

Desempenho do sistema de tratamento de água residuária de laticínios e os efeitos de sua disposição em Argissolo

Valéria Ingrith Almeida Lima¹, Sandra Maria Campos Alves¹, Jacineumo Falcão de Oliveira¹,
Rafael Oliveira Batista¹, Janeto Gurgel Pinheiro² & Luiz Di Souza³

Protocol 13.2013 - Received: 19/03/2013 - Accepted: 26/07/2013

Resumo: No presente trabalho objetivou-se analisar o desempenho de uma estação de tratamento de água residuária de laticínios (ARL) e os efeitos do uso da ARL nas características químicas de Argissolo em Mossoró-RN. A ARL foi tratada em sistema constituído de gradeamento e lagoa aerada com tempo de detenção hidráulico de 11 dias. No período de março a junho de 2013 caracterizou-se a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio (DQO), os sólidos totais (ST), os sólidos suspensos (SS), os sólidos dissolvidos (SD), K⁺, pH, Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, a salinidade e a dureza da ARL no sistema de tratamento. Paralelamente, determinaram-se os valores de K⁺, Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ e pH em cinco camadas do Argissolo (0 a 0,10; 0,10 a 0,20; 0,20 a 0,30; 0,30 a 0,40; e 0,40 a 0,50 m) com e sem aplicação de ARL, na taxa de aplicação de 35 L m⁻² dia⁻¹, durante um período de cinco anos. Os resultados indicaram que o sistema de tratamento da ARL apresentou eficiência de remoção superior a 50% somente para as características DBO, DQO, ST, SS e Mg²⁺; a aplicação da ARL proporcionou aumento nos valores de K⁺, Ca²⁺ e pH nas cinco profundidades do Argissolo; e os maiores teores de K⁺ e Na⁺ ocorreram na camada superficial do Argissolo (0 a 0,10 m) fertirrigado com ARL.

Palavras-chave: resíduos líquidos, reúso, meio ambiente

Performance of treatment system for dairy wastewater and the effects of their disposal in Argisol

Abstract: This study aimed to analyse the performance of a treatment plant of wastewater of dairy industry (ARL), as well as the effects of its use on chemical characteristics of Argisol in Mossoró, RN, Brazil. The ARL was treated first in a grating system and later in an aerated lagoon (hydraulic detention time of 11 days). During the period from March to June 2013, the Biochemical Oxygen Demand (DBO), Chemical Oxygen Demand (DQO), total solids (ST), suspended solids (SS), dissolved solids (SD), K⁺, pH, Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, salinity and hardness of the ARL of treated water were characterized. In parallel, the values of K⁺, Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ and pH in five depths of Argisol (0 to 0.10, 0.10 to 0.20, 0.20 to 0.30, 0.30 to 0.40; and 0.40 to 0.50 m) with and without application of ARL, the application rate of 35 L m⁻² day⁻¹ for a period of five years were determined. The results indicated that the treatment system of ARL presented removal efficiency higher than 50% only for the DBO, DQO, ST, SS and Mg²⁺; the application of ARL resulted in increase of K⁺, Ca²⁺ and pH in five layers of Argisol and the highest levels of K⁺ and Na⁺ occurred in the surface layer of Argisol (0 to 0.10 m) fertigated with ARL.

Key words: liquid waste, reuse, environment

¹ DCAT/UFERSA, CEP 59625-900, Mossoró, RN. E-mail: valeria_jalima@hotmail.com; sandraalves@ufersa.edu.br; jacineumo@hotmail.com.br; rafaelbatista@ufersa.edu.br

² Indústria Laticínios do Sertão, CEP 57480-000, Mossoró, RN. E-mail: leitedosertao@hotmail.com

³ UERN, CEP 59610-210, Mossoró, RN. E-mail: luizuern@bol.com.br

Introdução

A atividade de indústria de laticínios representa grande importância na economia mundial situando-se o Brasil, em 2011, como terceiro maior produtor, com 32,1 bilhões de litros de leite (IBGE, 2011).

A sanitização dos laticínios inclui operações de lavagens de silos, tubulações, tanques, pasteurizadores e equipamentos que demandam grandes volumes de água (Brião & Tavares, 2012). Esta água utilizada no processo de sanitização vem a se tornar efluente, que é descartado em grandes quantidades com alta carga orgânica (Vourch et al., 2005). Estima-se que cada litro de leite processado pode gerar até dez litros de efluente, os quais são enviados às estações de tratamento (Vourch et al., 2008).

Segundo Brião (2007), os efluentes gerados na higienização são compostos por gorduras, carboidratos (lactose, principalmente) e proteínas, sobretudo, caseínas, que passam a ser contaminantes se lançados diretamente nos corpos hídricos receptores.

Os poluentes inorgânicos, em especial o nitrogênio e o fósforo, são gerados em grandes quantidades em processadoras de laticínios uma vez que o leite possui cerca de 3% de proteínas e 1000 mg L⁻¹ de fósforo (Brião, 2007). O valor característico da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e da Demanda Química de Oxigênio (DQO) para efluente industrial de laticínio encontrado por Matos (2010) é de 2790 e 5143 mg L⁻¹, respectivamente.

A utilização de águas residuárias de laticínios na agricultura é uma alternativa para controle da poluição das águas superficiais e subterrâneas, além da disponibilização de água e fertilizantes para as culturas, ciclagem de nutrientes e aumento na produção agrícola (Matos, 2010). Entretanto, é preciso aperfeiçoar as técnicas de tratamento, aplicação e manejo de águas residuárias de laticínios, para que isso possa tornar-se prática viável.

O uso de águas residuárias no solo, como fonte de nutrientes e água, pode ocasionar impactos ambientais positivos e/ou negativos no sistema solo-planta, relacionados a alterações físicas, químicas e biológicas (Matos et al., 2010a,b; Rodrigues et al., 2011).

Rodrigues et al. (2011) verificaram que as fertirrigações com águas residuárias de laticínio e frigorífico contribuíram significativamente para o aumento do teor de nitrogênio total, nitrogênio

amoniaco e nitrato na solução do solo e elevaram a produtividade média da alface cultivar Tainá, conduzida em estufa. Matos et al. (2010b) constataram que o capim tifton 85 extraiu mais nitrogênio e sódio presente na água residuária de laticínios enquanto o capim elefante extraiu maior quantidade de potássio. Os referidos autores evidenciaram também que a concentração de fósforo na parte aérea e a capacidade extratora foram semelhantes tanto no capim tifton 85 quanto no capim elefante.

O presente trabalho objetivou analisar o desempenho de uma estação de tratamento de água residuária de laticínios (ARL) e os efeitos da aplicação da ARL nas características químicas de Argissolo em Mossoró, RN.

Material e Métodos

O presente trabalho foi desenvolvido no período de março a junho de 2013, em uma empresa de laticínios situada em área urbana de Mossoró-RN, sob as coordenadas geográficas 5°11'47"S e 37°18'36"W. O clima do município, segundo a classificação de Köppen, é do tipo BSw^h - clima seco, muito quente, apresentando temperatura média anual de 27,4°C (Carmo Filho & Oliveira, 1995).

Os principais produtos industrializados neste empreendimento são o queijo coalho, o queijo minas frescal e a manteiga do sertão. No processamento dos queijos e da manteiga e nas atividades de sanitização do empreendimento geram-se 35 m³ de efluente por dia. Essa água residuária é transportada em tubulação de PVC, com diâmetro nominal de 150 mm, até o gradeamento tipo fino com espaçamento entre barras de 20 mm e área de seção transversal de 0,5 m² (1,0 m de largura por 0,5 m de comprimento); em seguida, o efluente preliminar é lançado na lagoa aerada com área superficial de 250 m² (10 m de largura por 25 m de comprimento), profundidade de 1,5 m, dois aeradores de 10 cv e tempo de detenção hidráulico de 11 dias (para um volume armazenado de 375 m³ e uma vazão de 35 m³ dia⁻¹); por fim, o efluente secundário é aplicado, via sistema de irrigação por sulcos, na fertirrigação de capim elefante (*Pennisetum purpureum* Schumacher) em uma área de 1.000 m² (25 m de largura por 40 m de comprimento). O referido sistema consta de sulcos com comprimento de 25 m, profundidade de 0,30 m, declividade de 0,5% e espaçamento entre sulcos de 0,70 m. Os colmos de capim elefante foram plantados a 0,10 m

de profundidade na posição pé com ponta. Para uma brotação melhor, os colmos foram cortados em pedaços de 2 a 3 gemas (no próprio local de plantio). A aplicação da água residuária de laticínios foi realizada diariamente, durante cinco anos, em uma área de 1.000 m², resultando em uma taxa de aplicação de 35 L m⁻² dia⁻¹.

Na área cultivada com o capim elefante predomina o Argissolo Vermelho Amarelo, cuja principal característica é o aumento de argila com a profundidade. Na superfície do solo o teor de argila é muito baixo mas em subsuperfície é médio/alto.

A caracterização físico-química da água residuária do laticínio foi realizada por meio da coleta de três amostras compostas no período de março a junho de 2013. Cada amostra composta foi obtida de três amostras simples coletadas às 8:00 h, 11:00 h e 14:00 h, em dois pontos do sistema de tratamento (P1 - efluente coletado a montante do gradeamento e P2 efluente coletado a jusante da lagoa aerada). Após a coleta as amostras foram preservadas em caixas isotérmicas com gelo a temperatura de 4 °C até sua entrada nos laboratórios. As amostras compostas dos efluentes foram encaminhadas para o Laboratório de Diagnóstico Físico-Químico da Universidade Estadual do Rio Grande do Norte (UERN). As análises físico-químicas compreenderam: Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅²⁰) obtida pelo método iodométrico (processo Winkler); Demanda Química de Oxigênio (DQO), obtida pelo método oxidimétrico com refluxo; sólidos totais (ST), obtidos pelo método gravimétrico; sólidos suspensos (SS), empregando-se o método gravimétrico com a utilização de membranas de fibra de vidro (0,45 µm de diâmetro de poro); sólidos dissolvidos (SD), obtidos pela diferença entre as concentrações de ST e SS; potássio (K⁺) e sódio (Na⁺), empregando-se fotometria de emissão de chama; potencial hidrogeniônico (pH), medido com peagâmetro portátil; cálcio (Ca²⁺) e magnésio (Mg²⁺), obtidos pelo método titulométrico; salinidade, obtida pelo método eletrométrico e dureza, determinada por titulação. Ressalta-se, também, que as análises físico-químicas seguiram as recomendações do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (Rice et al., 2012). As remoções das características químicas da água residuária de laticínios foram obtidas empregando-se a Eq 1.

$$ER = 100 \left(1 - \frac{C_J}{C_M} \right) \quad (1)$$

em que:

ER - eficiência de remoção de características químicas da água residuária, %;

C_J - concentração das características químicas na água residuária coletada à jusante da lagoa aerada, mg L⁻¹ ou mmol_c L⁻¹; e

C_M - concentração das características químicas na água residuária coletada à montante do gradeamento, mg L⁻¹ ou mmol_c L⁻¹

Visando à caracterização química do solo, foram coletadas amostras compostas, em cinco repetições no espaço, a partir de amostras simples coletadas aleatoriamente no argissolo com e sem aplicação da água residuária de laticínios. As amostras simples de solo foram coletadas com auxílio de trado tipo holandês, nas camadas de 0 a 0,10; 0,10 a 0,20; 0,20 a 0,30; 0,30 a 0,40; e 0,40 a 0,50 m, sendo acondicionadas em saco plástico inerte com capacidade para 0,5 kg. Coletaram-se as amostras simples nos sulcos utilizados para aplicação da água residuária de laticínios e em área com caatinga degradada, situada dentro do empreendimento. Para as determinações das características químicas as amostras compostas de solo foram secas ao ar e peneiradas em malha de 2 mm. As determinações das características K⁺, Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ e pH foram efetuadas no Laboratório de Análise de Solo, Água e Planta (LASAP) da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Campus Mossoró-RN.

As concentrações de K⁺ e Na⁺ foram obtidas por fotometria de emissão de chama, utilizando-se para ambos, o extrator Mehlich. Os teores de Ca²⁺ e Mg²⁺ foram determinados pelo método titulométrico enquanto os valores de pH foram obtidos pelo método eletrométrico, seguindo as metodologias preconizadas pela EMBRAPA (1997).

Os dados da água residuária de laticínios foram submetidos à análise descritiva por meio da determinação da média, e do desvio padrão enquanto os resultados de análise do solo, obtidos nas diferentes profundidades, com e sem aplicação de água residuária, foram comparados entre si.

Resultados e Discussão

As características físico-químicas da água residuária de laticínios, coletada a montante do gradeamento (P1) e a jusante da lagoa aerada a 0,30 m de profundidade (P2) e a eficiência de remoção do sistema de tratamento, estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Valores médios e desvio-padrão das características físico-químicas da água residuária de laticínios e a eficiência de remoção obtida na estação de tratamento

Características	Ponto 1	Ponto 2	Eficiência de remoção (%)
DBO ₅ ²⁰ (mg L ⁻¹)	913 ± 67	190 ± 22	79
DQO (mg L ⁻¹)	1632 ± 63	710 ± 47	56
ST (mg L ⁻¹)	500 ± 26	241 ± 18	52
SS (mg L ⁻¹)	82 ± 13	28 ± 6	66
SD (mg L ⁻¹)	418 ± 33	214 ± 23	49
K ⁺ (mmol _c L ⁻¹)	0,9 ± 0,2	3,6 ± 1,1	-
pH (25°C)	4,7 ± 0,5	7,7 ± 0,3	-
Na ⁺ (mmol _c L ⁻¹)	7,2 ± 1,2	23,0 ± 2,1	-
Ca ²⁺ (mmol _c L ⁻¹)	4,8 ± 0,8	3,2 ± 0,3	33
Mg ²⁺ (mmol _c L ⁻¹)	1,6 ± 5,0	0,7 ± 0,2	56
Salinidade (mg L ⁻¹)	696 ± 60	1753 ± 157	-
Dureza (mg E _l de CaCO ₃)	320 ± 46	200 ± 22	38

Nota: Ponto 1 = água residuária de laticínios coletada a montante do gradeamento; P2 = água residuária de laticínios coletada a jusante da lagoa aerada a 0,30 m de profundidade; DBO₅²⁰ = Demanda Bioquímica de Oxigênio; DQO = Demanda Química de Oxigênio; ST = sólidos totais; SD = sólidos dissolvidos e SS = sólidos suspensos.

O oxigênio incorporado na lagoa aerada foi consumido pelos micro-organismos aeróbios para degradação da carga orgânica da água residuária de laticínios. Na lagoa aerada, a remoção da DBO₅²⁰ e da DQO foi de 79 e 56%, respectivamente, inferiores, portanto, aos resultados de 84 e 93% obtidos por Carmo et al. (2004), que utilizaram lagoas aeradas no tratamento da água residuária de suinocultura. Notou-se, no ponto 2, que as concentrações de DBO₅²⁰ e DQO foram de 190 e 710 mg L⁻¹, não atendendo aos padrões para lançamento de efluentes tratados em corpos hídricos de 120 mg L⁻¹ de DBO₅²⁰ e 200 mg L⁻¹ de DQO (CEARÁ, 2002; BRASIL, 2011).

Os teores de ST resultam da soma dos teores de SS e SD na lagoa aerada o fornecimento de ar pelo aerador ocasiona turbulência no meio líquido, o que acarreta colisão dos SS resultando na formação de flocos que pela ação da força da gravidade sedimentam gerando o lodo; além disso, o oxigênio dissolvido impulsiona os micro-organismos aeróbios na degradação da matéria orgânica favorecendo a redução de SS no efluente. Os teores de SD são removidos pelo efeito de oxidação do oxigênio dissolvido, injetado no efluente pelo aerador, possibilitando, em parte, a precipitação dos sais dissolvidos.

Com a passagem da água residuária de laticínios no gradeamento e na lagoa aerada ocorreu redução na concentração de ST de 500 mg L⁻¹ para 241 mg L⁻¹, apresentando eficiência de remoção de 52%. A remoção de ST foi inferior ao valor de 85% obtido por Carmo et al. (2004) com água residuária de suinocultura tratada em lagoa aerada e foi superior à faixa de 17 a 22% apresentada por Campos et al. (2004) com água

residuária de laticínio tratada em reator anaeróbio de fluxo ascendente.

As concentrações médias de SS foram de 82 e 28 mg L⁻¹ nos pontos 1 e 2, respectivamente, sendo a remoção de 66%. O teor médio de SS obtido no ponto 2 foi inferior a 50 mg L⁻¹, representando risco de obstrução de gotejadores como baixo (Nakayama et al., 2006). Tais valores médios de SS foram superiores aos obtidos por Moura et al. (2011) com tratamento de esgoto doméstico em tanque séptico, filtro anaeróbio e reator solar. No entanto, no estudo conduzido por Lima et al. (2005) foi constatada remoção de 25% de SS em um sistema operando como esgoto doméstico e composto por caixa de areia, decantador, reator anaeróbio de fluxo ascendente e lagoa de polimento.

Nos pontos 1 e 2 o teor médio de SD foi de 418 e 214 mg L⁻¹, respectivamente, indicando eficiência de remoção de 49%. O teor médio de SD no ponto 2 foi inferior a 500 mg L⁻¹, representando baixo risco de obstrução de gotejadores (Nakayama et al., 2006). Segundo von Sperling (2011), os teores de SD não são retidos por sistemas de filtração e constituem os sólidos totais.

A concentração média de K⁺ aumentou de 0,9 para 3,6 mmol_c L⁻¹ quando se estabeleceu comparação entre os pontos 1 e 2, respectivamente. O acúmulo de K⁺ na lagoa aerada ocorreu, em virtude, provavelmente, da baixa associação desse íon à matéria orgânica. O teor médio de K⁺ no ponto 2 foi superior ao limite de 0,05 mmol_c L⁻¹ proposto por Almeida (2010) para qualidade da água de irrigação.

Os valores médios de pH aumentaram quando comparados os pontos 1 e 2, supõe-se ser devido à acumulação de sais na lagoa aerada, possibilitando alcalinização da água residuária. O aumento de pH indica uma atividade facultativa maior na lagoa, em razão da diminuição da turbidez da massa líquida, o que permitiu a penetração da luz solar a maiores profundidades, favorecendo a atividade das algas. No entanto, o valor médio de pH no ponto 2 encontra-se dentro da faixa de 5 a 9, estabelecida pela Resolução CONAMA n° 430/2011 (Brasil, 2011) que delimita os padrões para lançamento de efluentes tratados em corpos hídricos receptores. Ayers & Westcot (1999) recomendaram que o valor de pH da água de irrigação encontre-se entre 6,5 a 8,4, pois as concentrações de H⁺ e OH⁻ podem interferir na disponibilidade e na absorção de nutrientes pelas plantas, na estrutura e nas características do solo e também nos sistemas de irrigação. Neste sentido, o valor médio de pH do ponto

2 foi superior ao limite de 7,5, classificando como severo o risco de obstrução de gotejadores (Nakayama et al., 2006).

Comparando os pontos 1 e 2, nota-se que o teor médio de Na^+ passou de 7,2 para 23,0 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$ devido, provavelmente, à baixa associação desse íon com a matéria orgânica presente no efluente. Ressalta-se, também, que o teor de Na^+ no ponto 2 foi inferior a 40 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$, valor máximo recomendado por Almeida (2010) para águas usadas na irrigação. Segundo Ayers & Westcot (1999), concentrações de Na^+ superiores a 9,0 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$ e fornecidas via irrigação por superfície, podem reduzir o desenvolvimento e a produção de cultivos agrícolas sensíveis. Segundo Brasil et al. (2005), os fatores que mais contribuem para o insucesso do sistema na remoção de Na^+ são a grande solubilidade desse elemento químico, a baixa absorção pelas plantas e a baixa associação do cátion com o material orgânico.

A concentração de Ca^{2+} reduziu de 4,8 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$ para 3,2 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$, tendo eficiência de remoção de 33% quando os pontos 1 e 2 são comparados. Esta remoção ocorreu pela precipitação do Ca^{2+} na forma de carbonato e fosfato de cálcio, em virtude, provavelmente, do aumento de pH. O teor médio de Ca^{2+} no ponto 2 foi inferior a 20 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$, valor recomendado por Almeida (2010) para águas de irrigação. Os resultados encontrados foram superiores ao valor de 0,37 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$ obtido por Batista et al. (2006) em esgoto doméstico terciário utilizado na fertirrigação de cafeeiros. No ponto 2 o teor médio de Ca^{2+} foi inferior a 12,5 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$, sendo o risco de obstrução de gotejadores classificado como baixo (Capra & Scicolone, 1998).

A concentração média de Mg^{2+} nos pontos 1 e 2 foi de 1,6 e 0,7 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$, tendo eficiência de remoção de 56% no sistema de tratamento. Essa remoção ocorreu pela precipitação do Mg^{2+} na forma de carbonato de magnésio em função do aumento de pH. Os valores de Mg^{2+} nos pontos 1 e 2 foram superiores ao valor limite de 0,5 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$ proposto por Almeida (2010) para uso de água na irrigação; o teor médio de Mg^{2+} obtido no ponto 2 foi inferior ao valor limite 2,0 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$, classificando como baixo o risco de obstrução de gotejadores.

Constatou-se, na Tabela 1, que a concentração de Na^+ no efluente foi superior às de Ca^{2+} e Mg^{2+} , representando risco de sodificação ao Argissolo. Água com alta proporção de Na^+ em relação ao Ca^{2+} e Mg^{2+} pode resultar em solo sódico/salino-sódico, pois o Na^+ desloca o Ca^{2+} e o Mg^{2+} adsorvidos, causando dispersão dos colóides (Matos, 2010).

O aumento da salinidade na lagoa aerada é atribuído, principalmente, à não remoção do lodo, durante o período de cinco anos, quando ocorreu a degradação da fração orgânica, restando e concentrando os sais. A salinidade encontrada no efluente foi inferior a 2000 mg L^{-1} , valor máximo recomendado por Almeida (2010) para água de irrigação. De acordo com Cordeiro (2001), as águas que contêm de 1500 a 2000 mg L^{-1} podem ser usadas na irrigação de culturas moderadamente tolerantes se uma frequência maior de irrigação for combinada com a aplicação de lâminas de lixiviação. Constatou-se, na Tabela 1, acréscimo no valor da salinidade no ponto 2, devido, provavelmente, à falta de manutenção realizada no sistema de tratamento, durante os cinco anos de operação.

No ponto 2, constatou-se aumento da dureza na água residuária em razão, provavelmente, da acumulação de carbonato de cálcio, resultado da precipitação do Ca^{2+} . O valor da dureza do efluente foi superior ao valor limite de 54 mg L^{-1} de CaCO_3 , classificando a água como muito dura, não sendo recomendando o uso em solos pesados e compactos (Almeida, 2010).

Para melhorar a eficiência da lagoa aerada recomenda-se a remoção do lodo a cada dois anos ou quando o mesmo preencher metade da profundidade da lagoa, conforme sugerido por von Sperling (2011). Desta forma, ocorrerá maior precipitação de sais com o sistema de aeração aumentando também o potencial de degradação da matéria orgânica.

Estão apresentados, na Figura 1, os teores de K^+ e Na^+ em distintas profundidades do Argissolo com e sem aplicação de água residuária de laticínios. Notou-se que a elevada taxa de aplicação da água residuária de laticínio (35 $\text{L m}^{-2} \text{dia}^{-1}$) no Argissolo cultivado com capim elefante acarretou aumento das concentrações de K^+ em todas as camadas de solo e da concentração de Na^+ nas camadas de 0 - 0,10 e de 0,10 - 0,20 m (Figuras 1A e 1B). No entanto, observou-se que os maiores teores de K^+ e Na^+ ocorreram na camada superficial (0-0,10 m), onde existe maior teor de matéria orgânica e, conseqüentemente, também, maior capacidade de troca catiônica, em parte, este aumento pode ser devido à elevada taxa de aplicação de efluente rico em sódio e à alta demanda evaporativa do local, favorecendo a acumulação de sais no solo.

Na Figura 1A observa-se que os teores de K^+ foram de 2,16, 1,52, 1,17, 0,78 e 0,71 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ e de 0,48, 0,23, 0,23, 0,23 e 0,41 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ nas camadas do Argissolo de 0 a 0,10, 0,10 a 0,20, 0,20 a 0,30, 0,30 a 0,40 e 0,40 a 0,50 m com

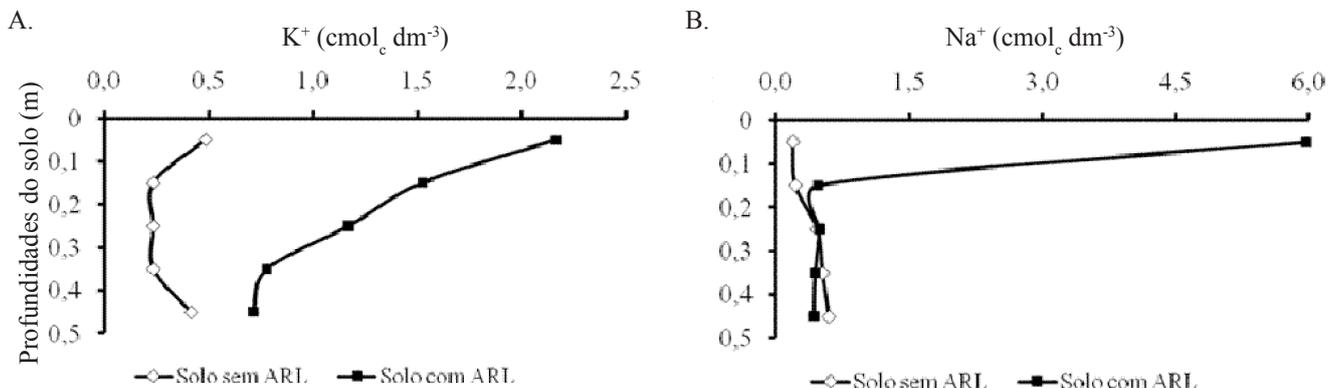


Figura 1. Teores de K⁺ (A) e Na⁺ (B) em distintas profundidades de argissolo com e sem aplicação da água residuária de laticínios (ARL)

e sem aplicação de água residuária de laticínio, indicando aumentos nos teores de K⁺ de 4,5, 6,6, 5,1, 3,4 e 1,7 vezes, respectivamente, após o período de fertirrigação de cinco anos, resultados esses semelhantes aos obtidos por Azevedo & Oliveira (2005), que verificaram aumento no teor de K⁺ retido na solução do solo após irrigações sucessivas com água residuária. Corroborando com Scherer et al. (2010), que evidenciaram o acúmulo de K⁺ nas camadas superficiais do solo, em especial até a profundidade de 0,05 m, após sucessivas aplicações de dejetos suínos. No entanto, Nichele (2009) verificou diminuição das concentrações de K⁺ em solo fertirrigado com águas residuárias domésticas. Segundo Ribeiro et al. (1999), os teores de K⁺ nas distintas profundidades do Argissolo com e sem aplicação da água residuária de laticínios foram superiores ao valor limite de 0,31 cmol_c dm⁻³ ou se encontram dentro da faixa limite de 0,18 e 0,31 cmol_c dm⁻³ para teor de K⁺, recebendo, assim, as classificações muito bom e bom, para uso agrícola, respectivamente.

Verifica-se, na Figura 1B, que os teores de Na⁺ foram de 5,97, 0,48, 0,50, 0,45 e 0,43 cmol_c dm⁻³ e de 0,19, 0,22, 0,47, 0,53 e 0,60 cmol_c dm⁻³ nas camadas de Argissolo de 0 a 0,10, 0,10 a 0,20, 0,20 a 0,30, 0,30 a 0,40 e 0,40 a 0,50 m, com e sem aplicação de água residuária de laticínio, resultando em elevações nos teores de Na⁺ de 30,7, 2,2, 1,1, 0,8 e 0,7 vezes, respectivamente, após um período de fertirrigação de cinco anos. O aumento de Na⁺ no solo provocado pela irrigação com efluente pode causar toxidez a algumas culturas e modificar as propriedades físicas do solo. Altas concentrações de Na⁺ promovem dispersão das argilas proporcionando o entupimento de poros, diminuindo a capacidade de armazenamento e movimentação de água, aumentando, assim, a resistência mecânica à penetração de raízes (Ribeiro et al., 2003).

Estão representadas, na Figura 2, os teores de Ca⁺² e Mg⁺² em distintas profundidades de Argissolo com e sem aplicação da água residuária de laticínios. Percebeu-se que a aplicação da água residuária de laticínios elevou a concentração tanto de Ca⁺² quanto de Mg⁺² ao longo do perfil do solo, exceto na camada de 0 - 0,10 m para Ca⁺².

Os teores de Ca⁺² foram de 7,36, 7,37, 7,55, 6,92 e 6,89 cmol_c dm⁻³ e de 6,3, 4,8, 5,8, 5,9 e 5,5 cmol_c dm⁻³ nas camadas de argissolo de 0 a 0,10, 0,10 a 0,20, 0,20 a 0,30, 0,30 a 0,40 e 0,40 a 0,50 m, com e sem aplicação de água residuária de laticínios, indicando elevações nos teores de Ca⁺² de 1,2, 1,5, 1,3, 1,2 e 1,3 vezes, respectivamente, após o período de aplicação de efluente de cinco anos (Figura 2A). Os teores de Ca⁺² nos solos com e sem aplicação da água residuária de laticínios foram superiores aos limites de 1,5 e 4,0 cmol_c dm⁻³ estabelecidos por Freire et al. (2009) e Ribeiro et al. (1999) que qualificam o solo como muito bom para uso agrícola. Neste sentido, Mendonça & Rowell (1994) obtiveram pequenas oscilações nos teores de Ca⁺² de solo fertirrigado com água residuária em virtude da presença de Ca⁺² no efluente e pela maior retenção de Ca⁺² pela matéria orgânica em relação ao Na⁺ e K⁺.

Na Figura 2B, evidencia-se acumulação de Mg⁺² na profundidade além de 0,30 m, ao se comparar as camadas de Argissolo de 0 a 0,10, 0,10 a 0,20, 0,20 a 0,30, 0,30 a 0,40 e 0,40 a 0,50 com e sem aplicação de água residuária de laticínios, pois as concentrações foram de 1,11, 1,98, 2,16, 4,00 e 3,76 cmol_c dm⁻³ e de 1,20, 1,80, 1,90, 1,80 e 2,00 cmol_c dm⁻³, respectivamente, indicando aumento nos teores de Mg⁺² de 0,9, 1,1, 1,1, 2,2 e 1,9 vezes, após o período de cinco anos de aplicação de água residuária de laticínios. Esses resultados corroboram com Medeiros et al. (2005), que evidenciaram incremento no teor de Mg⁺² e demonstraram que água residuária de origem doméstica pode ser uma alternativa de aporte de

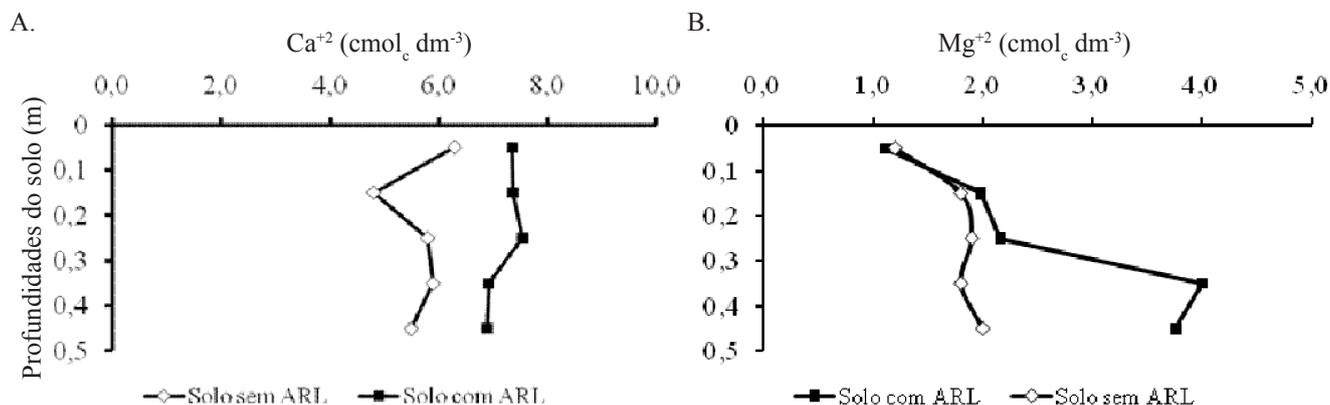


Figura 2. Teores de Ca²⁺ (A) e Mg²⁺ (B) em distintas profundidades de argissolo com e sem aplicação da água residuária de laticínios (ARL)

Mg²⁺ ao solo. Segundo Ribeiro et al. (1999), os teores de Mg²⁺ são classificados como bom (0,91 a 1,50 cmol_c dm⁻³) a muito bom (> 1,5 cmol_c dm⁻³) no que se refere à qualidade do solo para uso agrícola. Conforme Freire et al. (2009), valores superiores a 1,0 cmol_c dm⁻³ são considerados altos para teor de Mg²⁺.

Os valores de pH no solo com e sem aplicação água residuária de laticínios nas camadas de argissolo de 0 a 0,10, 0,10 a 0,20, 0,20 a 0,30, 0,30 a 0,40 e 0,40 a 0,50 foram de 7,4, 7,5, 7,7, 8,1 e 8,4 e de 5,2, 4,2, 5,1, 4,9 e 5,1, resultando em aumento de 1,4, 1,8, 1,5, 1,7 e 1,6 vezes, respectivamente. No solo, com a aplicação de água residuária de laticínios, ocorreu um ligeiro aumento do pH com a profundidade do solo, devido, provavelmente, à lixiviação de sais pela elevada taxa de aplicação do efluente. Segundo Ribeiro et al. (1999), os valores de pH do solo com aplicação da água residuária de laticínios foram superiores ao valor limite 7,0, sendo classificados agronomicamente como muito altos, enquanto os valores de pH do solo sem aplicação da água residuária de laticínios se encontram dentro da faixa limite de 4,5 a 5,4, classificados, portanto, agronomicamente como baixos. Neste sentido, ressalta-se que o pH influencia a solubilidade, a concentração em

solução e a forma iônica dos nutrientes no solo e, conseqüentemente, a absorção e sua utilização pela planta (Fageria et al., 1997).

Conclusões

O gradeamento e a lagoa aerada utilizados nos tratamento da água residuária de laticínio proporcionaram eficiência de remoção da Demanda Bioquímica de Oxigênio de 79%, Demanda Química de Oxigênio de 56%, sólidos totais de 52%, sólidos suspensos de 66%, sólidos dissolvidos de 49%, Ca²⁺ de 33%, Mg²⁺ de 56% e dureza de 38%.

A aplicação da água residuária de laticínios proporcionou aumento nos valores de K⁺, Ca²⁺ e pH nas cinco profundidades do argissolo.

Os maiores teores de K⁺ e Na⁺ ocorreram na camada superficial do argissolo (0 a 0,10 m) fertirrigado com água residuária de laticínios.

Literatura Citada

- Almeida, O. T. Qualidade da água de irrigação. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2010. 227p. <http://www.cnpmf.embrapa.br/publicacoes/livro/livro_qualidade_agua.pdf>. 12 Fev. 2013.
- Ayers, R. S.; Westcot, D. W. A qualidade da água na agricultura. Campina Grande: UFPB, 1999. 153p.
- Azevedo, L. P.; Oliveira, E. L. Efeitos da aplicação de efluente de tratamento de esgoto na fertilidade do solo e produtividade de pepino sob irrigação subsuperficial. Engenharia Agrícola, v.25, p.253-263, 2005.
- Batista, R. O.; Soares, A. A.; Santos, D. B. Riscos da fertirrigação com esgoto sanitário e as relações entre os íons Ca²⁺ e Mg²⁺ e a salinidade total. Revista Ceres, v.53, p.394-398, 2006.

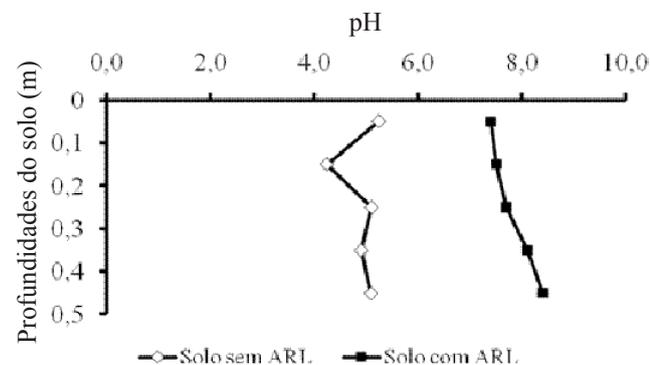


Figura 3. Valores de pH em distintas profundidades de um argissolo com e sem aplicação da água residuária de laticínios (ARL)

- Brasil. Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrão de lançamentos de efluentes complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Brasília, 2011. <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>>. 18 abr. 2013.
- Brasil, M. S.; Matos, A. T.; Soares, A. A.; Ferreira, P. A. Qualidade do efluente de sistemas alagados construídos, utilizados no tratamento de esgoto doméstico. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.9, p.133-137, 2005.
- Brião, V. B. Processos de separação por membranas para reuso de efluentes de laticínios. Maringá: UEM. 2007. 94p. Tese Doutorado
- Brião, V. B.; Tavares, C. R. G. Ultrafiltração de efluente da indústria de laticínios para recuperação de nutrientes: efeito da pressão e da velocidade tangencial. *Brazilian Journal Food Technology*, v.15, p.352-362, 2012.
- Campos, C. M. M.; Luiz, F. A. R.; Botelo, C. G.; Damasceno, L. H. S. Avaliação da eficiência do reator UASB tratando efluente de laticínio sob diferentes cargas orgânicas. *Ciência e Agrotecnologia*, v.28, p.1376-1384, 2004.
- Capra, A.; Scicolone, B. Water quality and distribution uniformity in drip/trickle irrigation systems. *Journal of Agricultural Engineering Research*, v.70, p.355-365, 1998.
- Carmo, F. R.; Campos, C. M. M.; Botelho, C. G.; Costa, C. C. Uso de lagoa aerada facultativa como polimento do reator anaeróbio de manta de lodo UASB no tratamento de dejetos de suínos em escala laboratorial. *Ciência e Agrotecnologia*, v.28, p.600-607, 2004.
- Carmo Filho, F.; Oliveira, O. F. Mossoró: Um município do semiárido nordestino, caracterização climática e aspecto florístico. Mossoró: ESAM, 1995. 62p. Coleção Mosso-roense, Série B
- Ceará. Portaria nº154, de 22 de julho de 2002. Dispõe sobre padrões e condições para lançamento de efluentes líquidos gerados por fontes poluidoras. <http://www.semace.ce.gov.br/biblioteca/legislacao/conteudo_legislacao.asp?cd=95>. 25 Maio 2013.
- Cordeiro, G. G. Qualidade de água para fins de irrigação: conceitos básicos e práticas. Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 2001. 32p.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212p.
- Fageria, N.K.; Baligar, V.C.; Jones, C.A. Growth and mineral nutrition of field crops. 2.ed. New York: M. Dekker, 1997. 624p.
- Freire, E. A.; Ferreira, A. C.; Formiga, M. S.; Travassos, K. D. Avaliação da fertilidade do solo em perímetro irrigado no Ceará. *Revista Educação Agrícola Superior*, v.24, p.32-34, 2009.
- IBGE-Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produção Brasileira de Leite. IBGE, 2011. Relatório Anual de Produção Agropecuária. <<http://www.cnpqgl.embrapa.br/nova/informacoes/estatisticas/producao/tabela0231.php>>. 02 Mar. 2013.
- Lima, M. S. S.; Henrique, I.N.; Ceballos, B. S.O.; Sousa, J.T.; Araújo, H. W. C. Qualidade sanitária e produção de alface irrigada com esgoto doméstico tratado. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.9, p.21-25, 2005.
- Matos, A. T. Poluição ambiental: Impactos no meio físico. Viçosa: UFV, 2010. 260p.
- Matos, A. T.; Abrahão, S. S.; Lo Monaco, P. A. V.; Sarmento, A. P.; Matos, M. P. Capacidade extratora de plantas em sistemas alagados utilizados no tratamento de águas residuárias de laticínios. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.14, p.1311-1317, 2010a.
- Matos, A.T.; Freitas, W.S.; Lo Monaco, P.A.V. Eficiência de sistemas alagados construídos na remoção de poluentes de águas residuárias da suinocultura. *Ambi-Água*, v.5, p.119-132, 2010b.
- Medeiros, S. S.; Soares, A. A.; Ferreira, P. A.; Matos, A. T.; Souza, J. A. A. Utilização de água residuária de origem doméstica na agricultura: Estudo das alterações químicas do solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.9, p.603-612, 2005.
- Mendonça, E. S.; Rowell, D. L. Dinâmica do alumínio e de diferentes frações orgânicas de um Latossolo argiloso sobre cerrado e soja. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.18, p.295-303, 1994.
- Nakayama, F. S.; Boman, B. J.; Pitts, D. Maintenance. In: Lamm, F. R.; Ayars, J. E.; Nakayama, F. S. (ed.). *Microirrigation for crop production: Design, operation and management*. Amsterdam: Elsevier, 2006, cap.11, p.389-430.

- Nichele, J. Utilização de efluentes sanitários para o suprimento de nutrientes a cultura do milho e modificações em propriedades químicas do solo. Porto Alegre: UFRS. 2009. 76p. Dissertação Mestrado
- Rice, E. W.; Baird, R. B.; Clesceri, A. D. Standard methods for the examination of water and wastewater. 22. ed. Washington: APHA, AWWA, WPCR, 2012. 1496p.
- Ribeiro, A. C.; Guimarães, P. T. G.; V. Alvarez, V. H. A. recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. Viçosa: CFSEMG. 1999. 359p.
- Ribeiro, M. R.; Freire, F. J.; Montenegro, A. A. A. Solos halomórficos do Brasil: Ocorrência, gênese, classificação, uso e manejo sustentável. In: Curi, N.; Marques, J. J.; Guilherme, L. R. G.; Lima, J. M.; Lopes, A. S.; Alvarez, V. H. (ed.) Tópicos em Ciência do Solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. p.165-208.
- Rodrigues, M. B.; Vilas Boas, M. A.; Sampaio, S. C.; Reis, C. F.; Gomes, S. D. Efeitos de fertirrigações com águas residuárias de laticínio e frigorífico no solo e na produtividade da alface. Engenharia Ambiental, v.8, p.173-182, 2011.
- Scherer, E. E.; Nesi, C. N.; Massoti, Z. Atributos químicos do solo influenciados por sucessivas aplicações de dejetos suínos em áreas agrícolas de Santa Catarina. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.34, p.1375-1383, 2010.
- von Sperling, M. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. 3.ed. Belo Horizonte: UFMG, v.1, 2011. 452p.
- Vourch, M.; Balannec, B.; Chaufer, B.; Dorange, G. Nanofiltration and reverse osmosis of model process waters from the dairy industry to produce water for reuse. Desalination, v.172, p.245-256, 2005.
- Vourch, M.; Balannec, B.; Chaufer, B.; Dorange, G. Treatment of dairy industry wastewater by reverse osmosis for water reuse. Desalination, v.219, p.190-202, 2008.