

Artigo de Revisão

e-ISSN 2177-4560

DOI: 10.19180/2177-4560.v12n12018p43-56

Submetido em: 24 out. 2017

Aceito em: 11 abr. 2018

Aplicação de águas residuárias em solos cultivados: atributos químicos e físicos

William Luiz de Souza

Graduando em Zootecnia do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sudeste de Minas *Campus* Rio Pomba/MG - Brasil. E-mail: williamluizdesouzaa@gmail.com.

Iorrano Andrade Cidrini

Zootecnista do IFSudesteMG *Campus* Rio Pomba. Mestrando da Universidade Estadual Paulista (Unesp) *Campus* de Jaboticabal - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal/SP - Brasil. E-mail: iorranoandrade@gmail.com.

Onofre Barroca de Almeida Neto

Doutor em Engenharia Agrícola (UFV). Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sudeste de Minas *Campus* Rio Pomba/MG - Brasil. E-mail: onofre.neto@ifsudestemg.edu.br.

Esta revisão tem por objetivo demonstrar a utilização de águas residuárias no solo, mostrando as controvérsias e limitações dessa aplicação. Em virtude de práticas inadequadas as quais proporcionam perdas de matéria orgânica e consequentes alterações nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, sua reduzida fertilidade tem sido estudada. Desse modo, a aplicação de águas residuárias de forma indiscriminada e sem critérios pode constituir um fator negativo, levando à degradação da estrutura do solo e causando desequilíbrios ambientais. Por outro lado, a administração de águas residuárias em culturas pode promover uma maior produção evitando, assim, custo com adubação mineral, e promovendo melhorias nas condições químicas e físicas do solo.

Palavras-chave: Água residuária. Fertilidade. Fertilirrigação. Nutrientes. Solo.



Aplicação de águas residuárias em solos cultivados: atributos químicos e físicos

William Luiz de Souza, Iorrano Andrade Cidrini, Onofre Barroca de Almeida Neto

.....

Application of wastewater in cultivated soils: chemical and physical attributes

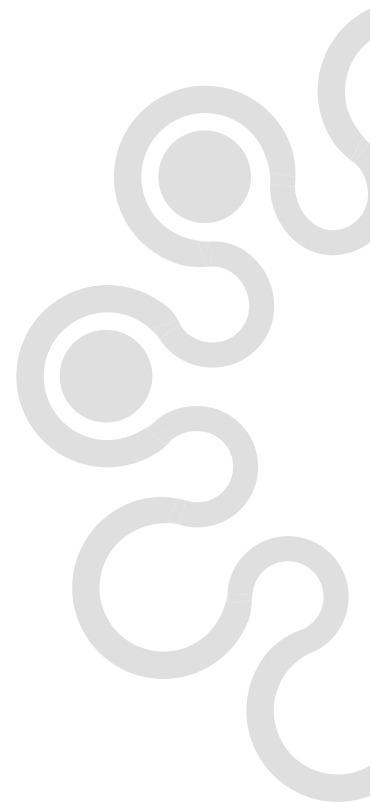
This article aims to demonstrate the use of wastewater in the soil, pointing out controversies and limitations of this application. The reduced fertility of the soil has been studied due to the inadequate practices that provide losses of organic matter and consequently changes in the physical, chemical and biological properties of the soil. On the one hand, when wastewater is applied indiscriminately and without criteria, it can lead to degradation of soil structure and cause environmental imbalances. On the other hand, its application in crops can provide greater production avoiding cost with mineral fertilization, and also can promote improvements in the chemical and physical conditions of the soil.

Keywords: Wastewater. Fertility. Fertigation. Nutrients. Soil.

Aplicación de aguas residuales en suelos cultivados: atributos químicos y físicos

Esta revisión tiene por objetivo demostrar la utilización de aguas residuales en el suelo, mostrando las controversias y limitaciones. La reducida fertilidad del suelo ha sido estudiada, debido a las prácticas inadecuadas que proporcionan pérdidas de materia orgánica y consecuentemente alteraciones en las propiedades físicas, químicas y biológicas. Así, cuando se aplica de forma indiscriminada y sin criterios, pueden caracterizarse en un factor negativo, llevando a la degradación de la estructura del suelo y causando desequilibrios ambientales. La aplicación de aguas residuales en cultivos puede promover mayor producción evitando costo con fertilización mineral, además de las mejoras en las condiciones químicas y físicas del suelo.

Palabras clave: Agua residual. Fertilidad. Fertirrigación. Nutrientes. Suelo.



Aplicação de águas residuárias em solos cultivados: atributos químicos e físicos

William Luiz de Souza, Iorrano Andrade Cidrini, Onofre Barroca de Almeida Neto

1 Introdução

Em virtude do grande destaque que o Brasil possui no agronegócio mundial, o que acarreta um elevado consumo de água pela agricultura, e também em razão da sua escassez em algumas regiões e em muitos outros países, tem-se optado pelo aproveitamento de águas residuárias na agricultura, em particular as de origem urbana e as oriundas da criação de animais (METCALF; EDDY, 1991; BATISTA et al., 2014).

Em pesquisa, Silva (2012) relatou que a quantidade total de efluente gerada diariamente no confinamento de bovinos varia de 9 a 12% do peso vivo do animal; Konzen (2005) considera que o volume médio de água residuária produzida na fase de terminação de suínos varia de 12 a 15 litros animal⁻¹ dia⁻¹. Milen (2014), no entanto, relata a dificuldade de se mensurar a produção diária de água residuária de origem urbana, já que isso depende do tamanho da população local e dos tipos de atividades realizadas nas diversas cidades, como por exemplo, as industriais.

Segundo Van Der Hoek et al. (2002), as maiores vantagens do aproveitamento da água residuária são: a conservação da água disponível, sua grande disponibilidade, a possibilidade do aporte e da reciclagem de nutrientes e a concorrência para a preservação do meio ambiente.

O emprego de água residuária no solo como forma de disposição final desse efluente pode reduzir os custos com fertilização das culturas e o nível requerido de purificação do resíduo; diminuindo, conseqüentemente, os custos de seu tratamento pelo fato de o solo e as culturas se comportarem como biofiltros naturais (HARUVY, 1997). Dessa forma, o aproveitamento de águas residuárias na fertirrigação de culturas agrícolas pode promover o aumento da produtividade e da qualidade dos produtos colhidos, a redução da poluição ambiental e dos custos de produção, além de estabelecer alterações positivas nos atributos químicos e físicos do solo (BARROS et al., 2005; SANTOS et al., 2006). Porém, seu uso incorreto pode trazer efeitos perniciosos tanto ao solo quanto à cultura (LO MONACO et al., 2009).

Diversas pesquisas, contudo, têm apresentado a eficácia das águas residuárias nos atributos químicos e físicos do solo. Em alguns trabalhos, porém, são observados resultados contrários. O presente trabalho tem por objetivo apresentar dados da literatura referentes ao uso de águas como fertilizante agrícola na forma de fertirrigação, focalizando as alterações que ocorrem nos atributos químicos e físicos do solo decorrentes de suas aplicações.

2 Atributos químicos em solos fertirrigados com água residuárias

O aproveitamento de efluentes no meio agrícola alcançou um crescimento significativo nos últimos anos devido, principalmente, à escassez de recursos hídricos, ao avanço do conhecimento científico e à legislação ambiental mais rigorosa e atuante (ANDRADE-FILHO et al., 2013), ocasionando, dessa forma, maior controle da poluição ambiental com redução de problemas à saúde humana e animal, diminuição dos custos de tratamento em razão da atuação do solo como forma de disposição e fornecimento de nutrientes e matéria orgânica às plantas, reduzindo os custos com fertilizantes químicos comerciais (SANDRI, 2006).



Aplicação de águas residuárias em solos cultivados: atributos químicos e físicos

William Luiz de Souza, Iorrano Andrade Cidrini, Onofre Barroca de Almeida Neto

O uso de águas residuárias para a prática de fertirrigação é uma técnica amplamente estudada e recomendada por diversos pesquisadores como alternativa viável para suprir as necessidades hídricas e disponibilizar às plantas, em grande parte, os macros e micronutrientes (SOUZA et al., 2010; VIELMO et al., 2011; COSTA et al., 2012; KESSLER et al., 2013; BATISTA et al., 2014; HOMEM et al., 2014). Diversos trabalhos comprovam que a aplicação de águas residuárias no solo proporciona alteração de várias características químicas de solos cultivados (ERTHAL et al., 2010; ARAÚJO et al., 2011; CABRAL et al., 2011; CONDÉ et al., 2012; HOMEM et al., 2014).

Dessa forma, os resultados encontrados na literatura são divergentes em relação ao potássio (K) no solo quando fertirrigado com águas residuárias (KARLEN et al., 1976). De acordo com Cabral et al. (2011), houve redução de K após a aplicação de água residuária de suínos, passando de 86,8 mg L⁻¹ para 47,7 mg L⁻¹. Em pesquisa com resultados semelhantes, Homem et al. (2014) concluíram que o nível de K no solo, com a aplicação de água residuária de suínos, foi crescente até 82 dias após aplicação, havendo queda elevada até o final do experimento, aos 138 dias. Erthal et al. (2010), por sua vez, observaram que a concentração de K aumentou consideravelmente nos primeiros 10 cm de profundidade do solo, com todas as taxas de aplicação de água residuária de bovinos, ao longo do período experimental, atingindo valores considerados bons, segundo a CFSEMG (1999), até essa profundidade. O experimento, porém, não obteve resultados satisfatórios na camada mais profunda de 10 a 25 cm. Os resultados que envolvem fertirrigação com águas residuárias são contraditórios em relação ao K no solo. Os autores Johns & McConchie (1994a) não relataram alteração no teor K no solo ao aplicarem água residuária de esgoto doméstico na fertirrigação de bananeiras; por outro lado, incrementos na concentração de K foram observados em solos com exploração florestal (CROMER et al., 1984; FALKINER; SMITH, 1997), cultivados com berinjela (AI-NAKSHABANDI et al., 1997), forrageiras (ERTHAL et al., 2010; ARAÚJO et al., 2011; CABRAL et al., 2011) e cafeeiro (MEDEIROS et al., 2005), quando da aplicação de outras águas residuárias. Stewart et al. (1990) & Silva et al. (2012), porém, verificaram que a aplicação de águas residuárias causou decréscimos na concentração de K em razão do incremento da concentração de sódio (Na) no solo, favorecendo a substituição de K nos complexos de troca de cátions e lixiviação deste para camadas mais profundas. Ainda, Andrade & Drumond (2012) salientam que as gramíneas tropicais possuem grande capacidade de extração de nutrientes e que, em condição de corte, a extração é maior, em virtude de menor ciclagem de nutriente e maior eficiência de colheita da forragem.

Um dos principais nutrientes aportados via águas residuárias é o fósforo, promovendo incrementos de produtividade nas culturas agrícolas com a minimização da dependência de fertilizantes comerciais, refletindo em ganhos econômicos para os agricultores (BLUM et al., 2013; MASCIANDARO et al., 2014). Sendo assim, Cabral et al. (2011) notaram um aumento do teor de P, após aplicação de água residuária de suínos. Caovilla et al. (2010) observaram alteração significativa de P para a aplicação de água residuária de suínos nas concentrações de 25, 50 e 75% sobre a água utilizada na irrigação de soja pelo sistema de gotejamento. Araújo et al. (2011), no entanto, não observaram diferença no teor de P entre as doses de água residuária de bovinos, em nenhuma das seguintes profundidades: 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm. Em contrapartida, Erthal et al. (2010), utilizando doses de água residuária de bovinos com base no K (25, 50, 75 e 100 kg ha⁻¹), obtiveram



Aplicação de águas residuárias em solos cultivados: atributos químicos e físicos

William Luiz de Souza, Iorrano Andrade Cidrini, Onofre Barroca de Almeida Neto

.....

significância na concentração de P no solo, aumentando apenas na camada superficial (0-10 cm) de todos os tratamentos, comportamento apresentado devido à baixa mobilidade do P no perfil do solo. Destacou-se, ainda, o fato de o tratamento correspondente à menor dose de água residuária de bovinos (25 kg ha⁻¹ de K) ter apresentado, em geral, a maior concentração de P disponível em ambas as profundidades, o que foi atribuído, em parte, ao menor aporte de matéria orgânica, reduzindo a possibilidade de quelação e/ou complexação do P disponível. Desse modo, Fonseca et al. (2007) & CFSEMG (1999) afirmam que o aporte de P para o solo, em razão da aplicação via águas residuárias, é baixo. Porém, os incrementos de P disponíveis após a aplicação de água residuária são observados nas camadas superficiais (QUIN; WOODS, 1978; QUEIROZ et al., 2004; MEDEIROS et al., 2005) e subsuperficiais, mais pronunciadas em experimentos com mais de cinco anos de duração (AL-NAKSHABANDI et al., 1997; MOHAMMAD; MAZAHREH, 2003; WANG et al., 2003). Devido à aplicação por via úmida, perdas de nitrogênio (N) por volatilização são limitadas. Quin & Woods (1978) verificaram aumento nos teores de N em pastagens irrigadas por mais de 16 anos com água residuária de esgoto doméstico. Resultados semelhantes foram encontrados por Latterell et al. (1982), que observaram o acúmulo de N após cinco anos de cultivo com milho irrigado com água residuária de esgoto doméstico. Em um estudo de caso, entretanto, Trindade et al. (2015) observaram que a quantidade de N numa pastagem em área plana, fertirrigada com 300 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ de água residuária de suínos durante 5 anos, não apresentou diferença estatística de uma mata nativa circunvizinha. Apesar de Cromer et al. (1984) não terem observado, em solos cultivados com árvores para a extração de madeira, nenhuma resposta da fertirrigação com água residuária de esgoto tratado nos teores de N, já há alguns anos, vem sendo amplamente encontrado na literatura o aumento dos teores de N, notadamente de N-NO₃⁻, em solos fertirrigados com diversos tipos de águas residuárias, indiferentemente dos sistemas agrícolas (FEIGIN et al., 1978; SCHALSCHA et al., 1979; JOHNS; MCCONCHIE, 1994b), pastagens (QUIN; FORSYTHE, 1978; LINDEN et al., 1981; LUND et al., 1981) e até mesmo em sistemas com florestas (POLGLASE et al., 1995; MAGESAN et al., 1998; SMITH; BOND, 1999; SPEIR et al., 1999).

Foram encontrados incrementos nos teores de Ca e Mg em solos que receberam águas residuárias, principalmente solos florestais (CROMER et al., 1984; SPEIR et al., 1999) e pastagens (QUIN; WOODS, 1978; FREITAS et al., 2004; BOSCO et al., 2008; ARAÚJO et al., 2011; CABRAL et al., 2011), após períodos de fertirrigação. Falkiner & Smith (1997) encontraram aumento nos teores de Ca e Mg em solos fertirrigados com água residuária. De outro lado, Johns & McConchie (1994b) observaram que a fertirrigação com água residuária de esgoto ocasionou aumento nos teores de Ca até 50 cm de profundidade, não alterando, no entanto, o teor de Mg trocável, mas aumentando sua concentração lixiviada na solução do solo. Porém, Araújo et al. (2011) e Cabral et al. (2011) observaram aumento de Mg nas camadas superficiais com aplicação de água residuária de bovinos. Homem et al. (2014) encontraram diferença nos níveis de Mg no solo. O fato de ocorrer incremento na produção da forrageira com a aplicação da água residuária de suínos, contudo, pode promover maior extração desse nutriente do solo (HOMEM et al., 2014).

A adição de matéria orgânica na forma de fertirrigação tem apresentado efeitos muitas vezes contraditórios sobre o pH do solo (ERTHAL et al., 2010). Em experimento com a forrageira Tifton 85, os mesmos autores observaram que a aplicação de água residuária de bovinos no solo promoveu

Aplicação de águas residuárias em solos cultivados: atributos químicos e físicos

William Luiz de Souza, Iorrano Andrade Cidrini, Onofre Barroca de Almeida Neto

consequências como o aumento no pH, de forma mais pronunciada na camada 0-10 cm, e ligeiro aumento na camada 10-25 cm. De igual modo, Medeiros et al. (2011) verificaram que a aplicação de água residuária de suinocultura no solo elevou os valores de pH em todas as profundidades analisadas. Resultados semelhantes foram encontrados por Medeiros et al. (2005), avaliando variações do pH do solo quando foi aplicada água residuária de origem doméstica, situação em que constataram incremento significativo em relação às áreas que receberam calagem e adubação química. Acredita-se que o aumento observado no pH do solo pode ser atribuído a: pH básico da água residuária (STEWART et al., 1990); adição de cátions trocáveis e ânions pela água residuária (FALKINER; SMITH, 1997); e adição de resíduos orgânicos ao solo seguidos da descarboxilação e desaminação, processos consumidores de prótons (YAN et al., 1996). Porém, Queiroz et al. (2004), Condé et al. (2013) e Cabral et al. (2011) encontraram uma redução do pH do solo em razão da aplicação de água residuária de suínos. O mesmo resultado foi encontrado por Araújo et al. (2011), utilizando água residuária de bovinos. Bouwer (2000) relata que, em solos que receberam águas residuárias, pode haver diminuição no valor de pH em virtude da degradação dos resíduos biodegradáveis que propiciam a produção de CO₂ e ácidos orgânicos.

Apesar de utilizados com a finalidade de promover a reposição de nutrientes ao solo, a água residuária possui componentes com efeitos prejudiciais a ele, às plantas e mesmo a seres, quando encontrados em concentrações elevadas, principalmente os seguintes elementos: cobre (Cu), Zinco (Zn), Crômio (Cr), Níquel (Ni), Chumbo (Pb), Cádmio (Cd) e o Na (QUIN; SYERS, 1978).

Giroto (2007), utilizando fertirrigação com água residuária de suínos por 7 anos, totalizando 17 aplicações, as quais representavam 16,0, 32,0 e 64,0 kg ha⁻¹ de Cu e 19,9, 39,8 e 79,6 kg ha⁻¹ de Zn, respectivamente para doses de 20, 40 e 80 m³ ha⁻¹ de água residuária de suínos, tendo, assim, a taxa de aplicação anual para Cu de 2,3, 4,6 e 9,1 kg ha⁻¹ ano⁻¹ e para Zn de 2,8, 5,7 e 11,4 kg ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente, para as doses de 20, 40 e 80 m³ ha⁻¹ de água residuária de suínos, concluiu que as quantidades de Cu e Zn estariam abaixo dos limites estipulados pela União Europeia (CEC, 1986) — 12,0 e 30,0 kg ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente para Cu e Zn, e pela USEPA (1993) — 75,0 e 140,0 kg ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente para Cu e Zn. Inglés et al. (1992) verificaram que a irrigação com água residuária de esgoto não afetou as concentrações de Cd, Ni e Pb no solo, extraíveis em solução de DTPA. Resultados semelhantes foram encontrados por Al-Jaloud et al. (1995) e Smith et al. (1996). Em pesquisas de Johns & McConchie (1994a e 1994b), foi demonstrado que os teores de Cd, Cr e Pb, em solos cultivados com bananeira e fertirrigados com água residuária de esgoto tratado, não foram afetados. Já os autores Al-Jaloud et al. (1995) verificaram, em solos cultivados com milho e fertirrigados com água residuária de esgoto tratado, que o teor de Ni não foi alterado. Dessa forma, Smith et al. (1996) observaram, em solos florestais irrigados com água residuária por mais de quatro anos, que os teores de Cr, Ni, Pb e Zn extraíveis em EDTA não foram alterados pela fertirrigação com água residuária de esgoto tratado.

Todavia, Quin & Syers (1978) verificaram que pastagens fertirrigadas por 16 anos com água residuária de esgoto tratado apresentaram ligeiro aumento nos teores de Co, Cu, Mn e Zn no solo, não afetando as forrageiras. Inglés et al. (1992), por sua vez, observaram que o teor de Zn aumentou no solo e que as plantas foram nutridas adequadamente com esse micronutriente quando utilizou-se água residuária de esgoto tratado. Johns & McConchie (1994) também



Aplicação de águas residuárias em solos cultivados: atributos químicos e físicos

William Luiz de Souza, Iorrano Andrade Cidrini, Onofre Barroca de Almeida Neto

observaram aumento nos teores de Zn e Ni mediante disposição de águas residuárias no solo. Al-Nakshabandi et al. (1997) verificaram aumento nos teores de Cu, Zn, Cd e Pb em solos fertirrigados com água residuária de esgoto tratado.

As principais alterações descritas para os solos fertirrigados com águas residuárias se resumem em salinidade e sodicidade (FONSECA et al., 2007). Erthal et al. (2010) relatam que, apesar das concentrações elevadas de Na, não foram encontrados problemas de salinidade e sodicidade. Porém, Freitas et al. (2004) identificaram a salinização do solo, dadas as elevadas doses de água residuária de suínos e o acúmulo em excesso de sais. Assim, aumentos no teor de Na foram influenciados em solos fertirrigados com água residuária, independentemente se o uso for agrícola ou florestal (PESCOD, 1992; BOND, 1998; SILVA et al., 2014), notadamente em experimentos de longa duração (QUIN; WOODS, 1978; BALKS et al., 1998).

Contudo, as águas residuárias possuem características desejáveis quando se almeja promover a reposição de nutrientes ao solo. Devem, porém, ser utilizadas de forma consciente a fim de não causarem danos químicos ao solo.

3 Alterações nos atributos físicos em solos fertirrigados com águas residuárias

Estudos têm demonstrado o efeito da aplicação de água residuária nas propriedades físicas do solo, porém nem todos obtiveram respostas semelhantes, variando de acordo com a água residuária utilizada, a dose e o modo de aplicação. Em geral as pesquisas apresentam resultados muito contrastantes com a fertirrigação com águas residuárias e, enquanto alguns pesquisadores encontraram melhorias em algumas propriedades físicas do solo, outros apontaram para a sua degradação.

Em uma pesquisa na qual se utilizou água residuária de suínos, Mecabô Júnior (2013) analisou o efeito de três doses de 50, 100 e 200 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ e observou terem afetado positivamente as propriedades físicas do solo, com tendência de aumento da macroporosidade e de redução da densidade do solo, bem como de manutenção em níveis elevados da estabilidade de agregados. Tal resultado encontra-se em concordância com Arruda et al. (2010), que avaliaram o efeito da aplicação de 50, 100 e 200 m³ ha⁻¹ de água residuária de suínos em Latossolo Vermelho distroférico e constataram que as doses aplicadas não alteraram o volume de macroporos e a porosidade total. Por outro lado, Comin et al. (2013) avaliaram o efeito da aplicação de água residuária de suínos por oito anos e constataram aumento da agregação e estabilidade dos agregados nas camadas de 10-15 e 15-20 cm, e macroporosidade nas camadas de 0-5 e 15-20 cm. Todavia, Barbosa & Caviglione (2009) não encontraram, com a adição de doses semestrais de água residuária de suínos, alterações na densidade do solo, porosidade total, macroporosidade e microporosidade em Latossolo Vermelho distroférico e Argissolo Vermelho distrófico arênico. Essas observações corroboram as de Moraes et al. (2010), que analisaram a influência de três ciclos de aplicações de doses de água residuária de suínos (25, 50, 75, e 100 m³ ha⁻¹ ano⁻¹) sobre as propriedades físicas de um Latossolo Vermelho Aluminoférrico típico e concluíram que a aplicação da água não alterou as propriedades físicas desse solo. Veiga et al. (2009) utilizaram por 9 anos a dose de 60 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ de água residuária de bovinos num solo muito argiloso e não encontraram diferenças nem na densidade e na porosidade do solo, nem na estabilidade de agregados em água.



Aplicação de águas residuárias em solos cultivados: atributos químicos e físicos

William Luiz de Souza, Iorrano Andrade Cidrini, Onofre Barroca de Almeida Neto

Embora um número grande de trabalhos publicados assinala para melhorias na agregação do solo com aplicação de água residuária, alguns pesquisadores têm observado efeito negativo, levando a um aumento da dispersão da argila, maior desagregação do solo e maiores perdas de solo por erosão.

Erthal et al. (2010) observaram tendência de aumento do percentual de argila dispersa em água na camada superficial com a aplicação de água residuária de bovinos, ponderando que esse aumento ocorreu devido ao efeito acumulativo de Na e K nessa camada, favorecendo a dispersão. Entretanto, Silva et al. (2012) concluíram que a fertirrigação de capim Mombaça com água residuária de esgoto doméstico não proporciona dispersão de argila nas diferentes profundidades do solo, apesar de o teor de Na trocável ter aumentado.

Trabalhando com o uso da água residuária de suínos, Condé et al. (2013) encontraram uma tendência de aumento do percentual de argila dispersa em água na camada mais profunda. Homem et al. (2014) também obtiveram o aumento da porcentagem de argila dispersa em água com a aplicação de água residuária de suínos. Os autores atribuíram, então, o aumento da argila dispersa em água ao acúmulo de sódio na solução do solo, causando o fenômeno de dispersão de argila.

Seguindo essa tendência, Castro Filho et al. (2002) estudaram as alterações físicas no solo em função da aplicação de água residuária de suínos e constataram maiores retenções de água no tratamento sem aplicação desse tipo de água residuária e menores retenções de água onde se aplicou a maior dose $120 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de água residuária de suínos. As menores retenções de água ocorreram nos tratamentos em que foram aplicados $60, 90$ e $120 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, não se diferindo entre os tratamentos. O aumento das doses de água residuária de suínos contribuiu para o aumento da infiltração da água no solo e, conseqüentemente, para a redução da enxurrada. Já em outro experimento, Castro Filho et al. (2003) trabalharam com um solo raso com textura argilosa e observaram melhoria na agregação do solo com a aplicação de doses crescentes até a $140 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de água residuária de suínos, ocorrendo assim aumento das taxas de infiltração, e redução do escoamento superficial e das perdas de solo. De igual modo, nas camadas mais profundas da textura argilosa, com o aumento das doses de água residuária de suínos, também foi constatado aumento das taxas de infiltração, e redução do escoamento superficial e das perdas de solo.

Esses resultados corroboram os encontrados por Matos et al. (2010), que observaram o armazenamento de água em um Latossolo Vermelho distrófico típico, muito argiloso, submetido à adubação mineral e à adubação mineral suplementada com $70 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de água residuária de suínos, e concluíram que as condições físicas do solo melhoraram e aumentaram o teor de matéria orgânica, refletindo no aumento do armazenamento de água no solo.

A solução do solo, com grande presença de sódio, promove a desagregação e dispersão dos minerais de argila em partículas muito pequenas, que obstruem os poros do solo, promovendo a formação de uma camada superficial selada, reduzindo, conseqüentemente, a infiltração e aumentando os riscos de erosão do solo (CONDÉ et al., 2012).

4 Conclusão

A água residuária, desde que corretamente estabilizada e tratada, possui grande potencial de utilização em sistemas agropecuários. Entretanto, a fim de verificar possíveis conseqüências nas



Aplicação de águas residuárias em solos cultivados: atributos químicos e físicos

William Luiz de Souza, Iorrano Andrade Cidrini, Onofre Barroca de Almeida Neto

.....
características químicas e físicas do solo, é necessário o conhecimento da sua carga de nutrientes e acompanhamento técnico, para, por exemplo: a) não causar eventuais problemas de salinidade nem de sodicidade, elevação ou redução drástica no pH e nos níveis de macro e micronutrientes presentes no solo. b) realizar rotineiramente a observação das tendências físicas do solo como o aumento do percentual de dispersão de argila na camada superficial, porosidade total e estabilidade de agregados, a fim de prevenir riscos de redução da taxa de infiltração da água no solo fertirrigado.

Referências

- AL-JALOUD, A. A. et al. Effect of wastewater irrigation on mineral composition of corn and sorghum plants in a pot experiment. *Journal of Plant Nutrition*, v.18, p.1677-1692, 1995.
- AL-NAKSHABANDI, G. A. et al. Some environmental problems associated with the use of treated wastewater for irrigation in Jordan. *Agricultural Water Management*, v.34, p. 81-94, 1997.
- ANDRADE, A. S.; DRUMOND, L. C. D. Adubação de pastagens irrigadas: princípios e recomendações. *Revista Cerrado Agrociências*, p. 13. 2012.
- ANDRADE-FILHO, J. A. et al. Atributos químicos de solo fertirrigado com água residuária no semiárido brasileiro. *Irriga*, v. 18, n. 4, p. 661-674, 2013.
- ANUALPEC 2015. Anuário da Pecuária Brasileira 2015. São Paulo: FNP, 2015.
- ARAÚJO, A. S. et al. Produtividade do capim-marandu e alterações químicas do solo submetido a doses de dejetos líquidos de bovinos. *Revista de Ciências Agrárias*, v.54, p. 235-246, 2011.
- ARRUDA, C. A. O. et al. Aplicação de dejetos suínos e estrutura de um Latossolo Vermelho sob semeadura direta. *Ciência e Agrotecnologia*, v.34, p. 804-809, 2010.
- BALKS, M. R.; BOND, W.J.; SMITH, C.J. Effects of sodium accumulation on soil physical properties under an effluent- irrigated plantation. *Australian Journal of Soil Research*, v.36, p. 821-830, 1998.
- BARBOSA, G. M. C.; CAVIGLIONE, J. H. Propriedades físicas do solo após aplicação de dejetos animais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO: o solo e a produção de bioenergia: perspectivas e desafios, 22., 2009, Fortaleza, CE. *Anais... Fortaleza, CE, 2009*.
- BARROS, F. M. et al. Características químicas do solo influenciado pela adição de água residuária da suinocultura. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.9, p.47-51, 2005.
- BATISTA, R. O. et al. Manejo de águas residuárias da bovinocultura de leite para uso em cultivo de plantas. *Lavras*, Editora UFLA, n. 100, p. 1-29, 2014.
- BATISTA, R. O. et al. O efeito da água residuária da suinocultura no desenvolvimento e qualidade de mudas de eucalyptus urophylla. *Ciência florestal*, v. 24, n. 1, p. 127-135, 2014.
- BLUM, J. et al. Nitrogen and phosphorus leaching in a tropical Brazilian soil cropped with sugarcane and irrigated with treated sewage effluent. *Agricultural Water Management*, v. 117, n. 1, p. 115-122, 2013.



Aplicação de águas residuárias em solos cultivados: atributos químicos e físicos

William Luiz de Souza, Iorrano Andrade Cidrini, Onofre Barroca de Almeida Neto

BOND, W. J. Effluent irrigation: an environmental challenge for soil science. *Australian Journal of Soil Research*, v.36, p. 543-555, 1998.

BOSCO; T. C. et al. Utilização de água residuária de suinocultura em propriedade agrícola: Estudo de caso. *Irriga*, v.13, p. 139-144, 2008.

BOUWER, H. Integrated water management: emerging issues and challenges. *Agricultural Water Management*, v.45, p. 217-228, 2000.

BROETTO, T. et al. Indicadores geoespaciais para avaliação do impacto ambiental da suinocultura no licenciamento em âmbito municipal. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 50, n. 12, p. 1177-1185, 2015.

BUSATO, J. G.; CANELLAS, L. P.; VELLOSO, A. C. X. Fósforo num Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar por longo tempo: I - Fracionamento sequencial. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 29, n. 6, p. 935-944, 2005.

CABRAL, J. R. et al. Impacto da água residuária de suinocultura no solo e na produção de capim-elefante. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.15, p. 823-831, 2011.

CAOVILLA, F. A. et al. Características químicas de solo cultivado com soja e irrigado com água residuária da suinocultura. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, PB, v.14, n.7, p. 692-697, 2010.

CASTRO FILHO, C.; COSTA, M. A. T.; CAVIGLIONE, J. H. Alteração de características físicas dos solos em função da aplicação de chorume suíno e simulação de chuva em área de plantio direto. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 9., 2002, Cuiabá, MT. *Anais...*

CASTRO FILHO, C.; COSTA, M. A. T.; CAVIGLIONE, J. H. Potencial fertilizante e alterações físicas nos solos decorrentes da utilização de chorume suíno. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., 2003, Ribeirão Preto, SP. *Anais...*

CEC. COUNCIL OF THE EUROPEAN COMMUNITIES. Council Directive 86/278/EEC of 12 June 1986 on the protection of the environment, and in particular of the soil, when sewage sludge is used in agriculture. *Official Journal*, v. 181, p. 6-18, 1986.

CERETTA, C. A. et al. Dejeito líquido de suínos: I - Perdas de nitrogênio e fósforo na solução escoada na superfície do solo, sob plantio direto. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.35, n.6, p. 1297-1305, 2005.

CFSEMG. *Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais. Recomendação para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. 5ª aproximação. Viçosa, 1999. 359p.*

COMIN, J. J. et al. Physical properties and organic carbon content of a Typic Hapludult soil fertilised with pig slurry and pig litter in a no-tillage system. *Soil Research*, v.51, p. 459-470, 2013

CONDÉ, M. S. et al. Alterações no teor de proteína bruta da forrageira *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk no período de transição água-seca, fertirrigada com água residuária da suinocultura. In: SIMPÓSIO, 9., CONGRESSO FORRAGICULTURA E PASTAGENS, 5., 2013, Lavras. *Anais...*

CONDÉ, M. S. et al. Influência da aplicação de águas residuárias de criatório de animais no solo: atributos químicos e físicos. *Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável*, v.2, p.99-106, 2012.



Aplicação de águas residuárias em solos cultivados: atributos químicos e físicos

William Luiz de Souza, Iorrano Andrade Cidrini, Onofre Barroca de Almeida Neto

COSTA, M. S. et al. Produção de mudas de Timbaúba sob diferentes concentrações de efluente doméstico tratado. *Irriga*, Botucatu, v. 1, n. 1, p. 408-422, 2012.

CROMER, R. N. et al. Irrigation of Monterey pine with wastewater: effect on soil chemistry and groundwater composition. *Journal of Environmental Quality*, v.13, p. 539-542, 1984.

ERTHAL, V. J. T.; FERREIRA, P. A.; MATOS, A. T. Alterações físicas e químicas de um Argissolo pela aplicação de água residuária de bovinocultura. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.14, p. 467-477, 2010.

FALKINER, R. A.; SMITH, C. J. Changes in soil chemistry in effluent- irrigated *Pinus radiata* and *Eucalyptus grandis*. *Australian Journal of Soil Research*, v.35, p. 131-147, 1997.

FEIGIN, A. et al. The nitrogen factor in the management of effluent- irrigated soils. *Soil Science*, v.125, p.248-254, 1978.

FONSECA, A. F. et al. Agricultural use of treated sewage effluents: Agronomic and environmental implications and perspectives for Brazil. *Scientia Agrícola*, v. 64, n.2, p. 194-209, 2007.

FREIRE, W. J.; AGUIAR, M. A. Incorporação de vinhaça concentrada em dois solos distintos: Características químicas, físicas e mecânicas da mistura obtida. *Engenharia Agrícola*, v.13, p.85-96, 1993.

FREITAS, W. S. et al. Efeito da aplicação de água residuária de suinocultura sobre a produção de milho para silagem. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.8, p. 120-125, 2004.

GIROTTI, G. *Cobre e zinco no solo sob uso intensivo de dejetos líquidos de suínos*. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, 2007. 121p.

HARUVY, N. Agricultural reuse of wastewater: nation-wide cost-benefit analysis. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, Amsterdam, v.66, p. 133-119, 1997.

HOMEM, B. G. C. et al. Efeito do uso prolongado de água residuária da suinocultura sobre as propriedades químicas e físicas de um Latossolo Vermelho-Amarelo. *Científica*, Jaboticabal, v.42, p. 299-309, 2014.

INGLÉS, A.; GÓMEZ, M.; NOGALES, R. Efecto del riego con aguas residuales urbanas depuradas sobre la disponibilidad de metales pesados para la planta. *Suelo y Planta*, v.2, p. 703-712, 1992.

JOHNS, G. G.; McCONCHIE, D. M. Irrigation of bananas with secondary treated sewage effluent. I. Field evaluation of effect on plant nutrients and additional elements in leaf, pulp and soil. *Australian Journal of Agricultural Research*, v.45, p. 1601-1617, 1994a.

JOHNS, G. G.; McCONCHIE, D. M. Irrigation of bananas with secondary treated sewage effluent. II. Effect on plant nutrients, additional elements and pesticide residues in plants, soil and leachate using drainage lysimeters. *Australian Journal of Agricultural Research*, v.45, p. 1619-1638, 1994b.

JOHNS, G. G.; McCONCHIE, D. M. Irrigation of bananas with secondary treated sewage effluent. II. Effect on plant nutrients, additional elements and pesticide residues in plants, soil and leachate using drainage lysimeters. *Australian Journal of Agricultural Research*, v.45, p. 1619-1638, 1994.

KARLEN, D. L.; VITOSH, M. L.; KUNZE, R. J. Irrigation of corn with simulated municipal sewage effluent. *Journal of Environmental Quality*, v.5, p. 269-273, 1976.



Aplicação de águas residuárias em solos cultivados: atributos químicos e físicos

William Luiz de Souza, Iorrano Andrade Cidrini, Onofre Barroca de Almeida Neto

.....
KESSLER, N. C. H. et al. Swine wastewater associated with mineral fertilization in blackoat (Avena sativa) cultures: 8th production cycle. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, v.11, p. 1437-1443, 2013.

KONZEN, E. A. *Dejetos de suínos fermentados em biodigestores e seu impacto ambiental como insumo agrícola*. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2005. 4 p. (Comunicado técnico; 124).

LATTERELL, J. J. et al. Distribution of phosphorus in soils irrigated with municipal waste-water effluent: a 5-year study. *Journal of Environmental Quality*, v.11, p. 124-128, 1982.

LINDEN, D. R.; CLAPP, C. E.; GILLEY, J. R. Effects of scheduling municipal wastewater effluent irrigation of reed canarygrass on nitrogen renovation and grass production. *Journal of Environmental Quality*, v.10, p. 507-510, 1981.

LO MONACO, P. A. et al. Características químicas do solo após a fertirrigação do cafeeiro com águas residuárias da lavagem e descascamento de seus frutos. *Irriga*, Botucatu, v.14, n.3, p. 348-364, 2009.

LUND, L. J. et al. Nitrogen balances for an effluent irrigation area. *Journal of Environmental Quality*, v.10, p. 349-352, 1981.

MAGESAN, G. N.; MCLAY, C. D. A.; LAL, V. V. Nitrate leaching from a free-draining volcanic soil irrigated with municipal sewage effluent in New Zealand. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v.70, p. 181-187, 1998.

MASCIANDARO, G. et al. Fertigation with Wastewater and Vermicompost: Soil Biochemical and Agronomic Implications. *Pedosphere*, v. 24, n. 5, p. 625-634, 2014.

MATOS, F. M. et al. Uso De Dejetos Líquidos de Suínos na Melhoria das Condições Físico-Hídricas do Solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 23., 2010, Uberlândia, MG. *Anais...*

MECABÔ JÚNIOR, J. *Influência de uma aplicação de dejetos líquidos de suínos sobre atributos do solo e erosão hídrica em um Nitossolo Bruno*. 2013. Dissertação (Mestrado em Manejo do Solo) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2013.

MEDEIROS, S. S. et al. Características químicas do solo sob algodoeiro em área que recebeu água residuária da suinocultura. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 35, p. 1047-1055, 2011.

MEDEIROS, S. S. et al. Utilização de água residuária de origem doméstica na agricultura: Estudo das alterações químicas do solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 9, p. 603-612, 2005.

METCALF, L.; EDDY, H. *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and reuse*. 3ª ed. rev. por G. Tchobanoglous, F.L.Burton. New York: McGraw-Hill, 1991. p. 1334.

MILEN L. C. Tratamento de esgoto doméstico pelo método de escoamento superficial no solo: Uma revisão de literatura. *Revista Verde*, Pombal, PB, v 9, n. 5, p. 26-33, dez. 2014.

MOHAMMAD, M. J.; MAZAHREH, N. Changes in soil fertility parameters in response to irrigation of forage crops with secondary treated wastewater. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v.34, p.1281-1294, 2003.



Aplicação de águas residuárias em solos cultivados: atributos químicos e físicos

William Luiz de Souza, Iorrano Andrade Cidrini, Onofre Barroca de Almeida Neto

MORAES, M. T. et al. Efeito do Dejeito Líquido de Suínos Nas Propriedades Físicas de Um Latossolo Vermelho Aluminoférrico Típico. In: SIMPÓSIO DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO, 14., 2010, Santa Maria, RS. *Anais...*

PESCOD, M. B. *Wastewater treatment and use in agriculture*. Rome: FAO, 1992. p. 125. (Irrigation and Drainage Paper; 47).

POLGLASE, P. J. et al. Mineralization and leaching of nitrogen in an effluent- irrigated pine plantation. *Journal of Environmental Quality*, v.24, p. 911-920, 1995.

QUEIROZ, F. et al. Características químicas de solo submetido ao tratamento com esterco líquido de suínos e cultivado com gramíneas forrageiras. *Ciência Rural*, v.34, n.05, p. 1487-1492, 2004.

QUIN, B. F.; FORSYTHE, L. J. Surface irrigation of pasture with treated sewage effluent. II. Drainage losses of nitrate and other nutrients. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, v.21, p.427-434, 1978.

QUIN, B. F.; SYERS, J. K. Surface irrigation of pasture with treated sewage effluent. III. Heavy metal content of sewage effluent, sludge, soil, and pasture. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, v.21, p. 435-442, 1978.

QUIN, B. F.; WOODS, P. H. Surface irrigation of pasture with treated sewage effluent. I. Nutrient status of soil and pastures. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, v.21, p. 419-426, 1978.

SANDRI, D.; MATSURA, E. E.; TESTEZLAF, R. Teores de nutrientes na alface irrigada com águas residuárias aplicadas por sistema de irrigação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 26, n. 1, p. 45-57, 2006.

SANTOS, S. S. et al. Efeitos da aplicação localizada de esgoto sanitário tratado nas características químicas do solo. *Revista Engenharia na Agricultura*, Viçosa, MG, v.14 n.1, p. 32-38, 2006.

SANTOS, T. M. C. et al. Efeito da fertirrigação com vinhaça nos microrganismos. *Caatinga*, Mossoró, v.22, n.1, p. 155-160, jan./mar. 2009.

SCHALSCHA, E. B. et al. Nitrate movement in a Chilean agricultural area irrigated with untreated sewage water. *Journal of Environmental Quality*, v.8, p. 27-30, 1979.

SILVA, A. O. A fertirrigação e o processo de salinização de solos em ambiente protegido. *Revista Nativa Pesquisas Agrárias e Ambientais*, Sinop, v. 2, n. 3, p. 180-186, 2014.

SILVA, J. G. D. et al. Composição químico-bromatológica e produtividade do capim-mombaça cultivado em diferentes lâminas de efluente do tratamento primário de esgoto sanitário. *Revista Ceres (Brasil)*, v. 59, n. 5, p. 606-613, 2012.

SILVA, J.B.G. *Uso de água residuária de bovinocultura de leite no cultivo da figueira (Ficus carica L.): efeitos no solo e na cultura*. 2012. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2012.

SILVANO, C. *Atributos biológicos em solos sob plantio direto com aplicação de dejetos líquido bovino*. 2011. Tese (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Paraná. Curitiba, PR, 2011.



Aplicação de águas residuárias em solos cultivados: atributos químicos e físicos

William Luiz de Souza, Iorrano Andrade Cidrini, Onofre Barroca de Almeida Neto

SMITH, C. J.; BOND, W. J. Losses of nitrogen from an effluent- irrigated plantation. *Australian Journal of Soil Research*, v.37, p. 371-389, 1999.

SMITH, C. J.; FRENEY, J. R.; BOND, W. J. Ammonia volatilization from soil irrigated with urban sewage effluent. *Australian Journal of Soil Research*, v.34, p. 789- 802, 1996.

SOUZA, R. M. et al. Utilização de água residuária e de adubação orgânica no cultivo do girassol. *Revista Caatinga*, Mossoró, v. 23, n. 2, p. 125-133, 2010.

SPEIR, T. W. et al. Soil and stream-water impacts of sewage effluent irrigation onto steeply sloping land. *Journal of Environmental Quality*, v.28, p. 1105-1114, 1999.

STEWART, H. T. L.; HOPMANS, P.; FLINN, D. W. Nutrient accumulation in trees and soil following irrigation with municipal effluent in Australia. *Environmental Pollution*, v.63, p. 155-177, 1990.

TRINDADE, A. G. et al. Análise de acúmulo do carbono total e nitrogênio total em solos de pastagens provocado por sucessivas aplicações de dejetos líquidos de suínos, no município de Rio Pomba, MG. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AGROPECUÁRIA SUSTENTÁVEL E CONGRESSO INTERNACIONAL DE AGROPECUÁRIA SUSTENTÁVEL, 7., 2015, Viçosa. *Anais...Viçosa: UFV*, 2015.

USEPA. UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. 40 CFR – Part 503: Standards for the use and disposal of sewage sludge. *Federal Register*, Washington, v. 58, p. 9387-9415, 1993.

VAN DER HOEK, W. et al. *Urban wastewater: a valuable resource for agriculture: A case study from Haroonabad, Pakistan*. Lanka: International Water Management Institute, 2002. p. 29. (Research Report; 63).

VEIGA, M.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Aggregate stability as affected by short and long-term effects of tillage systems and nutrient sources of a Hapludox in Southern Brazil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 33, p. 767-777, 2009.

VIELMO, H. et al. Effect of fertilization with fluid swine slurry on production and nutritive value of Tifton 85. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.40, p. 60-68, 2011.

WANG, Z. et al. Assessing the soil quality of longterm reclaimed wastewater-irrigated cropland. *Geoderma*, v.114, p. 261-278, 2003.

YAN, F.; SCHUBERT, S.; MENGEL, K. Soil pH increase due to biological decarboxilation of organic anions. *Soil Biology & Biochemistry*, v.28, p. 617-624, 1996.