ao Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement, CIRAD, pelo apoio financeiro e científico; aos técnicos do CIRAD Lionel le Mézo e Mickael Mézino pela ajuda com as figuras e os softwares; e aos estagiários Luiz Gustavo Mantoani, Rafael O. Belgamo e Paulo V. C. Zaccheo, pelo pesado trabalho de campo.

## 5.7. Literatura Citada

AZEVEDO, M. C. B. Preparo do solo para plantio de cana-de-açúcar em latossolo vermelho eutroférico. 2004. 44p. **Dissertação (Mestrado)**. Universidade Estadual de Londrina.

BÖHM, W. **Methods of studying root systems**. New York: Springer-Verlag, 1979. 188p.

BOUMA, T. J.; NIELSEN, K. L.; KOUTSTAAL, B. Sample preparation and scanning protocol for computerized analysis of root length and diameter. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.218, p.185-196, 2000.

CHOPART, J. L. ; RODRIGUES, S. R. ; AZEVEDO, M. C. B. ; MEDINA, C. C. Estimating sugarcane root length density through root mapping and orientation modelling. **Artigo submetido à revista Plant and Soil**. 2008, 21p.

CHOPART, J. L.; SIBAND, P. Development and validation of a model to describe root length density of maize from root counts on soil profiles. **Plant and soil**, Dordrecht, v.214, p.61-74, 1999.

CORRÊA, A. R.; GODOY, H.; BERNARDES, L. R. M. Características climáticas de Londrina. Londrina. **Circular Técnica IAPAR**, n.5, 2ª ed., 1982, 16p.

CRESTANA, S.; GUIMARÃES, M. F.; JORGE, L. A. C.; RALISCH, R.; TOZZI, C. L.; TORRE, A.; VAZ, C. M. P. Avaliação da distribuição de raízes no solo auxiliada por processamento de imagens digitais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.18, n.3, p.365-371, 1994.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análise de solo**. 2ª edição. Rio de Janeiro, 1997. 213p.

INGRAM, K. T.; LEERS, G. A. Software for measuring root characters from digital images. **Agronomy Journal**, Madison, v.93, p.918-922, 2001.

JORGE, L. A. C.; RALISCH, R.; ABI SAAB, O. J. G.; MEDINA, C. C.; GUIMARÃES, M. F.; NEVES, C. S. V. J.; CINTRA, F. L. D.; BASSOI, L. H.; FERNANDES, S. B. V. Recomendações práticas para análise de imagens digitais através do SIARCS®. São Carlos: EMBRAPA Instrumentação Agropecuária (**Circular Técnica**), 1996. CD Rom.

NEWMAN, E. I. A method of estimating the total length of root in a sample. **Journal of Applied Ecology**, Oxford, v.3, p.139-145, 1966.

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

ROBAINA JÚNIOR, R. A. H. Comparação entre métodos de avaliação do sistema radicular da cana-de-açúcar (*Saccharum* spp). 2001. 15p. **Dissertação (Mestrado)**. Universidade Estadual de Londrina.

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

TENNANT, D. A test of a modified line intersect method of estimating root length. **Journal of Ecology**, Paris, v.63, n.3, p.995-1001, 1975.

VASCONCELOS, A. C. M.; CASAGRANDE, A. A.; PERECIN, D.; JORGE, L. A. C.; LANDELL, M. G. A. Avaliação do sistema radicular da cana-de-açúcar por diferentes métodos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, n.27, p.849-858, 2003.

VEPRASKAS, M., J.; HOYT, G. D. Comparison of the trench-profile and core method for evaluating root distribution in tillage studies. **Agronomy Journal**, Madison, v.80, p.166-172, 1988.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a mobilização do solo promovida pelo cultivo convencional, a resistência do solo à penetração é menor nas camadas superficiais em relação aos cultivos reduzido e mínimo. Não há, contudo, efeito residual na densidade do solo e na porosidade. Os três manejos de solo empregados neste trabalho não são diferentes quanto ao desenvolvimento das plantas, sendo iguais tanto para a produtividade quanto para o enraizamento. A cana-de-açúcar possui quantidade de raízes constante, independentemente do estágio vegetativo, apresentando raízes a mais de 4 m de profundidade. Essa característica deve ser considerada no volume de solo útil às plantas e, conseqüentemente, nos cálculos de balanço hídrico. Na avaliação do enraizamento, o Trado é o mais indicado em estudos de biomassa de raízes ou quando não pode haver perturbação do solo; o método da Parede do Perfil com estimativa do comprimento de raízes por volume de solo a partir dos dados de contagem, através de um modelo matemático, é eficiente e rápido de ser utilizado.

Com base nos resultados desse trabalho, onde não houve diferença entre os sistemas de manejo, é preciso reavaliar o que é feito nas áreas comerciais de cana-de-açúcar. São áreas imensas e, portanto, difícil de fazer as práticas de cultivo considerando todas as particularidades de cada talhão; mas, fazer sistemas de produção generalizados não é recomendável. É necessário conhecer as conseqüências dos manejos empregados em cada tipo de solo e relevo.

Conclui-se que o cultivo com maior mobilização do solo não propicia melhor ambiente de desenvolvimento das plantas, quando não há tráfego intenso e pesado sobre a área. Nos cultivos comerciais, é esse tráfego que causa problemas de compactação; conseqüentemente, as usinas lançam mão de grandes subsoladores e grades para tentar reverter o processo. Isso é altamente dispendioso e pode afetar significativamente o balanço energético da cultura. Aliás, esse é um aspecto que precisa de mais estudos. Então, como é o tráfego que causa problemas, não seria interessante testar meios de minimizar os efeitos disso sobre a qualidade física do solo, por exemplo, sistematizando as passagens dos veículos mais pesados?

Deve-se continuar os estudos sobre os sistema de cultivo, também, pois não existe muita informação a respeito de manejos com pouca mobilização do

solo e porque com o fim da queima da cana nos próximos anos e o uso de máquinas colhedoras, não será possível fazer a mobilização do solo tão frequentemente, em razão da palhada sobre o solo. Certamente, os benefícios trazidos por essa matéria orgânica poderão melhorar as condições para as lavouras de cana-de-açúcar.

Percebeu-se nitidamente que a avaliação das raízes é ferramenta importante no estudo de manejo do solo, pois foi o que explicou a não diferença de desenvolvimento das plantas frente aos tratamentos testados. Obviamente, estudos dessa natureza não podem ser feitos como rotina, mas servem de base para avaliações complementares àquelas normalmente feitas pelas usinas, como as análises químicas de solo para adubação e correção. Conjuntamente a essas amostragens, pode-se fazer pequenas trincheiras manualmente, não muito profundas, contando-se o número de raízes, o que pode ajudar na avaliação e tomada de decisão sobre os tratamentos culturais para a cultura. Certamente, as raízes são melhores indicadores da qualidade física do solo que análises de densidade ou resistência do solo à penetração.

Quanto à avaliação estatística dos resultados de quantificação de raízes, esses normalmente são submetidos à análise que não é adaptada a esse tipo de estudo. Com altos valores de coeficiente de variação e o índice de significância de 5%, a “estatística” dificilmente acusa diferença de tratamento. A solução é adotar tratamentos estatísticos menos rígidos ou buscar métodos de comparação alternativos aos comumente empregados na agronomia.