



Lixiviação de nutrientes provenientes de águas residuárias em colunas de solo cultivado com soja¹

Franciele A. Caovilla²; Silvio C. Sampaio³; Joaquim O. Pereira³;
Márcio A. Vilas Boas³; Benedito M. Gomes³ & Adriana de C. Figueirêdo⁴

¹ Parte da Dissertação de Mestrado da primeira autora, apresentada a Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE

² CCH/FRANCISCO BELTRÃO/UNIOESTE-CEP 85610000. Renascença – PR. Rua Nilo Peçanha, 188. Fone: 4635241661. Fax: 4635230011. E-mail: francaovilla@yahoo.com.br

³ RHESA/CCET/CASCAVEL/UNIOESTE – Prof. Dr, da área de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental (RHESA). Rua Universitária 2069. CEP 85819-110. Cascavel-PR. Fone: 45-3220-3134. E-mail: ssampaio@unioeste.br; jodilon@unioeste.br; vilasma@unioeste.br; bmgomes@unioeste.br

⁴ DTR/UFRPE, Rua Dom Manoel de Medeiros s/n, Recife, PE. Fone: (81) 3320626101. E-mail: adrianacarfi@yahoo.com.br

Protocolo 47

Resumo: Avaliou-se a lixiviação de nutrientes em colunas de solo proveniente de área irrigada com água residuária de suinocultura, cultivada com soja. Após aplicação da respectiva água residuária, em quatro concentrações (0% - T1, 25% - T2, 50% - T3 e 75% - T4), coletaram-se amostras de solo, correspondentes aos níveis de concentração, para compor colunas em tubos de aço inox com 7,0 cm de diâmetro para os ensaios de lixiviação. Em todas as colunas, foram instalados permeâmetros de carga constante utilizando garrafas de Mariotte. Através da construção de curvas de eluição avaliou-se a dinâmica de lixiviação dos seguintes parâmetros químicos: nitrogênio total, nitrogênio amoniacal, nitrato, fósforo, potássio, sais totais mediante condutividade elétrica e pH. Os resultados mostraram que a metodologia usada foi adequada apenas para o nitrato, potássio e sais totais. Em todos os tratamentos o nitrato apresentou maior mobilidade no processo de lixiviação, seguido dos sais totais e do potássio. De modo geral, as maiores concentrações de nitrato, potássio e sais totais nos lixiviados foram observados no tratamento de maior concentração de água residuária.

Palavras-chave: reuso de água, efluente, poluição do solo

leaching of nutrients of wastewater in columns, of soil cultivated with soybean

Abstract: Nutrient leaching was evaluated in soil columns filled with soil from area irrigated using swine wastewater and cultivated with soybean. After wastewater applications with four concentrations (0%-T1, 25%-T2, 50%-T3 e 75%-T4), soil samples were collected to compose the steel inox columns with 7.0 cm diameter for leaching tests. In all columns, constant head permeameters using Mariotte bottle have been installed. Breakthrough curves were determined for N_{total} , $N_{ammoniacal}$, NO_3 , P, K, EC, and pH. The results showed that the methodologies were adequate for the NO_3 , K, EC, and pH. However, it was not found adequate for P, N_{total} , $N_{ammoniacal}$. The NO_3 showed larger mobility than EC and K, in the all treatments. In general, T4 showed highest concentration of NO_3 , K and EC in the leachate.

Key words: water reuse, effluent, soil pollution

INTRODUÇÃO

Um dos principais fatores que justifica o uso de águas residuárias na agricultura refere-se à possibilidade de reduzir o uso de fertilizantes químicos. Estudos reportam que a economia no custo de produção pode atingir até 50% com o uso desta técnica. Outros fatores, porém, também merecem

destaque, como: disponibilidade mais freqüente de água, melhoria na qualidade dos solos e conseqüente aumento do rendimento dos cultivos, permitindo em alguns casos, a ampliação da fronteira agrícola. Contextualizando este uso, Bernardes (1986) e Sampaio (1999) citaram duas justificativas para o uso de águas residuárias: a ecológica e a econômico social. No primeiro caso, com a aplicação dessas águas pode-se

recuperar parte da matéria orgânica, minimizando aspectos negativos que esses resíduos promovem nas águas e no segundo caso, é uma alternativa viável, tanto de tratamento como de reciclagem de minerais. Por outro lado, conforme Morais et al. (1998), a falta de informações sobre a qualidade da água a ser utilizada na agricultura pode propiciar efeitos deletérios nas propriedades físico-químicas do solo e no rendimento das culturas.

Nesse contexto, avaliou-se o potencial da lixiviação de nitrogênio total, nitrogênio amoniacal, nitrato, potássio e fósforo, em colunas de solo classificado como Latossolo Vermelho Distroférico típico, cultivado com a cultura da soja, submetida à irrigação com água residuária proveniente de atividades agroindustriais da suinocultura.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento consistiu no cultivo de soja (cultivar CD 216 - COODETEC), em ambiente protegido, irrigado durante 60 dias, sob gotejamento, com lâmina média de 4,28 mm dia⁻¹ (controlada para evitar percolação) com água residuária proveniente da suinocultura e concentrada nos níveis de 0, 25, 50 e 75%, proporcionando os tratamentos T1, T2, T3 e T4, respectivamente, cujos dados de análise físico-química estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Análise físico-química das águas residuárias da suinocultura

Parâmetro / Tratamentos	T1	T2	T3	T4
pH (a 22 °C)	7,7	6,8	7,0	6,8
Alcalinidade (g CaCO ₃ L ⁻¹)	0,1	1,4	2,2	3,3
Turbidez (NTU)	0,9	500,0	670,0	1135,0
Sólidos totais (g L ⁻¹)	-	2,0	4,3	5,1
Sólidos voláteis (g L ⁻¹)	-	1,8	2,0	3,4
Fósforo (mg L ⁻¹)	81,1	431,1	944,5	1009,4
Nitrogênio amoniacal (mg L ⁻¹)	-	520,0	790,0	900,0
Nitrato (mg L ⁻¹)	-	28,0	42,0	70,0
Nitrogênio total (mg L ⁻¹)	-	530,0	710,0	1150,0
Potássio (mg L ⁻¹)	-	143,0	190,0	220,0
Condutividade elétrica (dS m ⁻¹)	0,1	5,4	8,4	10,8

Após a colheita das plantas em cada tratamento, retiraram-se cinco amostras de solo, com penetrômetro de placa de aço, desenvolvido por Breda (2003), acoplado a um trator. As amostras foram homogeneizadas, tendo como referência as camadas de 0-20 cm, 20-40 cm e 40-60 cm, para compor a coluna correspondente ao respectivo tratamento, totalizando, assim, quatro colunas com solos que caracterizaram os tratamentos T1, T2, T3 e T4, que foram levadas ao laboratório para ensaio de lixiviação, seguindo metodologia de Chinkuyu & Kanwar (1999).

As colunas foram montadas considerando-se o perfil de solo retirado e as quantidades isonômicas de solo em todas as colunas (3 kg de solo por coluna). Utilizou-se tubo de aço inox com 70 mm de diâmetro que permitiu acondicionar 50 cm³ de solo. A extremidade inferior de cada coluna foi revestida com

material filtrante, constituído por uma tela de nylon/voal, para evitar perda de solo ou turvamento das amostras do material a ser coletado nos ensaios de lixiviação.

Depois de fixadas, as colunas “contaminadas” pelas águas residuárias quando irrigou-se a cultura da soja respectivas aos quatro tratamentos, foram submetidas à aplicação de água destilada, usando-se um permeâmetro de carga constante, com 6 cm de carga hidráulica, alimentado por uma garrafa de Mariotte, caracterizando o ensaio de lixiviação, seguindo procedimento semelhante de Corrêa (1996), Coelho et al. (2000) e Gomes et al. (2004). A quantidade total de água destilada, aplicada em cada coluna (4,5 L), correspondeu à cerca de 4,5 volumes de poros, considerando-se o elemento de menor mobilidade (Corrêa, 1996). Durante o ensaio coletaram-se 100 mL por amostra de percolado, correspondente a aproximadamente 45 amostras de percolado por coluna. Realizou-se uma “varredura” nas 45 amostras, buscando-se analisar um número menor de amostras de percolado, em função dos custos das análises físico-químicas, porém sem influenciar na eficiência da avaliação do comportamento dinâmico do processo de lixiviação.

Na Tabela 2 são apresentadas algumas características físicas e hidrodinâmicas dos solos coletados dos tratamentos e condicionados em colunas, para caracterizar a dinâmica dos fluidos avaliados. As pequenas diferenças constatadas (Tabela 2) são, praticamente, irrelevantes na análise da lixiviação dos nutrientes, visto que todo o processo ocorreu, praticamente, sob fluxo saturado e foi utilizado o método “breakthrough curves”, citado por Al-Jabri et al. (2005). Esse método constitui-se pela construção de curvas de eluição em que relaciona a concentração do elemento e o volume de poros, sendo que o valor de 1,0 volume de poros representa o volume total de poros existente no solo acondicionado na coluna, ou seja, dinamicamente representa o tempo necessário para que o fluxo de massa propicie o deslocamento de uma partícula do fluido em toda a coluna de solo.

Tabela 2. Características físicas e hidrodinâmicas dos solos dos respectivos tratamentos

Características/Tratamento	T1	T2	T3	T4
Massa total seca solo na coluna (kg)	3,00	3,00	3,00	3,00
Vol. Total solo coluna (L)	2,40	2,18	1,98	1,87
Porosidade (%)	64,00	68,00	66,00	67,00
Θ _i (cm ³ cm ⁻³)	0,26	0,23	0,25	0,28
Massas específicas da coluna (g g ⁻¹)	1,00	1,10	1,21	1,28
Massas específicas do solo “in situ” (g g ⁻¹)	1,01	0,95	0,95	1,02
Condutividade hidráulica média saturada (m dia ⁻¹)	8,75	5,44	8,62	7,61
Tempo para início do escoamento (min)	39,52	49,55	53,43	65,23

Os parâmetros químicos determinados visando à construção das respectivas curvas de eluição foram fósforo (P), nitrogênio total (N total), nitrogênio amoniacal (N amoniacal), nitrato, potássio (K), e a concentração de sais totais através da condutividade elétrica (CE), como também o pH.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observou-se nos resultados referentes ao fósforo concentrações de 0,10 mg L⁻¹, em todos os percolados avaliados, ou seja, além dos tratamentos não apresentarem efeitos, percebe-se também que não houve lixiviação do elemento, visto que essas concentrações estão muito abaixo daquelas usadas na irrigação durante o cultivo da soja (81,07; 431,06; 944,54 e 1009,4 mg L⁻¹; Tabela 1). Em virtude desses resultados, não se apresenta graficamente o comportamento desse elemento, apesar de indicarem uma pequena mobilidade do fósforo no perfil, como verificado por Vitti et al. (1994) e Araújo et al. (2003)

Dentre as formas de nitrogênio avaliadas citadas na metodologia, destaca-se que foram determinadas concentrações nulas de nitrogênio amoniacal nos percolados de todos os tratamentos. A secagem do solo durante duas semanas, possivelmente, propiciou uma volatilização dessa forma de nitrogênio, pois segundo Shepherd (1996) e Trivelin et al. (1994), temperaturas entre 0 e 50 °C aumentam a proporção de amônia na solução e a possibilidade de perdas gasosas. Resultados semelhantes foram obtidos por Basso (2003) avaliando a perda de nitrogênio total em função da volatilização do nitrogênio amoniacal decorrente da aplicação de água residuária da suinocultura em solo cultivado com milho. Além da volatilização, outro provável fator que propiciou essas concentrações nulas é apontado por Vitti et al. (1994), quando afirmam que o amônio no solo sofre transformação biológica em outras formas de nitrogênio, como o nitrato, em duas ou três semanas, quando a temperatura do solo se mantém na faixa de 25 a 30 °C.

Percebe-se na Figura 1A, um aumento de concentração de nitrogênio total em função dos tratamentos aplicados. Entretanto, nota-se, de modo geral, uma oscilação em todo o processo de lixiviação. As observações dos autores supracitados referentes ao processo de volatilização do nitrogênio amoniacal contribuem para a compreensão do comportamento oscilante, observado na Figura 1A, visto que o nitrogênio total é composto pelas formas amoniacal, nitrito e nitrato.

Deste modo, em função dessas oscilações a metodologia sugerida por Al-Jabri et al. (2005) não é adequada para avaliar o comportamento dinâmico do nitrogênio total. Entretanto nota-se nas demais Figuras (1B, 1C e 1D) que o nitrato, potássio e condutividades elétricas possuem comportamentos dinâmicos que são adequados à metodologia do referido autor.

Na Figura 1B é possível notar que as concentrações iniciais do nitrato são proporcionais aos tratamentos. Entretanto, em todos os tratamentos o nitrato foi lixiviado entre 1,0 e 1,5 volume de poros, demonstrando como esse elemento é pouco reativo com a matriz do solo, corroborando com os trabalhos de Corrêa (1996) e Gomes et al. (2004).

Realizando uma comparação entre os valores máximos de nitrato obtidos na lixiviação (5, 12 e 21 mg L⁻¹ - Figura 1B) e os valores aplicados (28, 42, e 70 mg L⁻¹ - Tabela 1), respectivos aos tratamentos T2, T3 e T4, percebe-se que o nitrato aplicado não foi totalmente consumido pela cultura.

As concentrações observadas nos lixiviados dos tratamentos T2 e T3 são indicativos que o nitrato é um potencial

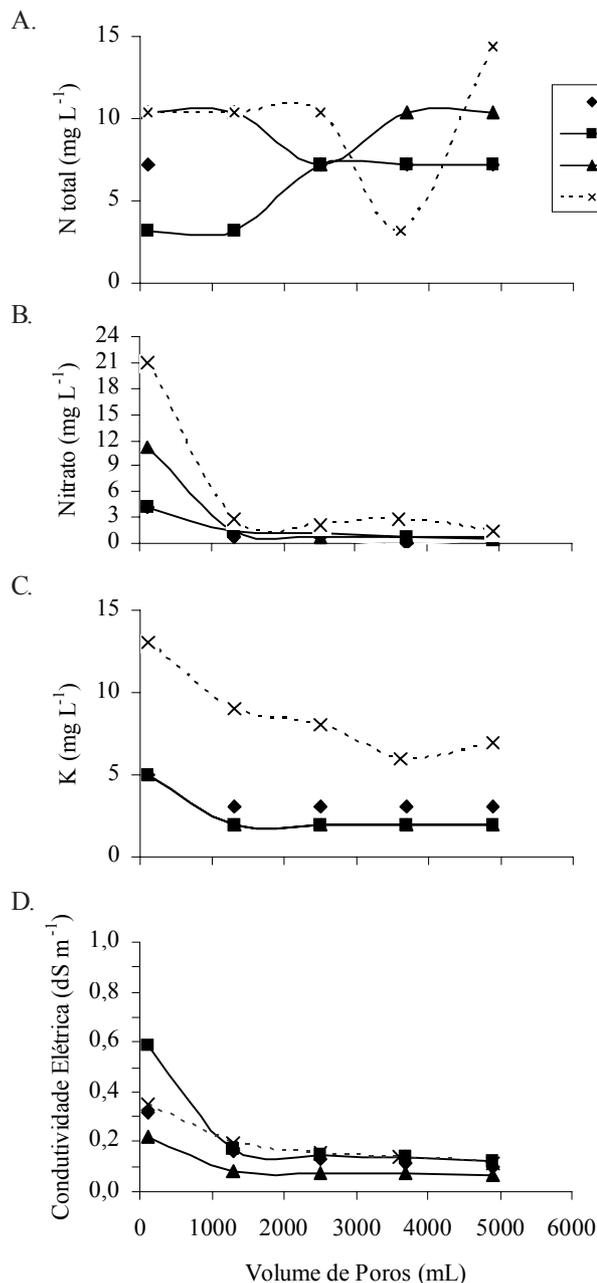


Figura 1. Dinâmica de lixiviação do nitrogênio total (A), nitrato (B), potássio (C) e CE (D) provenientes de águas residuárias da suinocultura em coluna de solo.

poluente do lençol freático, quando se considera que o nível máximo de nitrato permitido nas classes I e II de águas doces em um manancial hídrico é de 10 mg L⁻¹ (CONAMA, 2005). Ressalta-se que esse risco ambiental é potencializado, devido à fixação de nitrogênio promovida pelas bactérias da cultura da soja, sendo minimizado com o cultivo de outra cultura, como o milho, segundo Bley Jr. (2004) e Vasquez-Montiel et al. (1996).

Observa-se na Figura 3 que o processo de lixiviação do potássio foi influenciado pelos tratamentos, pois as curvas de T1, T2 e T3 se estabilizaram com 1,0 volume de poros e T4 com 3,0 volumes de poros, semelhante ao comportamento do nitrato. Contudo, destaca-se que as inclinações das curvas do potássio são menores que as do nitrato, caracterizando sua menor mobilidade. Para Alcarde et al. (2000), o potássio possui uma

CONCLUSÕES

mobilidade no perfil do solo intermediária entre o nitrato e o fósforo, isto é, não sofre tanta lixiviação quanto o primeiro nem é fixado tão fortemente quanto o segundo. Segundo Van Raij (1981), o risco de lixiviação do potássio é maior nos solos arenosos e pobres em matéria orgânica, com poucas cargas negativas para reter esse elemento que possui carga positiva. A observação dos autores é confirmada quando se comparam os valores da Tabela 1 e os valores iniciais das Figuras 1B e 1C, respectivos aos tratamentos T2, T3 e T4, ou seja, do total aplicado, em média 25% do nitrato e 4% do potássio foram lixiviados.

Percebe-se que os resultados encontrados no processo de lixiviação de sais, estimados pela condutividade elétrica (Figura 1D), apresentaram comportamento intermediário como aqueles apresentados pelo nitrato (Figura 1B) e potássio (Figura 1C). No entanto, todos esses apresentam maior lixiviação, até 1,5 volume de poros, semelhantes aos resultados encontrados por Gomes et al. (2004).

Apesar da moderada mobilidade, as concentrações iniciais de sais, indicadas pela condutividade elétrica e observadas na lixiviação (Figura 1D), foi muito menor que a concentração da água residuária aplicada (Tabela 1), demonstrando que alguns íons foram retidos no solo ou absorvidos pela cultura. Ressalta-se que todos os valores observados no lixiviado e no aplicado são menores que o limite de restrição de uso na irrigação, citado por Ayers & Westcot (1991) de $0,7 \text{ dS m}^{-1}$, indicando que o risco de salinização do solo é bastante baixo.

Segundo Ayers & Westcot (1991), o pH é um índice que caracteriza o grau de acidez ou alcalinidade de um ambiente. No caso das águas de irrigação, o pH normal se situa entre 6,5 e 8,4. As águas com pH anormal podem criar desequilíbrio de nutrição ou conter íons tóxicos. Nota-se, na Figura 2, que o pH dos lixiviados dos tratamentos com água residuária (T2, T3 e T4) partem de valores levemente ácidos, próximos dos respectivos citados na Tabela 1, para valores neutros. Resultados semelhantes foram encontrados por Medalie et al. (1994), Azevedo (1996) e Gomes et al. (2004), constatando que não ocorrem mudanças significativas nos valores de pH.

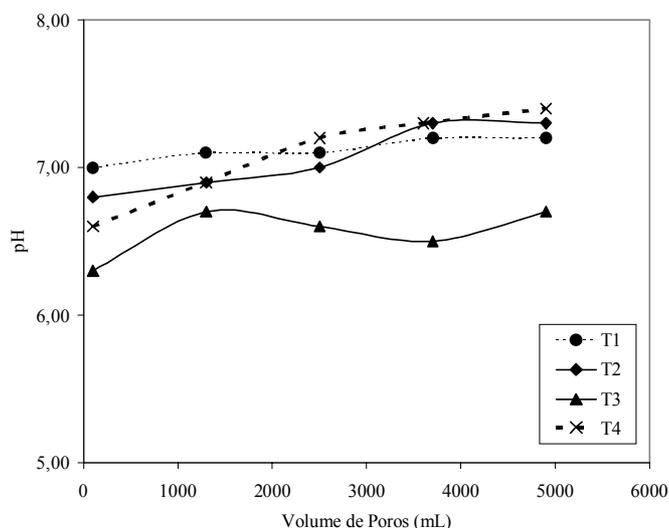


Figura 2. Comportamento do pH dos lixiviados dos respectivos tratamentos

1. Em todos os tratamentos a metodologia usada para avaliar o comportamento da lixiviação de um solo cultivado com soja e irrigado com água residuária, foi adequada para nitrato, potássio, condutividade elétrica e pH, não sendo adequada para o fósforo, por não apresentar lixiviação na faixa de volume de poros e, também, para o nitrogênio total e amoniacal, em função de possível volatilização ocorrida no processo.

2. O nitrato apresentou maior mobilidade no processo de lixiviação, seguido da concentração de sais totais indicada pela condutividade elétrica e, posteriormente, do potássio, proporcionalmente aos tratamentos avaliados.

3. De modo geral, o tratamento T4 (75% de água residuária) apresentou, nos lixiviados, os maiores níveis de concentração de nitrato, potássio e concentração de sais.

LITERATURA CITADA

- Alcarde, J.C.; Gomes, P.F.; Malavolta, E. Adubos e adubações. São Paulo: Nobel, 2000. 596p.
- Al-Jabri, S.A., Lee, J., Gaur, A., Horton, R., Jaynes, D.B. A drifter-TDR method for in situ determination of hydraulic conductivity and chemical transport properties of surface soils. *Advances in Water Resources*. 2005 (article in press).
- Araújo, C.; Ruiz, H.; Silva, D.; Ferreira, P.; Alvarez, V.; Bahia, A. Eluição de fósforo em relação ao tempo de difusão em colunas com agregados de um latossolo vermelho distrófico. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.7, n.1, p.24-30, 2003.
- Ayers, R. S.; Westcot, D. W. A qualidade da água na agricultura. Campina Grande: UFPB, 1991. 153p. Estudo FAO. Irrigação e Drenagem, 29.
- Azevedo, A.S. Movement of $\text{NO}_3\text{-N}$ and atrazine through soil columns as affected by lime application. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, v.39, n.3, p.937-945, 1996.
- Basso, J.C. Perdas de nitrogênio e fósforo com aplicação no solo de dejetos líquidos de suínos. Santa Maria: UFSM, 2003. 254p. Tese Doutorado
- Bernardes, R. S. Estabilização de poluentes por disposição no solo. *Revista DAE*, São Paulo, v.46, n.145, p.129-150, 1986.
- Breda, C.A. Desenvolvimento de um penetrômetro de placa de aço e avaliação em campo da compactação do solo. Cascavel: UNIOESTE, 2003. 62p. Dissertação Mestrado
- Bley Jr., J.C. Manual de gestão ambiental na suinocultura. Curitiba: Sema/IAP/FUNPAR, 2004. 256p.
- Chinkuyu, A.J.; Kanwar, R.S. Effect of lime application on the movement of atrazine and nitrate – nitrogen through undisturbed – saturated soil columns. *Water, Air, and Soil Pollution*, Guelph, v.115, n.4, p.371-384, 1999.
- Coelho, F. C.; Ruiz, H. A.; Ferreira, P. A.; França, G. E.; Araújo, C. A. S.; Duarte, M.A. Transporte do amônio em colunas com agregados de um Latossolo Vermelho. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.4, n.3, p. 362-367, 2000.
- CONAMA. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução n 357 de 17 de março de 2005. 23p.

- Corrêa, M.M. Mobilidade e retenção do inseticida – nematicida sulfona de aldicarbe em colunas de solo de regiões produtoras de batata de Minas Gerais. Lavras: UFLA, 1996. 76p. Dissertação Mestrado
- Gomes, E.R.S.; Sampaio, S.C; Corrêa, M.M.; Vilas Boas, M.A.; Alves, L. F.A.; Alves Sobrinho, T. Movimento de nitrato proveniente de água residuária em colunas de solo. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.24, n.3, p.557-568, 2004.
- Medalie, L.; Bowden, W.B.; Smith, C.T. Nutrient leaching following of aerobically digested municipal sewage sludge in a Northern Hardwood Forest. Journal of Environmental Quality, Madison, v. 23, n.1, p. 130–138, 1994.
- Morais, E.; Maia, C.; Oliveira, M. Qualidade da água para irrigação em amostras analíticas do banco de dados do Departamento de Solos e Geologia da Escola Superior de Agricultura de Mossoró, Mossoró – RN. Caatinga , v.11, n.1/2, p.75-83, 1998.
- Sampaio, S.C. Perda de carga em tubulações comerciais conduzindo águas residuárias da bovinocultura e suinocultura. Viçosa: UFV, 1999. 180 p. Tese Doutorado
- Shepherd, M.A. Factors affecting nitrate leaching from sewage sludges applied to a sandy soil in arable agriculture. Agriculture, Ecosystems & Environment. Mansfield, v.58, n. 2/3, p. 171-185, 1996.
- Trivelin, P.C.O.; Cabezas, W.A.R.L.; Boaretto, A.E. Dinâmica do nitrogênio de fertilizantes fluídos no sistema solo-planta. In: Fertilizantes fluídos. Piracicaba, Potafos, 1994.
- Van Raij, B. Avaliação da fertilidade do solo. Piracicaba: Instituto Internacional da Potassa, 1981. 343p.
- Vasquez-Montiel, O.; Hoiran, N.J.; Mara, D.D. Management of domestic wastewater for reuse in irrigation. Water Science and Technology, London, v.33, n.10-11, p.355-362, 1996.
- Vitti, G.C.; Boaretto, A.E.; Penteado, S.R. Fertilizantes e fertirrigação. In: Boas, Boaretto, A. E.; Vitti, G. C. (ed.). Fertilizantes fluídos. Piracicaba: Potafos, 1994. cap.6, p.237-298.