

SEÇÃO IV - FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS

AVALIAÇÃO DO SISTEMA RADICULAR DA CANA-DE-AÇÚCAR POR DIFERENTES MÉTODOS⁽¹⁾

A. C. M. VASCONCELOS⁽²⁾, A. A. CASAGRANDE⁽³⁾,
D. PERECIN⁽³⁾, L. A. C. JORGE⁽⁴⁾ & M. G. A. LANDELL⁽⁵⁾

RESUMO

Para decidir qual método de avaliação do sistema radicular, é necessário ponderar sobre os objetivos do trabalho, a cultura em questão e as condições em que ela se desenvolve. O estudo de raízes é muito importante para a compreensão dos diversos fenômenos de crescimento e desenvolvimento da parte aérea, mas exige procedimentos extremamente criteriosos, pois, além de ser trabalhoso, seus resultados são influenciados pela variabilidade físico-química do solo. Objetivou-se, com esta pesquisa, comparar os resultados de cinco métodos de avaliação do sistema radicular, em duas variedades de cana-de-açúcar, em quatro profundidades e em dois sistemas de colheita: mecanizada de cana crua e manual de cana queimada. Foram comparados ao método de avaliação por extração de monólitos e pesagem de massa de raízes secas outros quatro métodos: monólito com medição de comprimento, trado com pesagem de massa seca, perfil com medição de comprimento por meio de imagens digitais e perfil com contagem do número de raízes. Constatou-se que regressões lineares expressaram adequadamente a relação entre os métodos estudados, exceto quando foi utilizado o trado. Os métodos de perfil foram os mais adequados para detectar diferenças entre tratamentos.

Termos de indexação: raízes, sistemas de colheita, monólito, trado, perfil.

⁽¹⁾ Parte da Tese de Doutorado do primeiro autor, apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Produção Vegetal da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal – UNESP. Desenvolvido com apoio financeiro da FAPESP. Recebido para publicação em dezembro de 2001 e aprovado em maio de 2003.

⁽²⁾ Engenheiro-Agrônomo junto à FUNDAG/Centro APTA Cana, Instituto Agrônomo de Campinas – IAC. Caixa Postal 206, CEP 14001-970 Ribeirão Preto (SP). E-mail: acvascon@iac.sp.gov.br

⁽³⁾ Professor Titular da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal – UNESP. Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castellane s/n, CEP 14884-900 Jaboticabal (SP). E-mail: fitotecnia@fcav.unesp.br

⁽⁴⁾ Pesquisador da Embrapa Centro Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento de Instrumentação Agropecuária. Caixa Postal 741, CEP 13560-970 São Carlos (SP). E-mail: lucio@cnpdia.embrapa.br

⁽⁵⁾ Pesquisador do Centro APTA Cana, IAC. E-mail: mlandell@iac.sp.gov.br

SUMMARY: *EVALUATION OF THE SUGARCANE ROOT SYSTEM WITH DIFFERENT METHODS*

To select a method for the evaluation of a root system the research goals, crop of interest, and its growth conditions must be taken into consideration. The study of roots is highly important in the understanding of various phenomena of the shoot growth and development, but requires an extremely careful proceeding since evaluation methods are laborious and the roots are affected by the physicochemical variability of the soil. The objective of this research was to compare five evaluation methods for the root systems of two sugar-cane varieties at four depths, in two harvest systems: green cane harvesting and manual harvesting of burnt cane. Four methods were compared to the monolith method with dry matter quantification: monolith with length measurement, auger method, profile wall with length measurement by digital image analysis and profile wall with counting of the root number. Linear regressions expressed the relationship among the methods adequately, except in relation to the auger method. The profile wall methods were the most appropriate to detect differences among treatments.

Index terms: roots, harvest system, monolith, auger, profile wall.

INTRODUÇÃO

A compreensão dos fenômenos ocorridos na parte aérea das plantas torna-se mais completa, quando também se compreende o que acontece abaixo da superfície do solo, principalmente com relação ao crescimento e à distribuição de raízes no perfil. Entretanto, o estudo de sistema radicular é muito trabalhoso. Além disso, a variabilidade das condições físicas, químicas e biológicas do solo tem influência na distribuição das raízes e pode levar a resultados que não representam a realidade. Seria interessante determinar uma forma de estudo capaz de amostrar as raízes com um mínimo de gasto de tempo e de trabalho e com o máximo de exatidão e precisão possíveis. Todavia, pergunta-se: qual é esta forma perfeita de amostrar as raízes?

Revisões abrangentes sobre métodos de avaliação do sistema radicular foram realizadas por Böhm (1979) e Köpke (1981). Esses autores descrevem, detalhadamente, os métodos da escavação, do monólito, do trado, do perfil, do tubo ou paredes de vidro, além de métodos indiretos. Outros métodos utilizam alta tecnologia, como o emprego de fósforo-32 ou rubídio-86, como marcadores (Russel & Ellis, 1968), ou a utilização de radiografia de nêutrons (Willat et al., 1978). No Brasil, Crestana et al. (1994) uniram a técnica de imagens digitais ao método do perfil com quantificação de comprimento de raízes.

Segundo Böhm (1976), no estudo de campo, o método utilizado tem tanta influência no resultado do comprimento de raízes que, em muitos casos, é impossível comparar os dados de diferentes autores. Para ele, são necessárias mais pesquisas, com diversas culturas, para comparar os resultados do método do perfil com técnicas tradicionais de

amostragem e lavagem. Segundo esse pesquisador, os trabalhos realizados para entender o sistema radicular vêm de longa data. Ele cita que, em 1892, Thiel propôs a escarificação de uma fina camada do perfil do solo e a contagem das raízes visíveis, mas o método do perfil em trincheira passou a ser mais conhecido a partir de 1932, com os trabalhos de Oskamp e Batjer.

O método do monólito é considerado como padrão por Köpke (1981), por permitir estimar maior quantidade de raízes e por isso ter grande exatidão, mas, por outro lado, apresenta baixa precisão e pode ser demorado. Esse autor comenta também que o método do perfil tem uma relação favorável entre o esforço gasto e a informação obtida, mas subestima a densidade de raízes.

A forma perfeita de avaliar as raízes não existe, pois a adequação de um método para o estudo do sistema radicular depende da condição "in situ". Os resultados podem variar de acordo com a cultura, variedade estudada e seu manejo, com o tipo de solo e suas condições físico-químicas e, principalmente, com os cuidados e uniformidade de procedimentos da equipe operacional. Em trabalho de Kücke et al. (1995), foram detectadas grandes diferenças de correlações e de coeficientes de variação para diferentes culturas, tipos de solo, profundidades e épocas de amostragem. Em estudos de sistema radicular da cana-de-açúcar, alguns autores encontraram diferenças quantitativas e qualitativas quanto às variedades (Vasconcelos, 1998), aos ciclos da cultura (Ball-Coelho et al., 1992) e aos sistemas de colheita (Yang, 1977).

Hipoteticamente, os métodos testados nesta pesquisa são utilizados e aceitos como eficientes para

o estudo do sistema radicular. Desta forma, objetivou-se comparar cinco métodos de avaliação do sistema radicular, em duas variedades de cana-de-açúcar, em quatro profundidades e sob dois sistemas de colheita: mecanizada de cana crua e manual de cana queimada.

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada no município de Tarumã, estado de São Paulo, na latitude de 22 °47 'S e longitude de 50 °33 'W, em solo classificado como Latossolo Vermelho distrófico típico álico textura média A moderado (EMBRAPA, 1999), com os seguintes valores médios para características granulométricas: 330 g kg⁻¹ de argila, 40 g kg⁻¹ de silte e 630 g kg⁻¹ de areia (Quadro 1).

O estudo foi realizado em soqueira de cana-de-açúcar, em junho de 2001, aos oito meses de desenvolvimento do quinto ciclo. O delineamento experimental foi constituído de duas faixas com os sistemas de colheita (mecanizada de cana crua e manual de cana queimada) em três blocos (repetições dentro dos sistemas de colheita). Dentro dos blocos, as parcelas foram as variedades de cana-de-açúcar (IAC87-3396 e RB855536) e as subparcelas foram as camadas do perfil do solo amostradas (0-20, 20-40, 40-60 e 60-80 cm). Os dois sistemas de colheita foram estabelecidos a partir do segundo até o quarto corte. O cultivo e a adubação das soqueiras foram realizados após cada corte, com o fornecimento de 80 kg ha⁻¹ de N e 80 kg ha⁻¹ de K₂O, em média.

Os métodos de avaliação estudados são descritos a seguir:

Método do monólito, com a quantificação de massa de raízes secas

Os monólitos foram amostrados entre duas linhas de cana, no espaçamento de 140 cm. Utilizou-se uma vanga (ferramenta semelhante a uma pá superfície plana) de 20 cm de largura para a retirada de porções de solo com raízes, até completar as dimensões equivalentes a um monólito de 140 cm de largura (entre o centro de uma linha ao centro de outra linha de cana), 20 cm de comprimento (largura da vanga) e 20 cm de altura, totalizando 56 dm³ em cada monólito (Figura 1).

As amostragens foram feitas nas camadas de 0-20, 20-40, 40-60 e 60-80 cm. A extração de cada bloco de solo com raízes com dimensões exatas e constantes foi praticamente impossível, em virtude da variação operacional verificada para os diferentes trabalhadores envolvidos, de acordo com a habilidade de cada um.

Com o objetivo de corrigir essas variações, foram feitas algumas adaptações ao método do monólito. Para tanto, realizou-se a pesagem das amostras de solo com raízes, assim como a extração de amostras indeformadas de solo, com cilindros de 100 cm³, nas quatro profundidades, para calcular a sua densidade. A partir da massa de solo com raízes e da densidade do solo nas diferentes profundidades, calculou-se o volume de solo coletado, permitindo, assim, o cálculo das quantidades proporcionais de massa de raízes secas extraídas por volume de solo amostrado.

As raízes foram separadas do solo pela lavagem com jato d'água, em peneirões com malha de 2,0 mm, segundo Böhm (1976), e levadas para secagem em estufa com circulação forçada de ar, a 70 °C, por 96 h, tempo suficiente para estabilizar o peso das amostras. Em seguida, as raízes foram separadas das impurezas (solo e palha) e procedeu-se à pesagem em

Quadro 1. Densidade⁽¹⁾ e atributos químicos⁽²⁾ de um Latossolo Vermelho, em quatro profundidades, cultivado com cana-de-açúcar em quinto ciclo, sob dois sistemas de colheita

Profundidade	Ds ⁽¹⁾	pH CaCl ₂	MO ⁽³⁾	P _{res.}	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	H + Al	CTC	m	V
cm	g cm ⁻³		g dm ⁻³	mg dm ⁻³	mmol. dm ⁻³					%	
Colheita mecanizada de cana crua											
0-20	1,46	4,8	15,3	4,7	1,5	19,0	5,0	31,3	56,8	7,4	45,1
20-40	1,47	4,5	12,0	8,0	0,6	13,0	4,3	35,3	53,2	19,5	33,6
40-60	1,42	4,0	10,3	1,0	0,4	4,7	2,0	43,7	50,7	60,2	14,0
60-80	1,34	4,0	9,0	1,0	0,3	3,3	1,3	43,7	48,7	71,7	10,3
Colheita manual de cana queimada											
0-20	1,41	4,6	15,3	5,0	1,4	15,0	4,0	31,0	51,4	11,7	39,6
20-40	1,48	4,6	12,7	6,3	0,6	14,7	4,3	30,0	49,6	18,1	39,6
40-60	1,38	4,1	10,7	1,3	0,4	4,7	1,7	45,3	52,1	62,8	13,0
60-80	1,37	4,0	9,0	1,0	0,7	3,7	1,3	40,7	46,4	66,4	12,3

⁽¹⁾ Densidade média do solo de amostras extraídas no meio das entrelinhas. ⁽²⁾ Extratores: dicromato de potássio e ácido sulfúrico para matéria orgânica; resina trocadora de íons para P, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺; solução SMP para H + Al. ⁽³⁾ MO: matéria orgânica.

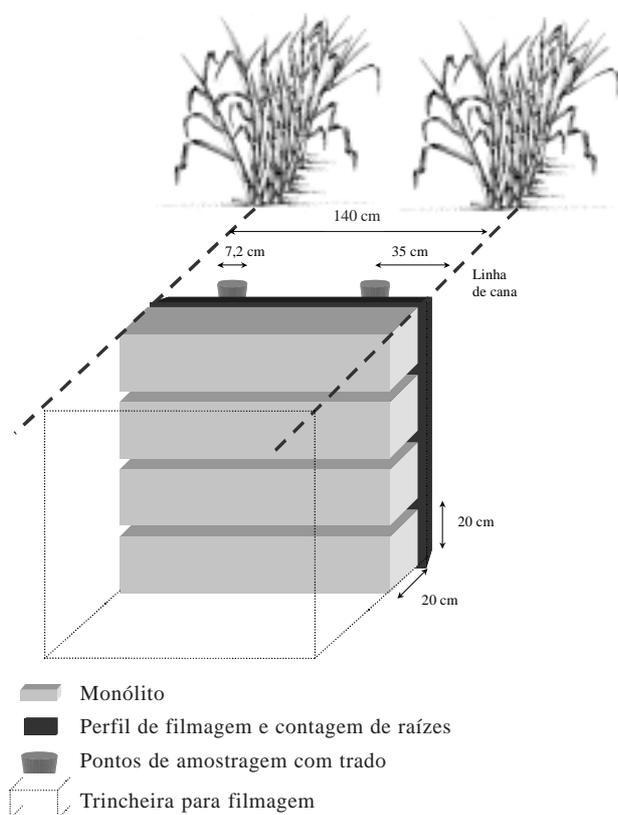


Figura 1. Esquema utilizado no campo, para os diferentes métodos de avaliação de sistema radicular de cana-de-açúcar.

balança semi-analítica, determinando-se a massa radicular seca.

Método do monólito, com a medição de comprimento médio de raízes secas

Em cada amostra, o total de raízes, coletadas e secas no processo anterior, foi homogeneizado, sendo retirada uma subamostra de 10 % para medição do comprimento. As raízes secas foram distribuídas uniformemente, sem sobreposição, em placas de vidro transparente e, então, submetidas à digitalização em Scanner HP 3400; o comprimento total de cada subamostra foi quantificado pelo programa SIARCS 3.0 (sistema integrado de análise de raízes e cobertura do solo), segundo Jorge & Crestana (1996). Foi calculada a razão entre o comprimento estimado e a massa de raízes secas, expressa em centímetros por grama.

Método do trado, com a quantificação de massa de raízes secas

Dois subamostras foram coletadas nas entrelinhas, a 5 cm da trincheira onde foram amostrados os monólitos (o mais próximo possível, sem que se provocasse o desbarrancamento), a 35 cm de distância de cada linha de cana (Figura 1). A extração das amostras foi feita com trado de 7,1 cm

de diâmetro interno, com base serrilhada, descrito por Fujiwara et al. (1994). As amostras de solo com raízes de cada camada de 20 cm de profundidade (volume de 0,79 dm³) foram lavadas em peneiras com malha de 2 mm, e as raízes foram secas em estufa a 70 °C, por 96 h. Posteriormente, foram separadas das impurezas (solo e palha) e pesadas em balança semi-analítica. Para obter os dados de cada amostra, foi calculada a média das duas subamostras coletadas.

Método do perfil, com a quantificação de comprimento pelo SIARCS

As mesmas trincheiras em que foram amostrados os monólitos foram aumentadas no sentido da linha de cana, atingindo o comprimento de 140 cm, o suficiente para acomodar uma pessoa na posição e distância adequadas para realização de filmagem do perfil (Figura 1). O perfil foi nivelado no sentido vertical, na mesma parede adjacente da trincheira onde foram retirados os monólitos. Removeu-se, então, uma pequena camada de solo, em torno de 3 cm, utilizando um rolo escarificador, descrito por Jorge (1996), com o objetivo de expor as raízes sem removê-las. O perfil foi pintado com tinta spray branca e, após alguns minutos, foi lavado, utilizando um pulverizador costal para remover a tinta do solo, porém, mantendo-a nas raízes, de forma a aumentar o contraste entre solo e raiz. A delimitação das filmagens foi feita com o auxílio de um quadro reticulado, com malha de 28 x 20 cm, apoiado no perfil, totalizando cinco quadrículas para cada profundidade.

Antes da filmagem, colocou-se uma cobertura de lona de plástico preto para evitar a incidência direta de luz solar. As imagens foram digitalizadas, utilizando placa digitalizadora de 640 x 480 pixels de 24 bits/pixel e convertidas pelo SIARCS em comprimento de raízes por imagem. Foram efetuados os cálculos do comprimento de raízes por volume de solo, considerando o total das cinco quadrículas em cada profundidade nos 3 cm da camada removida do perfil.

Método do perfil, com a contagem do número de raízes

Utilizou-se o mesmo perfil preparado para as filmagens para a contagem visual do número de raízes por quadrícula do quadro reticulado (malha 28 x 20 cm). A contagem foi feita independentemente do comprimento, espessura ou ramificações de cada raiz contada.

Foram realizadas análises de variância e teste de Tukey, assim como estudo de correlações e regressões lineares, por meio do programa SAS (SAS Institute, 1990). Procedeu-se ao estudo de análises de regressões lineares para cada uma das combinações dos fatores estudados: modalidade de colheita, variedades e profundidades, assim como o estudo de igualdade de retas dentro de cada fator, conforme Neter & Wasserman (1974).

Neste estudo de regressões, o método do monólito (massa seca) foi considerado a variável independente para efeito de comparação com os outros quatro métodos (variáveis dependentes).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da quantificação de raízes por cinco métodos de avaliação estudados encontram-se no quadro 2, bem como os dados discriminados por profundidade e por sistema de colheita. A profundidade foi o fator de maior influência na quantidade de raízes, sendo detectadas diferenças significativas pelo teste de Tukey, a 5 %, para todos os métodos testados. O sistema de colheita apresentou efeito significativo sobre a quantidade de raízes, quando a avaliação foi realizada por monólito (comprimento) ou por contagem no perfil. As variedades diferiram apenas quando o método utilizado foi o da contagem no perfil e não ocorreram interações entre os fatores estudados, indicando que são independentes entre si.

Os métodos dos monólitos, com a quantificação de massa seca ou de comprimento de raízes, assim como o método do trado, resultaram em maiores proporções de raízes entre 0-20 cm quando comparados aos métodos do perfil (comprimento ou contagem). Enquanto os métodos dos monólitos e do trado tiveram proporções entre 49,2 e 63,5 % de raízes na superfície, os métodos do perfil tiveram proporções entre 35,0 e 43,4 % nessa camada. Os

métodos dos monólitos e do trado têm como base do levantamento a extração de porções de solo com raízes; portanto, proporcionam uma amostragem volumétrica melhor que os métodos de perfis, os quais são baseados no levantamento de imagens de um plano único.

Comparando o método do monólito com o método do perfil para o levantamento do comprimento de raízes, verificou-se que, nas camadas entre 40 e 60 cm e entre 60 e 80 cm, houve boa equivalência das quantidades de raízes entre os dois métodos. Entretanto, nas camadas superiores, principalmente entre 0-20 cm, o método do monólito apresentou maior comprimento de raízes que o método do perfil, resultando em maior proporção de raízes na superfície. No levantamento do comprimento pelo método do monólito, as raízes são retiradas de um bloco, separadas do solo e colocadas num plano horizontal sobre o "scanner" para captação de imagens, proporcionando uma leitura real do comprimento de raízes. No método do perfil com a quantificação do comprimento, são obtidas imagens do perfil perpendicular à posição da câmara de filmagem. Portanto, a ocorrência de raízes com crescimento horizontal e em direção à câmara de filmagem pode resultar em imagens com predominância de pontas transversais de raízes e, quando computado o comprimento, resultar em valores menores.

Dessa forma, as raízes mais superficiais da cana-de-açúcar que, segundo diversas descrições de Evans (1936), mostram predominância de crescimento horizontal, são subestimadas com relação às raízes

Quadro 2. Quantificação do sistema radicular de cana-de-açúcar por cinco métodos de avaliação, em quatro profundidades, sob dois sistemas de colheita. Médias das duas variedades

Profundidade	Monólito massa seca		Monólito comprimento		Trado massa seca		Perfil comprimento		Perfil contagem	
	cm	g dm ⁻³ %	cm dm ⁻³ %	cm dm ⁻³ %	g dm ⁻³ %	g dm ⁻³ %	cm dm ⁻³ %	cm dm ⁻³ %	n° dm ⁻³ %	n° dm ⁻³ %
Colheita mecanizada de cana crua										
0-20	1,33 a	(52,6)	434 a	(55,4)	1,75 a	(49,2)	144 a	(35,0)	66 a	(40,3)
20-40	0,54 b	(21,3)	164 b	(21,0)	0,96 b	(27,0)	104 b	(25,2)	44 b	(26,8)
40-60	0,39 bc	(15,4)	110 bc	(14,1)	0,54 b	(15,2)	92 bc	(22,3)	31 c	(18,9)
60-80	0,27 c	(10,7)	74 c	(9,5)	0,33 b	(9,3)	72 c	(17,5)	23 d	(13,9)
Média	0,63 A		196 B		0,89 A		103 A		41 B	
Colheita manual de cana queimada										
0-20	1,73 a	(56,9)	584 a	(60,7)	2,44 a	(63,5)	164 a	(36,0)	82 a	(43,4)
20-40	0,66 b	(21,7)	178 b	(18,5)	0,79 b	(20,6)	106 b	(23,2)	45 b	(23,8)
40-60	0,33 b	(10,9)	94 b	(9,8)	0,32 b	(8,3)	95 b	(20,8)	33 b	(17,2)
60-80	0,32 b	(10,5)	106 b	(11,0)	0,29 b	(7,6)	91 b	(20,0)	30 b	(15,7)
Média	0,76 A		241 A		0,96 A		114 A		47 A	

Nas colunas, médias seguidas de letras minúsculas iguais, em profundidade, e letras maiúsculas iguais, entre sistemas de colheita, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5 %. Os números entre parênteses representam o percentual de raízes em cada profundidade.

mais profundas, que mostram predominância de crescimento vertical. Isto é confirmado na composição de imagens do perfil (Figura 2), em que são observadas raízes com mais crescimento horizontal na superfície que as raízes das camadas mais profundas.

Comparando os valores do comprimento de raízes pelo método do perfil e o número de raízes contadas (Quadro 2), constatou-se que o comprimento médio das raízes na superfície (0-20 cm) foi de 2,1 cm, enquanto na camada mais profunda (60-80 cm) foi de 3,1 cm, semelhante à espessura da camada escarificada de solo, confirmando que o método do perfil subestima o comprimento de raízes na superfície. Por outro lado, o método do perfil (comprimento) tem a vantagem de possibilitar a visualização da distribuição do sistema radicular, além do que, se forem feitos vários cortes e preparos de perfis a cada 5-10 cm distanciando-se da planta, pode-se obter uma composição de imagens que reproduz a arquitetura do sistema radicular completo.

Os métodos do perfil do solo com a contagem do número de raízes ou com a filmagem e quantificação do comprimento de raízes pelo SIARCS apresentaram, em geral, os menores coeficientes de variação (Figura 3). Quanto menor o coeficiente de variação, maior a precisão do experimento, indicando que os métodos do perfil do solo foram mais adequados para detectar diferenças entre tratamentos, apesar de terem subestimado a quantidade de raízes na superfície.

Com relação ao perfil com contagem, Vepraskas & Hoyt (1988) também constataram menores coeficientes para este método, quando comparado ao método do tubo amostrador (“core-break”) e concluíram ser um método rápido e de boa exatidão, mas com a desvantagem de expressar os dados como número de raízes por unidade de área, quando o mais interessante seria expressar em comprimento por unidade de volume.

As quantificações de raízes, tanto em massa quanto em comprimento, por meio da extração dos monólitos, tiveram coeficientes superiores aos do perfil. Além da possível perda de raízes no processo de lavagem, durante a extração dos monólitos, podem ocorrer algumas variações de profundidade por causa da variação operacional entre os diferentes trabalhadores envolvidos. Deve ser ressaltado que a pesagem do solo e a conversão dos resultados para volume diminuem o problema, mas não o eliminam. Pelo método do perfil, tais profundidades são fixadas pelas delimitações do quadro reticulado, o que impede que ocorram as variações anteriormente citadas.

O método do trado, com duas subamostras, apresentou o maior coeficiente de variação entre os métodos estudados. Kücke et al. (1995), comparando o método do trado (8 cm de diâmetro) com o do monólito, constataram menores coeficientes para o monólito. Para eles, esse fato pode ser atribuído ao maior volume de solo amostrado por esse último método.

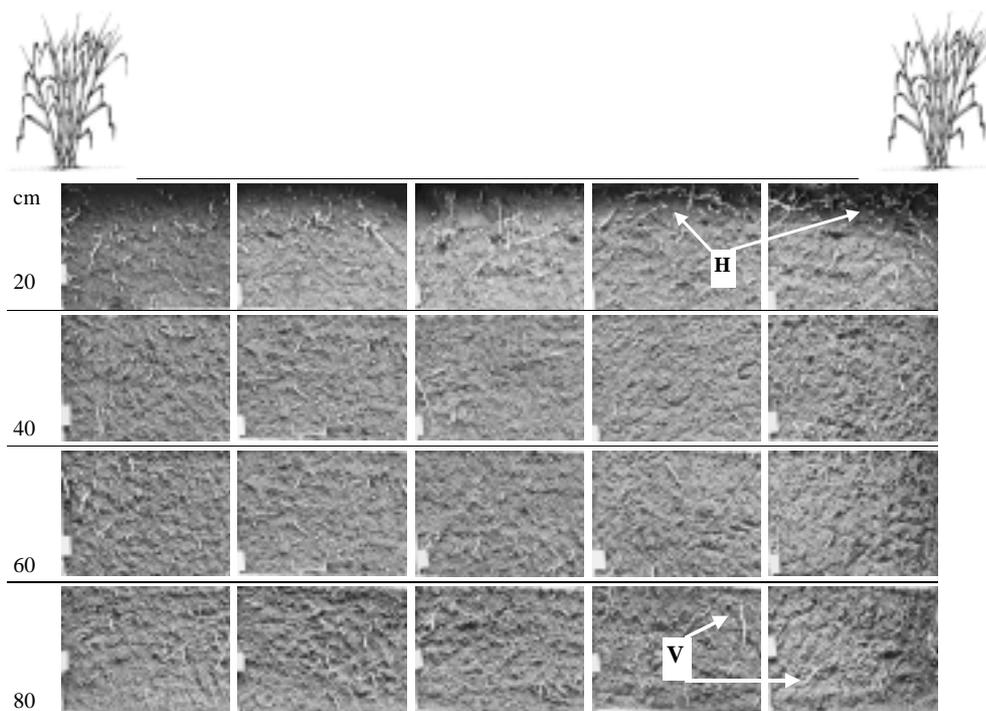


Figura 2. Composição de imagens de um perfil filmado após preparo (escarificação do solo e pintura de raízes), mostrando predominância de crescimento horizontal (H) na superfície e de crescimento vertical (V) nas camadas mais profundas.

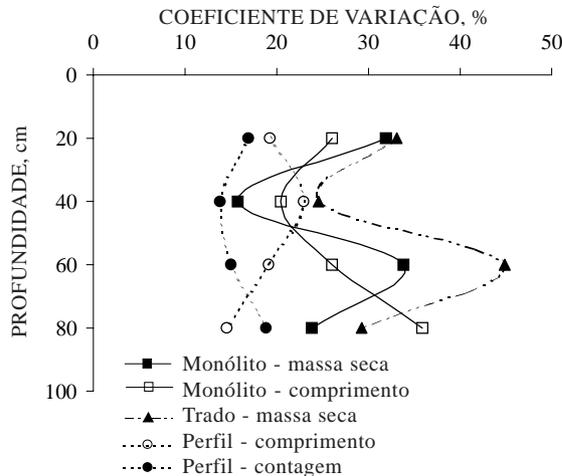


Figura 3. Coeficientes de variação por profundidade para os cinco métodos de avaliação.

Os resultados de massa de raízes secas amostradas com trado e com monólito foram expressos pelas mesmas unidades ($g\ dm^{-3}$). Observou-se que o método do trado superestimou os resultados obtidos com o método do monólito (Quadro 2). Provavelmente, na posição de amostragem com o trado, aos 35 cm de cada linha de plantas, houve maior concentração de raízes do que a correspondente à média do perfil. Vasconcelos et al. (1999) constataram redução gradativa da quantidade de raízes de cana-de-açúcar a partir da linha de plantio para o meio da entrelinha, podendo essas quantidades variar de acordo com a variedade cultivada e seu estágio de desenvolvimento.

Outros fatores também podem influir no perfil de distribuição do sistema radicular, como o espaçamento, o tipo de solo e suas propriedades físico-químicas e as condições climáticas do período antecedente à amostragem, sendo, portanto, difícil fixar o número mínimo de amostras a serem retiradas com o trado e em quais pontos, para haver representatividade do espaço linha-entrelinha. Pode-se supor que a porção mediana desse espaço (a 35 cm da linha) seja a mais adequada, mas o método seria mais representativo com uma composição de amostras espaçadas a cada 5-10 cm. Essa prática, porém, tornaria o método do trado muito mais trabalhoso que o próprio método do monólito, que extrai toda a porção do solo linha-entrelinha.

Em trabalho de Guimarães et al. (1997), raízes de milho foram amostradas com o método do trado, com duas repetições por ponto de amostragem e, ao compará-lo com o método de perfil, avaliando a presença ou ausência de raízes, esses autores observaram que não houve correspondência entre os dados.

Durante o trabalho de campo, observou-se que o método do trado apresentou também o problema de que algumas raízes não são cortadas na operação de

tradagem e passam a circundar o trado externamente, firmando-se ao solo, o que também pode explicar a baixa correlação com outros métodos. É provável que essa eficiência no corte de raízes apresente variações, dependendo do tipo de solo em que forem realizados levantamentos, das condições de umidade, da espessura das raízes e do estado da base serrilhada do trado. No caso de extrações com tubos cilíndricos, Taylor (1986) comentou ser a amostragem impraticável quando o solo apresenta raízes com diâmetros superiores a 2 mm. Durante as amostragens no presente trabalho, foi possível constatar visualmente a presença de raízes com diâmetros superiores a 2 mm.

Na escolha do método a ser utilizado num levantamento, além de sua precisão, devem ser considerados os objetivos da pesquisa e quais parâmetros devem ser quantificados. Com base no estudo da razão entre comprimento e massa de raízes secas extraídas por monólitos, observa-se que ocorreram diferenças entre as variedades, profundidades e sistemas de colheita (Figura 4). Entre 20-40 cm, houve uma redução da referida razão para a variedade IAC87-3396 e para o sistema de colheita manual de cana queimada. Isso representa maior redução do comprimento em relação à massa de raízes secas entre 20-40 cm, causada pela maior densidade do solo nessa camada (Quadro 1).

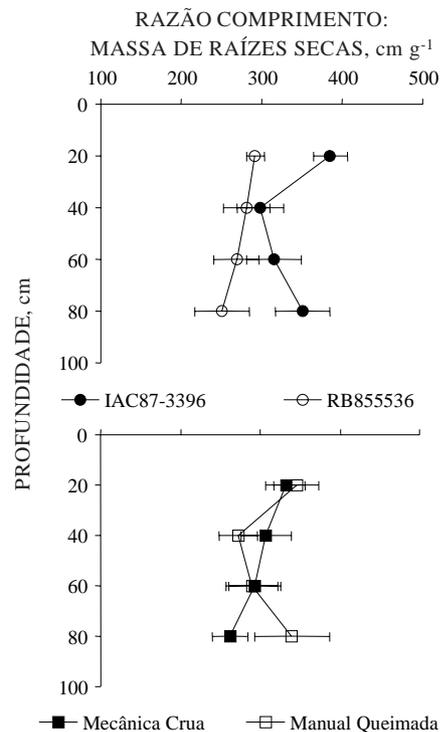


Figura 4. Razão entre comprimento e massa de raízes secas extraídas pelo método do monólito, para as variedades IAC87-3396 e RB855536, em dois sistemas de colheita. As barras representam o erro-padrão da média.

De Maria et al. (1999) constataram que o sistema radicular foi reduzido entre 10-20 cm, quando a densidade e a resistência do solo foram elevadas nessa camada por causa do método de preparo do solo. A RB855536 não apresentou tal comportamento, mostrando maior tolerância à camada adensada, mas, por outro lado, houve redução dessa razão nas camadas mais profundas, indicando que a redução de comprimento de raízes nessas camadas pode ter sido causada pela maior sensibilidade dessa variedade à saturação por alumínio crescente em profundidade.

Desta forma, pode-se inferir que a relação entre comprimento e massa das raízes depende da interação entre os atributos do solo, a variedade e o manejo, enquanto a constatação de alterações de comprimento e, ou, de massa depende do método escolhido para o levantamento.

Pelos estudos de regressão, constatou-se que os métodos do monólito (comprimento), do perfil (comprimento) e do perfil (contagem) relacionaram-se linearmente com o método do monólito (massa seca), havendo igualdade de retas para os fatores estudados; ou seja, não houve diferença entre a variância dos erros de regressão entre variedades, entre sistemas de colheita e entre profundidades e, portanto, a relação entre o método do monólito (massa seca) e cada um dos outros métodos pode ser expressa por uma única reta, para cada comparação (Figura 5).

Entretanto, o método do trado apresentou correlação negativa, em profundidade, com o método do monólito (massa seca), também não havendo igualdade de retas para o fator variedade. Por isso, as regressões estão representadas separadamente por profundidade e para as duas variedades estudadas (Figura 6). A utilização do trado para amostragem de raízes de cana-de-açúcar, com apenas duas subamostras, não se mostrou adequada. O aumento do número de subamostras pode melhorar a representatividade do método, mas

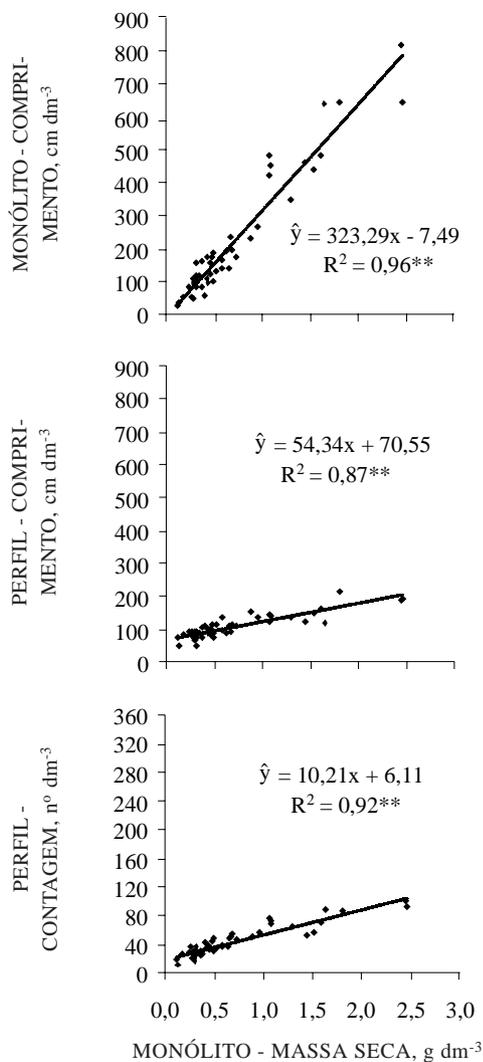


Figura 5. Regressões lineares dos métodos do monólito (comprimento), perfil (imagem) e perfil (contagem), comparados ao monólito massa seca. n= 48 pares; ** significativo a 1 % pelo teste F.

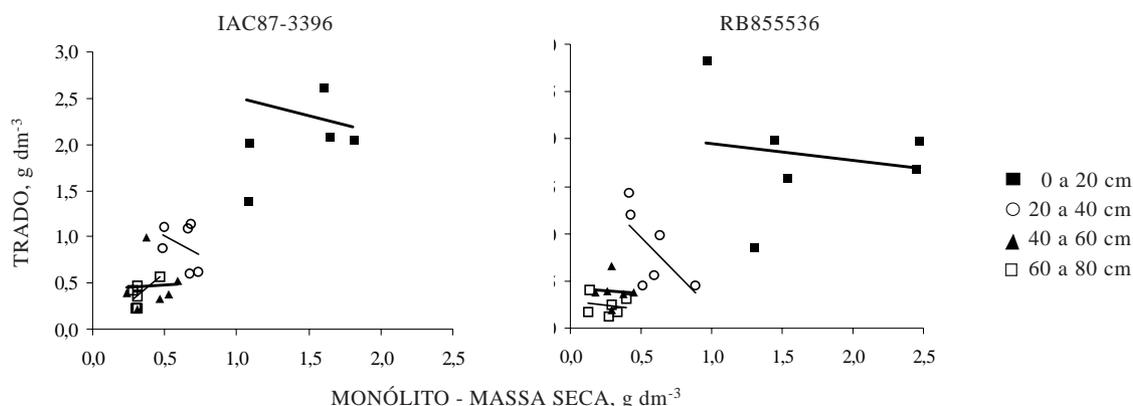


Figura 6. Relação entre os métodos do trado e o método do monólito (massa seca), em quatro profundidades, para as duas variedades estudadas.

umenta a quantidade de trabalho e o custo das operações, se comparado aos outros métodos disponíveis, como comentado anteriormente.

Salienta-se que as avaliações, neste trabalho, foram realizadas em apenas uma época de desenvolvimento da cana-de-açúcar, aos oito meses, durante o quinto ciclo, e não permite a extrapolação de resultados entre métodos, em diferentes épocas de levantamento, o que corrobora as considerações de Gäth & Meuser (1989) e de Köpke (1979), citados por Kücke et al. (1995), ao afirmarem que os fatores de correção dos métodos indiretos com relação ao monólito variam durante o desenvolvimento da cultura. Isto se justifica pelo aumento do diâmetro das raízes e pelas alterações na arquitetura do sistema radicular.

CONCLUSÕES

1. O método do trado, com duas subamostras, superestimou a quantidade de raízes.

2. Os atributos físicos e químicos do solo têm influência sobre a razão entre comprimento e massa de raízes secas para diferentes variedades, profundidades e sistemas de colheita, o que pode influenciar a eficiência e a precisão dos métodos de estudo de raízes.

3. Os métodos de estudo de raízes em perfil foram os mais adequados para detectar diferenças entre tratamentos, por apresentarem menores coeficientes de variação, mas podem subestimar a quantidade de raízes na camada superficial do solo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à contribuição técnica e operacional da equipe da Usina Nova América (Tarumã, SP) e do Núcleo de Agronomia do Vale do Paranapanema (Instituto Agronômico de Campinas), assim como o suporte financeiro da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo.

LITERATURA CITADA

BALL-COELHO, B.; SAMPAIO, E.V.S.B.; TIESSEN, H. & STEWART, J.W.B. Root dynamic in plant-ratoon crop of sugar cane. *Plant Soil*, 142:297-305, 1992.

BÖHM, W. In situ estimation of root length at natural soil profiles. *J. Agric. Sci.*, 87:365-368, 1976.

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

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. *R. Bras. Ci. Solo*, 18:365-371, 1994.

DE MARIA, I.C.; CASTRO, O.M. & SOUZA DIAS, H. Atributos físicos do solo e crescimento radicular de soja em Latossolo Roxo sob diferentes métodos de preparo do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 23:703-709, 1999.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília, 1999. 412p.

EVANS, H. The root system of the sugar cane. III. The early development of the root system of sugar cane in Mauritius. *Emp. J. Exper. Agron.*, 4:325-331, 1936.

FUGIWARA, M.; KURACHI, S.A.H.; ARRUDA, F.B.; PIRES, R.C.M. & SAKAI, E. A técnica de estudo de raízes pelo método do trado. Campinas, Instituto Agronômico de Campinas, 1994. 9p. (Boletim Técnico, 153)

GUIMARÃES, M.F.; JORGE, L.A.C.; DE MARIA, I.C.; TAVARES FILHO, J.; BICUDO, S.J. & CRESTANA, S. Três metodologias de avaliação de raízes: descrição, limitações e vantagens. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE INSTRUMENTAÇÃO AGROPECUÁRIA, 1., São Carlos, 1996. Anais. São Carlos, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Centro Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento de Instrumentação Agropecuária, 1997. p.295-304.

JORGE, L.A.C., coord. Recomendações práticas para aquisição de imagens digitais analisadas através do SIARCS. São Carlos, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Centro Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento de Instrumentação Agropecuária, 1996. 57p. (Circular Técnica, 1/96)

JORGE, L.A.C. & CRESTANA, S. Measurement of root length by digital image analysis. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PHYSICS AND INDUSTRIAL DEVELOPMENT: BRIDGING THE GAP, 2., Belo Horizonte, 1996. Proceedings. Singapura, World Scientific, 1996. p.370-375.

KÖPKE, V. Methods for studying root growth. In: SYMPOSIUM ON THE SOIL/ROOT SYSTEM, 1., Londrina, 1980. Proceedings. Londrina, Fundação Instituto Agronômico do Paraná, 1981. p.303-318.

KÜCKE, M.; SCHMID, H. & SPIESS, A. A comparison of four methods for measuring roots in field crops in three contrasting soils. *Plant Soil*, 172:63-71, 1995.

NETER, J. & WASSERMAN, W. *Applied linear statistical models: regression, analysis of variance and experimental designs*. Illinois, Richard D. Irwin, 1974. 842p.

RUSSEL, R.S. & ELLIS, F.B. Estimation of the distribution of plant roots in soil. *Nature*, 217:583-583, 1968.

SAS INSTITUTE. *Statistical Analysis System Institute. Statistical Analysis System: Procedures guide for personal computers*. Version 6. Cary, 1990. 705p.

TAYLOR, H.M. *Methods of studying root system in field*. Hort Sci., 21:952-959, 1986.

- VASCONCELOS, A.C.M. Comportamento de clones IAC e variedades de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) nas condições edafoclimáticas da região do Vale do Paranapanema. Jaboticabal, Universidade Estadual Paulista, 1998. 108p. (Tese de Mestrado)
- VASCONCELOS, A.C.M.; CASAGRANDE, A.A.; BARBOSA, J.C. & LANDELL, M.G.A. Aplicação de método de amostragem do sistema radicular da cana-de-açúcar. In: CONGRESSO LATINOAMERICANO DE CIENCIA DEL SUELO, 14., Pucon, 1999. Proceedings. Pucon, Sociedad Latinoamericana de la Ciencia del Suelo, 1999. p.832.
- VEPRASKAS, M.J. & HOYT, G.D. Comparison of the trench-profile and core methods for evaluation root distributions in tillage studies. *Agron. J.*, 80:166-172, 1988.
- WILLAT, S.T.; STRUSS, R.G. & TAYLOR, H.M. In situ studies using neutron radiography. *Agron. J.*, 70:581-586, 1978.
- YANG, S.J. Soil physical properties and the growth of ratoon cane as influenced by mechanical harvesting. In: CONGRESS OF INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS, 16., São Paulo, 1977. Proceedings. São Paulo, International Society of Sugar Cane Technologists, 1977. p.835-847.