

EFEITOS DO LODO DE ESGOTO NA DISTRIBUIÇÃO RADICULAR E NOS TEORES DE METAIS PESADOS EM CANA-DE-AÇÚCAR ¹

Fábio Cesar da Silva ²

Lorival Fante Jr. ³

José Ademir Rodrigues ⁴

João Eduardo Pilotto ⁴

Antônio Enedi Boaretto ⁵

Júlio César M. de Oliveira ⁶

Ronaldo Severiano Berton ⁷

Helder Bazaglia Zotelli ⁸

O conhecimento da distribuição radicular da cana-de-açúcar e da taxa de transferência de metais pesados do resíduo aplicado para a mesma cultura é de grande interesse prático para nortear o manejo sustentável dos solos quando se faz a reciclagem de resíduos e se visa a otimização da produtividade agrícola.

No tocante ao desenvolvimento do sistema radicular da cana-de-açúcar, Sousa (1976), Lee (1926) e Dillewijn (1952) relataram que a distribuição das raízes da cana adulta é influenciada pelo balanço de nutrientes, o teor de água e a aeração do solo. Dentre esses autores, Lee (1926) concluiu que a aeração constitui o principal fator para que as raízes da cana tenham uma boa superfície de absorção. Trabalhos sobre quantificação de raízes em cana-de-açúcar são raros, merecendo destaque aqueles pioneiros de Inforzato & Alvarez (1957), no Brasil, e de Lee (1926), nas Ilhas Havaianas, nos quais foram quantificados os valores totais acumulados em profundidade no perfil, da superfície a 20, 30 e 50 cm, perfazendo-se 50, 65 e 85 % do total, respectivamente. As quantidades de raízes acrescidas ao solo seriam da ordem de 8 t/ha (Inforzato & Alvarez, 1957).

¹ Pesquisa financiada com apoio FAPESP/Embrapa.

² Eng. Agrôn. e Eng. Flor., D.Sc., Embrapa-Centro Nacional de Pesquisa de Solos (CNPS), Rua Jardim Botânico, 1.024, CEP 22460-000, Jardim Botânico, Rio de Janeiro, RJ. E-mail: fabio@cnpes.embrapa.br. Bolsista do CNPq.

³ Eng. Agrôn., M.Sc., USP-CENA, Piracicaba, SP. Bolsista da FAPESP.

⁴ Eng. Agrôn., USP-CENA, Piracicaba, SP.

⁵ Eng. Agrôn., D.Sc., USP-CENA, Piracicaba, SP. Bolsista do CNPq.

⁶ Físico, D.Sc., UEL-Departamento de Física, Londrina, PR. Bolsista do CNPq.

⁷ Eng. Agrôn., Ph.D., IAC-SFNP, Campinas, SP.

⁸ Eng. Agrôn., Usina Costa Pinto, Piracicaba, SP.

A transferência de metais pesados do resíduo para a cana-de-açúcar e a contaminação ambiental pela aplicação de resíduos ao solo praticamente não ocorrem quando são secados os resíduos gerados na agroindústria sucroalcooleira, se adicionados ao solo na dose recomendada pela pesquisa, com exceção daqueles metais que são também micronutrientes. Este fato foi observado quando houve adições de vinhaça (Camargo et al., 1983) e da torta de filtro (Coleti et al., 1986) ao solo. Entretanto, outros resíduos produzidos externamente a esta agroindústria podem conter metais pesados. Nesta linha, encontram-se os trabalhos de Silva et al. (1995) e Silva (1995), que estudaram os efeitos da aplicação de lodo de esgoto (Le) na soqueira e na cana-planta e nos teores de metais pesados nos componentes do sistema solo-planta, respectivamente.

Dando prosseguimento às pesquisas com utilização do lodo de esgoto em cultura de cana-de-açúcar, estudou-se o efeito residual da aplicação no sulco de plantio e o efeito da reaplicação de Le em sulco na entrelinha. Os efeitos foram avaliados na distribuição do sistema radicular, na transferência de metais pesados no sistema solo-planta, na produtividade agrícola de colmos e na produção de açúcar.

O ensaio de campo foi montado em blocos ao acaso, com 15 tratamentos e 3 repetições, constituídos pela combinação de três doses de Le (0, 20 e 40 t/ha, peso úmido), aplicadas no sulco de plantio, com adubação NP, NK, PK e NPK (nas dosagens de 60, 80 e 100 kg/ha de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente) e sem adubação. Posteriormente, ao corte da cana-planta, dividiram-se as parcelas em duas metades iguais de 5 linhas de 6 metros. Uma metade da parcela foi deixada para se verificar o efeito residual do Le e, na segunda metade, reaplicou-se o Le num sulco na entrelinha, nas mesmas doses aplicadas no sulco do plantio.

O Le foi analisado, obtendo-se: C = 71, N = 22, P = 10, Al = 2,0, Ca = 11,5, Mg = 3,5, K = 2,0, S = 10 e Fe = 50 (em g.kg⁻¹ de matéria seca); Cu = 905, Mn = 505, Cd = 25, Cr = 645, Ni = 445, Pb = 265 e Zn = 1880 (em mg.kg⁻¹ de matéria seca); pH = 10 e água = 620 g.kg⁻¹.

Para se avaliar o efeito na fertilidade do solo do Le, foram retiradas, aos 4 meses após o corte da cana-planta, amostras de terra nas camadas de 0 a 20 e 20 a 50 cm. As amostras foram analisadas pelo sistema IAC e os metais pesados (Cr, Cd, Cu, Fe, Mn, Pb e Zn) foram extraídos do solo por solução de DTPA, pH 7,3 (relação = 2:1) e determinados em espectrômetro de emissão atômica com plasma acoplado (ICP). Na colheita final, amostrou-se a parte aérea da cultura. O material vegetal foi seco em estufa, moído e digerido para determinação dos nutrientes e metais pesados, sendo que estes últimos foram determinados no IAC.

A avaliação do sistema radicular da cana-de-açúcar foi realizada segundo o método do monólito (Bohm, 1979). Num perfil do solo de 100 cm de largura por 60 cm de profundidade, perpendicular à linha da cultura e centrado na linha das plantas, foram coletadas amostras indeformadas, via monólitos de dimensões 10 x 10 x 3 cm, em regiões de 10 x 10 cm e em camadas de 10 cm da superfície até a profundidade de 60 cm. Retiraram-se 5 monólitos por camada, separados entre si por, aproximadamente, 10 cm, totalizando-se 30 amostras por parcela (Figura 1), compreendendo os tratamentos: testemunha, adubação química comercial, 20 e 40 t/ha de Le adicionado no sulco de plantio e estas mesmas doses reaplicadas nas entrelinhas da cana-planta após o corte. Posteriormente, as raízes foram separadas do solo por meio de peneiras de malhas de 0,5 mm e 0,2 mm, após dispersá-las em água. Determinou-se a massa seca das raízes de cada região de 10 x 10 cm, secando-as em estufa à temperatura de 60° C por 24 horas. A massa seca radicular total por camada foi determinada pela soma das massas secas obtidas nas regiões de 10 x 10 cm (posições amostradas de 1 a 5), assim como a massa seca total no perfil foi determinada pela soma das massas obtidas nas camadas entre 0 e 60 cm.

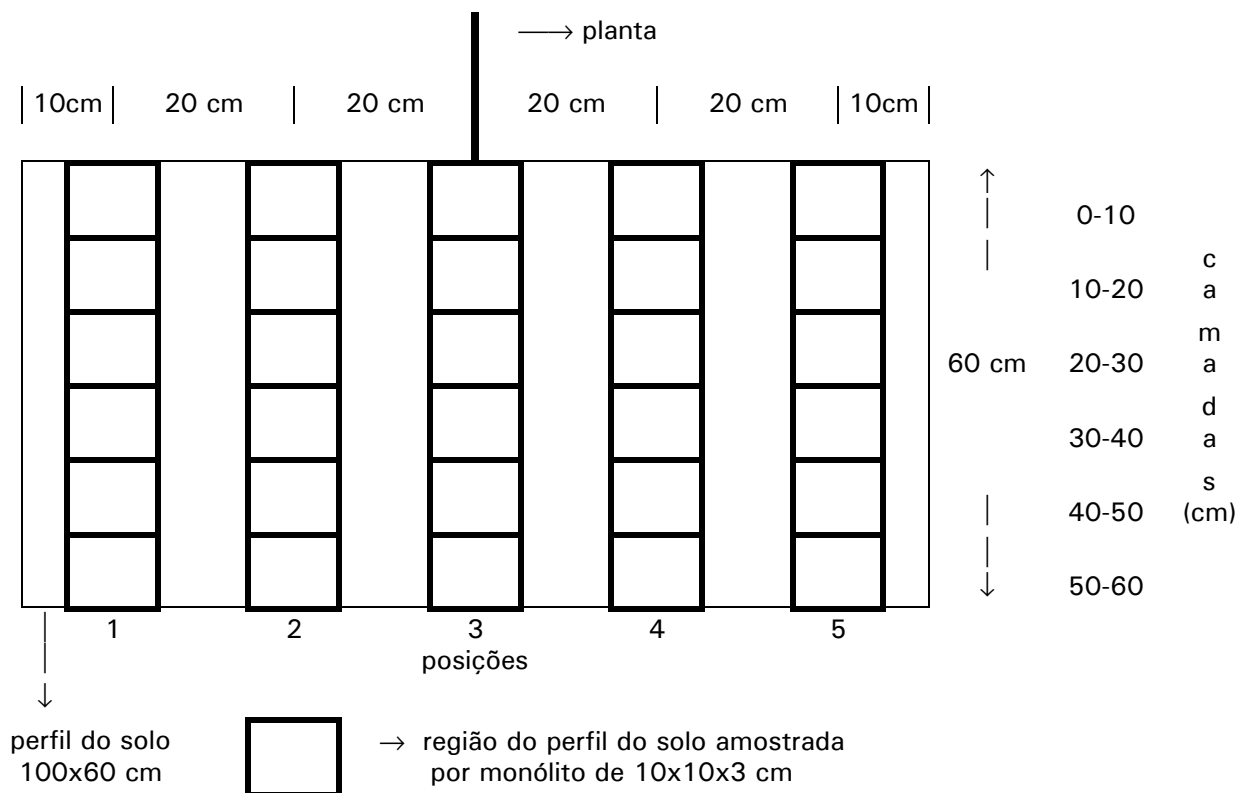


FIGURA 1. Esquema do arranjo experimental utilizado para a amostragem do sistema radicular da cultura da cana-de-açúcar.

Sistema Radicular e Fertilidade do Solo

Nas Tabelas 1 e 4 são apresentados os resultados dos teores de metais pesados e da fertilidade do solo e nas Tabelas 2 e 3, os da massa seca radicular. Os valores encontrados para a massa seca radicular por camada são mostrados em detalhe na Figura 2 e os valores referentes às regiões de 10 x 10 cm (posições de 1 a 5), para as camadas entre 0 e 30 cm e para os diferentes tratamentos, são apresentados na Figura 3.

Observa-se, nas Tabelas 2 e 3 e na Figura 2, que praticamente toda a massa radicular (em torno de 90 a 95% do total do perfil do solo considerado) distribuiu-se entre as camadas de 0 a 30 cm, indicando maior tendência de concentração das raízes como observado na literatura (Inforzato & Alvarez, 1957; Lee, 1926). Este fato indica que a aplicação de Le no sulco de plantio promoveu uma distribuição com maior concentração de raízes da cana adulta nas proximidades onde localizou-se o lodo, o que deve estar associado aos seus efeitos de fornecimento equilibrado de nutrientes, de correção da acidez, de melhor aeração e de maior umidade retida no solo (Silva, 1995; Sousa, 1976; Lee, 1926; Silva et al., 1995). Tal aspecto é enfatizado pelas análises químicas das amostras de terra, principalmente aquelas realizadas na linha de plantio (Tabelas 1 e 4). Em dados paralelos, verificou-se que o Le propiciou um melhor armazenamento da água no solo, o que traria benefícios semelhantes ao observado na aplicação de torta de filtro no sulco de plantio (Coleti et al. 1986).

TABELA 1. Teores médios de metais pesados, fósforo, soma e saturação de bases e pH de a mostras de solo, em duas camadas dos diferentes tratamentos, aos 4 meses após o corte da cana-planta, nas linhas e entrelinhas.

Análises químicas do solo profundidade/posição												
Tratamentos	pH (1)	MO %	H + Al (2)	P (3)	Pb (4)	Ni (4)	Cu (4)	Fe (4)	Mn (4)	Cr (4)	Cd (4)	Zn (4)
Linhas - 0 a 20 cm												
NPK	6,2	2,1	14,0	21	1,3	1,8	5,3	56	23,7	0,01	0,09	9,8
CTC = 149,5 mmolc.dm ⁻³ SB = 130,2 mmolc.dm ⁻³ V = 64%												
Le(20)	6,8	2,3	16,2	40	1,4	1,9	6,2	59	25,8	0,02	0,12	12,5
CTC = 173,2 mmolc.dm ⁻³ SB = 156,9 mmolc.dm ⁻³ V = 70%												
Le (40)	6,7	2,5	11,6	70	1,7	2,2	9,4	64	24,4	0,03	0,16	15,3
CTC = 169,0 mmolc.dm ⁻³ SB = 154,4 mmolc.dm ⁻³ V = 88%												
Entrelinhas - 0 a 20 cm												
NPK	5,6	2,5	18,0	11	1,3	1,8	4,5	51	25,0	0,02	0,09	8,8
CTC = 35,9 mmolc.dm ⁻³ SB = 20,9 mmolc.dm ⁻³ V = 53%												
Le (20 + 20)	6,2	2,4	10,9	22	1,3	1,8	6,8	57	21,3	0,02	0,11	11,4
CTC = 136,1 mmolc.dm ⁻³ SB = 125,4 mmolc.dm ⁻³ V = 84%												
Le (40 + 40)	6,8	2,2	8,0	62	1,5	2,4	7,8	54	23,0	0,08	0,12	14,1
CTC = 136,1 mmolc.dm ⁻³ SB = 125,4 mmolc.dm ⁻³ V = 88%												
Linhas - 20 a 50 cm												
NPK	5,6	1,2	14,9	10	0,9	0,3	0,8	32	24,9	0,01	0,03	1,5
CTC = 35,9 mmolc.dm ⁻³ SB = 20,9 mmolc.dm ⁻³ V = 53%												
Le (20)	6,0	1,8	16,1	12	0,9	0,5	1,0	30	18,5	0,03	0,02	1,1
CTC = 38,2 mmolc.dm ⁻³ SB = 25,7 mmolc.dm ⁻³ V = 58%												
Le (40)	6,3	1,4	11,9	11	0,8	0,3	1,1	28	16,6	0,02	0,02	1,1
CTC = 39,6 mmolc.dm ⁻³ SB = 27,7 mmolc.dm ⁻³ V = 68%												
Entrelinhas - 20 a 50 cm												
NPK	5,4	1,0	15,0	8	1,1	0,3	0,8	31	24,8	0,01	0,02	1,0
CTC = 33,8 mmolc.dm ⁻³ SB = 18,8 mmolc.dm ⁻³ V = 54%												
Le (20 + 20)	6,2	1,0	11,1	11	1,0	0,3	0,8	28	18,2	0,03	0,02	1,6
CTC = 20,7 mmolc.dm ⁻³ SB = 31,8 mmolc.dm ⁻³ V = 65%												
Le (40 + 40)	6,3	1,3	12,0	26	1,1	0,4	1,3	32	16,9	0,02	0,03	2,2
CTC = 52,8 mmolc.dm ⁻³ SB = 40,8 mmolc.dm ⁻³ V = 72%												

(1) extraído em CaCl₂ 0,01M

(2) potenciometria com tampão SMP; expresso em mmolc.dm⁻³ de terra

(3) resina trocadora de íons; expresso em mg.dm⁻³ de TFSA

(4) DTPA pH 7,3; expresso em mg.dm⁻³ de TFSA

Le = lodo de esgoto

TABELA 2. Valores obtidos de massa seca radicular para as regiões de 10x10cm, em função da posição da amostra e da camada de solo nos diferentes tratamentos.

Massa seca radicular (g)					
Camada (cm)	Posição				
	1	2	3	4	5
Testemunha					
0 - 10	0,847	1,207	2,136	1,077	0,810
10 - 20	0,172	0,386	1,647	0,385	0,200
20 - 30	0,028	0,029	0,406	0,029	0,042
30 - 40	0,021	0,004	0,039	0,003	0,021
40 - 50	0,074	0,247	0,086	0,002	0,064
50 - 60	0,086	0,208	0,132	0,025	0,039
Adubação NPK					
0 - 10	0,741	1,236	2,831	1,053	0,810
10 - 20	0,859	0,494	1,575	0,831	0,311
20 - 30	0,098	0,218	0,513	0,628	0,044
30 - 40	0,000	0,000	0,187	0,000	0,000
40 - 50	0,000	0,000	0,026	0,000	0,000
50 - 60	0,024	0,007	0,187	0,000	0,056
Le (20 t/ha)					
0 - 10	0,272	0,752	1,910	1,222	0,316
10 - 20	0,250	0,401	0,982	1,404	0,281
20 - 30	0,004	0,029	0,205	0,740	0,028
30 - 40	0,000	0,003	0,000	0,159	0,000
40 - 50	0,004	0,039	0,136	0,306	0,048
50 - 60	0,019	0,057	0,107	0,145	0,050
Le (20 + 20 t/ha)					
0 - 10	0,360	1,573	0,818	0,852	0,618
10 - 20	0,134	0,989	1,757	1,432	0,491
20 - 30	0,027	0,684	1,381	0,106	0,007
30 - 40	0,000	0,057	0,299	0,037	0,007
40 - 50	0,005	0,004	0,000	0,000	0,000
50 - 60	0,010	0,299	0,000	0,004	0,016
Le (40 t/ha)					
0 - 10	0,364	0,714	3,969	0,816	0,571
10 - 20	0,420	1,083	3,754	0,241	0,643
20 - 30	0,277	0,360	0,814	0,099	0,027
30 - 40	0,000	0,000	0,160	0,029	0,000
40 - 50	0,022	0,000	0,000	0,000	0,000
50 - 60	0,025	0,007	0,036	0,008	0,024
Le (40 + 40 t/ha)					
0 - 10	0,456	0,610	2,269	0,423	0,304
10 - 20	0,267	0,500	1,784	0,483	0,625
20 - 30	0,000	0,204	0,735	0,165	0,152
30 - 40	0,000	0,022	0,246	0,026	0,225
40 - 50	0,000	0,038	0,110	0,202	0,116
50 - 60	0,015	0,032	0,056	0,220	0,075

TABELA 3. Valores obtidos de massa seca total radicular por camada e os seus percentuais calculados em função da massa total retirada no perfil do solo.

Massa seca radicular													
Tratamentos	camada (cm)												
	0 - 10		10 - 20		20 - 30		30 - 40		40 - 50		50 - 60		
	g	%	g	%	g	%	g	%	g	%	g	%	
Testemunha	6,1	58	2,8	27	0,5	5	0,1	1	0,5	5	0,5	5	
total no perfil = 10,5 g													
Adubação NPK	6,7	52	4,1	32	1,5	12	0,2	2	0,0	0	0,3	2	
total no perfil = 12,8 g													
Le (20)	4,5	45	3,3	33	1,0	10	0,2	2	0,5	5	0,4	4	
total no perfil = 9,9 g													
Le (20 + 20)	4,2	35	4,8	40	2,2	18	0,4	3	0,0	0	0,3	3	
total no perfil = 11,9 g													
Le (40)	6,4	44	6,1	42	1,6	11	0,2	1	0,0	0	0,1	1	
total no perfil = 14,4 g													
Le (40 + 40)	4,1	39	3,7	35	1,3	12	0,5	5	0,5	5	0,4	4	
total no perfil = 10,5 g													

TABELA 4. Análise da variância para os teores de metais pesados no solo da cana-soca.

Estatística descritiva		Cu	Fe	Mn	Zn	Cd	Cr	Ni	Pb
Causa de variação (Valor F)	Profundidade	**	**	*	**	**	ns	**	**
	Reaplicação	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	Le - residual	*	ns	ns	*	*	ns	ns	ns
	Fórmula química	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Estatística de variação	DMS 5% (ppm)	2,84	10,44	6,71	4,81	0,04	0,046	0,793	0,223
	DMS 1% (ppm)	3,40	12,49	8,03	5,78	0,05	0,056	0,949	0,266
	CV (%)	34,731	26,089	26,686	41,503	39,498	39,290	36,518	20,382
	Média geral (ppm)	3,812	44,606	22,156	6,682	0,07	0,025	1,148	1,129

* = significativo a 5% de probabilidade no teste F

** = significativo a 1% de probabilidade no teste F

ns = não significativo

Le = lodo de esgoto

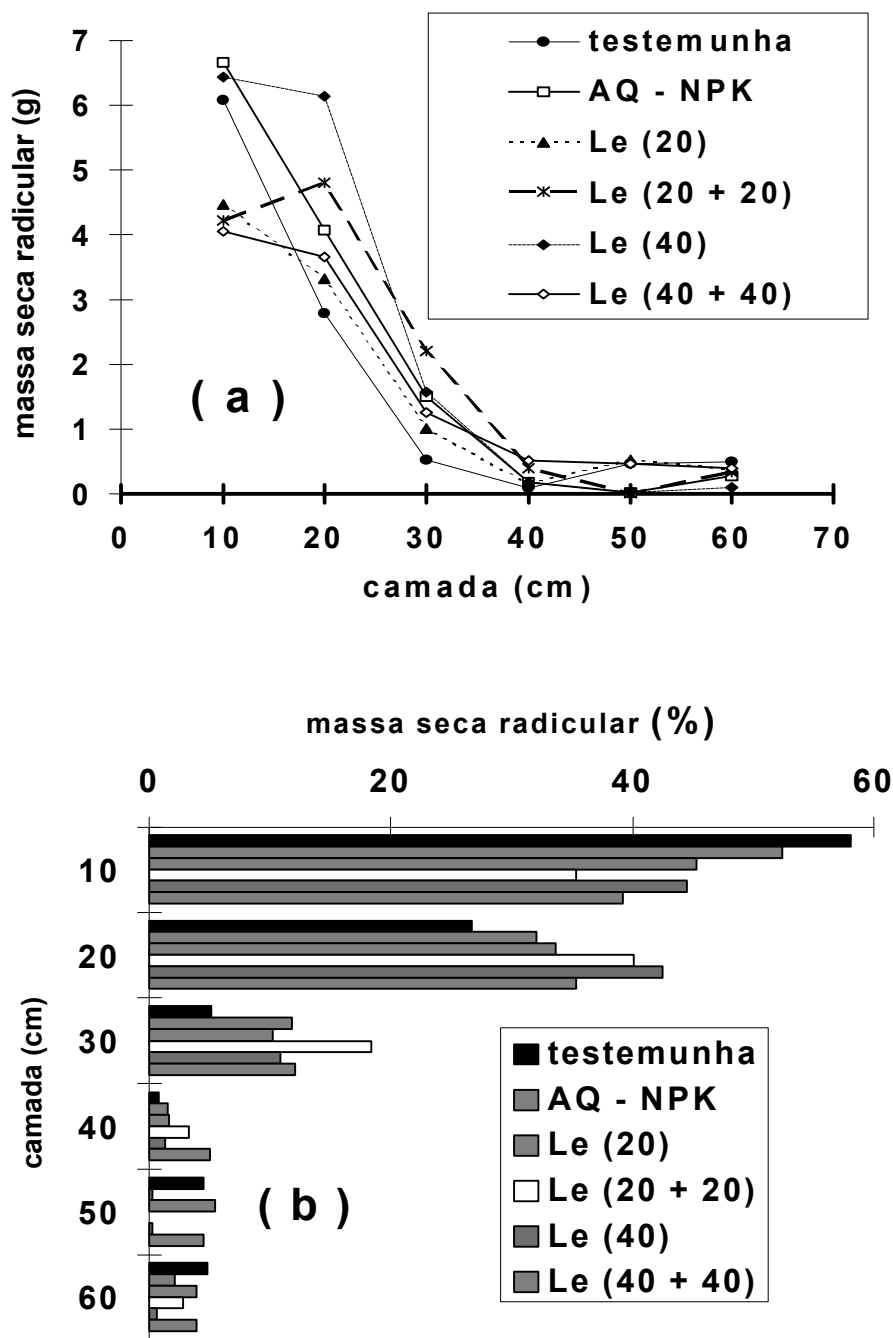


FIGURA 2. Distribuição dos valores de massa seca radicular total, (a) gramas e (b) percentual, em função da camada de solo amostrada e para os diferentes tratamentos.

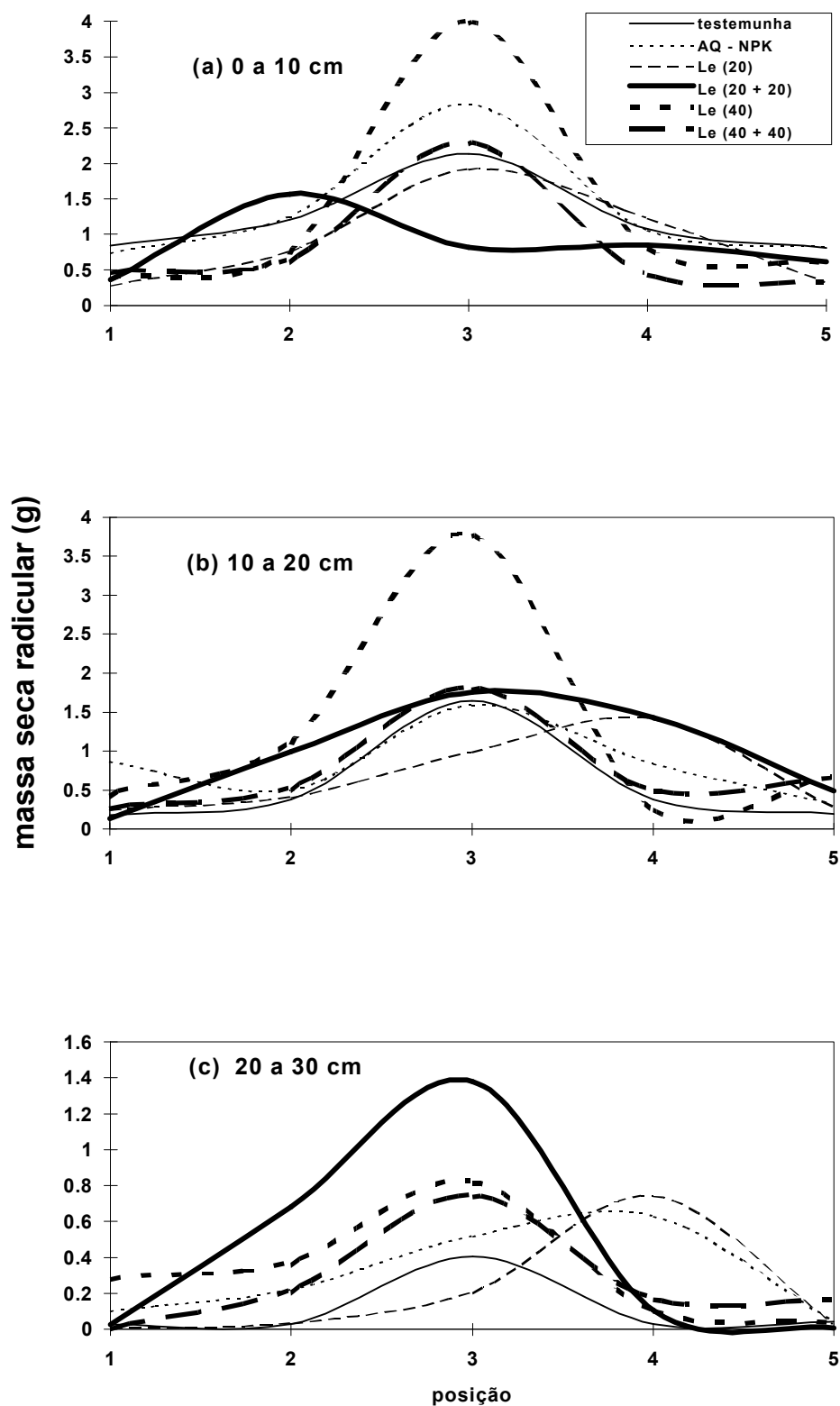


FIGURA 3. Distribuição espacial dos valores de massa seca radicular em função das posições relativas à linha da cultura (Figura 1) para as camadas: (a) 0 a 10 cm, (b) 10 a 20 cm e (c) 20 a 30 cm e para os diferentes tratamentos estudados.

Os valores encontrados para massa seca radicular, em função das regiões de 10x10 cm e das camadas amostradas e para os diferentes tratamentos, estão apresentados na Tabela 2. Já os valores totais obtidos pelo somatório entre as posições de 1 a 5 para as respectivas camadas, bem como os correspondentes percentuais em função do total de massa amostrado no perfil, estão apresentados na Tabela 3.

Observou-se maior acúmulo de massa seca de raiz para as camadas entre 10 e 40 cm nos diferentes tratamentos quando comparadas à testemunha (Tabela 3 e Figura 2). As distribuições de massa seca radicular em função da camada amostrada (Figura 2, letra a) apresentaram, para a testemunha e para o tratamento com adubação NPK comercial, comportamentos decrescentes (do tipo exponencial). Para os demais tratamentos, foram verificados comportamentos satisfatoriamente entendidos por ajustes do tipo polinomial de ordem ≥ 3 . Tal diferenciação entre esses comportamentos deve-se ao fato de que a aplicação e a reaplicação do resíduo proporcionaram maior crescimento radicular para a camada de 10-20 cm (Tabela 2).

Os valores encontrados para massa total radicular retirada no perfil do solo variaram de acordo com os tratamentos, sendo o maior valor de massa observado para a parcela onde aplicou-se 40 t/ha de Le no plantio. Quanto à distribuição espacial do sistema radicular, pode-se observar que, para as camadas entre 0 e 30 cm e para a maioria dos tratamentos (Figura 3), ocorreu maior concentração de massa seca radicular na posição central da planta, ou seja, na linha da cultura (posição 3). Entretanto, para determinados tratamentos, principalmente para a reaplicação de 20 t/ha de Le, encontraram-se consideráveis quantidades de massa também nas entrelinhas, proporcionando uma distribuição não concentrada na posição central da planta.

Os benefícios da adição de lodo, aumentando a biomassa radicular e sua distribuição no solo, propiciaram, em relação à testemunha que produziu apenas 79 t/ha, maiores produtividades agrícolas, tanto pelo efeito residual, produzindo de 134 a 169 t/ha, quanto pela reaplicação do resíduo, produzindo de 136 a 176 t/ha (Tabelas 5 e 6). Todavia, Bacchi (1976) alerta que a diminuição da produtividade agrícola não é proporcional à restrição ao desenvolvimento radicular.

TABELA 5. Análise da variância para as produtividades de biomassa e de açúcar na cana-soca.

Estatística descritiva		Produtividade		
		Biomassa t/ha	Açúcar	
			t pol/ha	TAH
Causa de variação (Valor F)	Blocos	-	-	-
	Le t/ha	**	**	**
	Fórmula química	*	*	*
	Fórmula química x Le	ns	ns	ns
Estatística de variação	CV (%)	13,774	16,026	15,437
	Média geral	138,52	18,872	14,622

* = significativo a 5% de probabilidade no teste F

** = significativo a 1% de probabilidade no teste F

ns = não significativo

Le = lodo de esgoto

pol = sacarose aparente

TAH = tonelada de açúcar recuperável na indústria por hectare

TABELA 6. Teste de Tukey para as produtividades agrícola e econômica médias obtidas nos diferentes tratamentos com lodo de esgoto aplicado à cana-de-açúcar.

Tratamento	Produtividade		
	Biomassa t/ha	Açúcar	
		t pol/ha	TAH
testemunha	78,9b	11,1b	8,6b
20 t/ha Le	134,0a	17,8ab	14,1a
20 + 20	135,5a	18,6a	14,3a
40 t/ha	169,0a	22,7a	17,5a
40 + 40	175,8a	24,2a	18,6a
DMS - 5%	44,2	7,0	5,2

Obs.: letras diferentes significam médias diferindo a 5% de probabilidade

TAH = tonelada de açúcar recuperável na indústria por hectare

pol = sacarose aparente

Metais pesados no sistema solo-planta

O Le aplicado no sulco de plantio e sua reaplicação nas entrelinhas, após o corte da cana-planta, aumentaram os teores de Cu, Zn e Cd do solo amostrado, principalmente na camada de 0 a 20 cm (Tabela 1). O Le não teve qualquer efeito nos teores de Ni, Cr, Pb, Fe e Mn no solo, em duas camadas do solo avaliadas (0-20 e 20-50 cm). Na superfície (0-20 cm), verificou-se o efeito residual do Le, que foi anteriormente aplicado no sulco de plantio (linha de cana), sobre os teores de Cu, Cd e Zn do solo (Tabelas 1 e 4). Todavia, os teores de Cd no solo foram bastante baixos, como já discutido por Silva et al.(1995).

A reaplicação de Le nas entrelinhas causou aumento nos teores de Zn e de Cu (Tabela 1) nas amostras coletadas na profundidade 0-20 cm, indicando uma importante contribuição de micronutrientes do Le para a soqueira, como também foi observado por Silva et al. (1995).

Não foi verificado qualquer enriquecimento nos teores dos metais pesados Ni, Cr, Pb e Cd nas amostras coletadas de 20 a 50 cm de profundidade, mostrando a pouca mobilidade destes no perfil do solo (Tabela 1). O Le aplicado no sulco de plantio e sua reaplicação em sulcos nas entrelinhas aumentaram os teores de Cu, Zn e Se na folha +3 da cana-soca, mas todos os metais pesados não nutrientes de plantas não tiveram os seus teores foliares modificados (Tabela 7).

TABELA 7. Análise da variância para os teores de metais pesados na folha + 3, da cana-soca.

Estatística descritiva		Al	Cd	Cu	Cr	Ni	Pb	Zn	Se	Mn
Causa de variação (Valor F)	Blocos	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Reaplicação	ns	*	ns	ns	ns	ns	**	**	ns
	Le - residual	*	ns	**	ns	ns	ns	**	**	**
	Fórmula química	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	*
Estatística de variação	DMS 5%	12,36	0,087	0,426	0,155	0,204	0,450	1,28	1,430	34,284
	DMS 1%	14,91	0,105	0,513	0,186	0,270	0,530	1,55	1,720	41,358
	CV (%)	38,678	29,450	16,351	51,480	34,830	36,200	28,130	42,120	27,153

* = significativo a 5% de probabilidade no teste F

** = significativo a 1% de probabilidade no teste F

ns = não significativo

Le = lodo de esgoto

As equações encontradas, que relacionam os teores foliares de Cu, Zn e Se em função da dose de Le aplicado no sulco de plantio, estão a seguir:

$$(a) Y (\text{Cu, mg/kg}) = 2,49 + 0,013 \times \text{Le (t/ha)}, \text{ com } R^2 = 0,9077$$

$$(b) Y (\text{Zn, mg/kg}) = 4,48 + 0,048 \times \text{Le (t/ha)}, \text{ com } R^2 = 0,9638$$

$$(c) Y (\text{Se, mg/kg}) = 1,85 + 0,040 \times \text{Le (t/ha)}, \text{ com } R^2 = 0,9638$$

As equações encontradas, que relacionam os teores foliares de Cu, Zn e Se em função da dose de Le aplicado em sulcos nas entrelinhas, estão a seguir:

$$(d) Y (\text{Cu, mg/kg}) = 2,56 + 0,010 \times \text{Le (t/ha)}, \text{ com } R^2 = 0,9122$$

$$(e) Y (\text{Zn, mg/kg}) = 4,12 + 0,015 \times \text{Le (t/ha)}, \text{ com } R^2 = 0,9085$$

$$(f) Y (\text{Se, mg/kg}) = 2,04 + 0,060 \times \text{Le (t/ha)}, \text{ com } R^2 = 0,9907$$

Deste modo, o Le pode ser aplicado na cultura de cana-de-açúcar, tanto no sulco de plantio, como nas entrelinhas de soqueira, sem riscos de veicular metais pesados não micronutrientes (Cr, Cd, Pb e Ni) ao sistema solo-planta.

O Le aplicado no sulco de plantio ou incorporado na entrelinha da cana-soca aumentou os teores de Cu, Zn e Cd do solo, mas não teve qualquer efeito nos teores de Ni, Cr, Pb, Fe e Mn. O Le também teve efeito na distribuição do sistema radicular da cana-de-açúcar. A reaplicação do Le em sulco na entrelinha propiciou melhor distribuição das raízes na cana-soca. O Le aumentou a produtividade da cana-soca em relação à testemunha, sendo que a maior produtividade foi obtida com aplicação de 20 t/ha de Le, equivalente à adubação química com 60, 80 e 100 kg/ha de N, P₂O₅ e K₂O.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BACCHI, O.O.S. **Efeitos da compactação sobre o sistema solo-planta em cultura de cana-de-açúcar (*Saccharum spp*)**. Piracicaba: USP-CENA, 1976. 64p. Dissertação Mestrado.
- BOHM, W. **Methods of studying root systems**. New York: Springer, 1979. 194p.
- CAMARGO, O.A. de; VALADARES, J.M.A.S.; GERALDI, R.N. **Características químicas e físicas de solos que receberam vinhaça por longo tempo**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1983. 30p. (IAC. Boletim Técnico, 76).
- COLETI, T.; LORENZETTI, J.M.; FREITAS, P.G.; CARBINI, J.L. **Uso de compostagem em comparação com torta de filtro na adubação de cana-planta e seus efeitos na soca, em solos de alta e baixa fertilidade natural**. **Stab**, Piracicaba, v.4, n.3, p.33-39, 1986.

Pesq. and. CNPS, n.2, setembro 1997, p.12

DILLEWIJN, C. van. **Botany of sugarcane**. Wageningen: Veeman & Zonem, 1952. 371p.

INFORZATO, R.; ALVAREZ, R. Distribuição do sistema radicular da cana-de-açúcar var. Co 290, em solo tipo Terra-Roxa-Legítima. **Bragantia**, Campinas, v.16, n.1, p.1-13, 1957.

LEE, H.A. The distribution of the sugarcane roots in the soil in the Hawaiian Islands. **Plant Physiology**, Rockville, v.1, p.363-378, 1926.

SILVA, F.C. da. **Uso agrônômico de lodo de esgoto**: efeitos em fertilidade do solo e qualidade da cana-de-açúcar. Piracicaba: USP-ESALQ, 1995. 158p. Tese Doutorado.

SILVA, F.C. da; BOARETTO, A.E.; BERTON, R.S.; ZOTELLI, H.B.; PEXE, C.A. Características agrotecnológicas, teores de nutrientes e de metais pesados em cana-de-açúcar (soqueira), cultivada em solo adubado com lodo de esgoto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25., 1995, Viçosa. **Anais**. Viçosa: SBCS / UFV, 1995. p.2279-2281.

SOUSA, J.A.G.C. **Efeito da tensão da água no solo na cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum* spp)**. Limeira: UNICAMP, 1976. 163p. Tese Doutorado.

Tiragem: 200 exemplares

Produção editorial:

ACE - Setor de Comunicação Científica

Impressão:

SIN - Setor de Informação