

16448 - Fitoextração de sódio pelo cultivo do milho em sucessão a produção da beterraba irrigada com águas residuárias de origem agroindustrial

Sodium phytoextraction by millet crop in succession the production of irrigated table beet with wastewater agroindustrial origin

ROSSI, Fabrício¹; GOMES, Tamara Maria¹; TOL, Johan Cór De Holanda Bueno¹; FERRAZ, Marcos Roberto¹; LUZ, Pedro Henrique de Cerqueira¹; AMBROSANO, Edmilson José²

¹Universidade de São Paulo, Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Pirassununga, SP, fabricio.rossi@usp.br, tamaragomes@usp.br, johan.tol@usp.br, mrferraz@usp.br; phcerluz@usp.br; ²Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios, Pólo Regional Centro-Sul, Piracicaba, SP, ambrosano@apta.sp.gov.br

Resumo: A fitorremediação é uma técnica para extração dos sais acumulados pela irrigação dos cultivos com águas residuárias, num modelo integrado de produção da agroindústria familiar e a produção vegetal. Este trabalho teve por objetivo verificar a fitoextração do sódio pelo cultivo do milho em solo irrigado com águas residuárias de laticínios. O delineamento foi em blocos casualizados, com dez tratamentos, em esquema fatorial (3 x 3) + 1, com quatro repetições. O milho foi cultivado em sucessão ao cultivo da beterraba, que recebeu três fontes de água para irrigação: água tratada de abastecimento (AB), efluente aeróbio (EA) e efluente anaeróbio (EAN), com três lâminas: 50%, 100% e 150% da evapotranspiração da beterraba (ETc). A testemunha foi cultivada com 100% de adubação nitrogenada recomendada para a cultura, com AB e 100% ETc. O milho apresentou a maior quantidade de fitomassa e fitoextração de sódio no tratamento EAN, independente da lâmina de irrigação.

Palavras-chave: *Pennisetum glaucum*, fitorremediação, efluente, laticínio.

Abstract: Phytoremediation is a technique for extracting salts cumulative for the irrigation of crops with wastewater, an integrated production model of the family agroindustry and plant production. Thus, this study aimed to verify the phytoextraction of sodium by millet crop in soil irrigated with wastewater from dairy. The design was a randomized complete block with ten treatments in a factorial (3 x 3) + 1, with four replications. The millet was grown in succession to the cultivation of table beets, which three sources of water for irrigation: treated water supply (TW), aerobic effluent (AE) and anaerobic effluent (ANE), with three irrigation levels: 50%, 100% and 150% evapotranspiration beet (ETc). The control was grown with 100% nitrogen fertilizer recommended for culture, with TW, and 100% ETc. Pearl millet had the highest amount of biomass and phytoextraction sodium in the treatment EAN, independent of water depth.

Keywords: *Pennisetum glaucum*, phytoremediation, effluent, dairy.



Introdução

A agroecologia proporciona as bases científicas e metodológicas para a promoção de estilos de agriculturas sustentáveis (GLIESSMAN, 2001; CAPORAL; COSTABEBER, 2009). A integração entre as atividades agrícolas da propriedade rural é um meio de otimização dos recursos para produção de alimentos com menores custos energéticos.

As agroindústrias familiares estão em grande parte localizadas em zonas rurais, o que facilita a condução das águas residuárias às áreas de cultivos. O volume de água residuária originada de laticínios situa entre 1 a 6 litros de resíduo para cada litro de leite processado nas indústrias brasileiras (MAGANHA, 2006). Esse volume é composto de matérias primas como: compostos lácteos gerados e não aproveitados nos processos industriais, e poeira contidas nos equipamentos. Além, muitas vezes de soro, que se lançado diretamente nos cursos d'água se torna um dos maiores problemas ambientais encontrados na indústria de laticínios.

A principal vantagem da utilização de efluentes na agricultura é o reuso da água residuária para fins de irrigação das culturas, integrando as atividades do sistema e evitando que a água seja captada de rios e represas.

A irrigação de áreas agrícolas com efluentes orgânicos é viável por possibilitar a conservação dos recursos hídricos e ser uma fonte de umidade e nutrientes às plantas (FONSECA et al., 2007).

Por outro lado, existem efeitos negativos da utilização destas águas, sobretudo aqueles causados pela concentração de sais no solo, que podem causar salinização e/ou sodificação (AYRES; WESTCOT, 1999). A salinização faz com que as plantas necessitem de ajustamento osmótico a fim de manter o fluxo de água no sentido solo-folha. O efeito da redução do componente osmótico do potencial da água no solo é similar ao de um déficit hídrico (TAIZ e ZEIGER, 2004). Além disso, a prática apresenta riscos devido à persistência de determinados constituintes no pós-tratamento do efluente, como por exemplo, o sódio, cujo acúmulo no solo pode causar sodificação; dispersão das argilas e conseqüentemente camadas compactadas, diminuindo a infiltração da água e dificultando o crescimento das raízes (FONSECA, 2007).

Visando atenuar os problemas causados pela utilização da água residuária na irrigação das culturas foram desenvolvidas algumas alternativas, tais como: aplicar uma lâmina de lixiviação para excesso de sais (FERREIRA et al., 2006), e uso de resíduos de gesso, considerado eficaz na precipitação de sais e sódio solúvel (SANTOS et al., 2014). No entanto, a alternativa ecológica é a chamada fitorremediação, que é uma palavra de origem grega, na qual "phytos" quer dizer planta e "remederi" significa curar ou restaurar (ANDRADE et al., 2007). A



fitorremediação é o processo pelo qual certas espécies de plantas removem determinados elementos químicos orgânicos e inorgânicos dos solos.

Entender como as plantas crescem, se desenvolvem, seu potencial ecológico e sua interação com o ambiente, é um dos fundamentos básicos no manejo de agroecossistemas sustentáveis (GLIESSMAN, 2001).

Os solos salinizados e/ou sodificados pelo uso de águas residuárias de origem orgânica, principalmente as oriundas de processos agroindustriais orgânicos, encontram na fitorremediação uma técnica sustentável para extração dos sais acumulados ao solo.

Deste modo, o objetivo deste trabalho foi avaliar a fitoextração do sódio pelo milho em solo irrigado com águas residuárias de origem agroindustrial orgânica.

Metodologia

A área experimental para o cultivo do milho foi uma casa de vegetação com 210 m² de área, no campus da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos (FZEA), próximo às instalações da Estação de Tratamento de Efluentes do laticínio escola, no município de Pirassununga-SP.

A localização geográfica do campus é 21°59' de latitude sul 47°26' de longitude oeste, além de altimetria média de 635 metros. O clima da região é do tipo Cwa na classificação de Koppen, a temperatura média anual é de 20,8°C, com precipitação pluviométrica média anual de 1298 mm.

O presente estudo ocorreu após a realização do experimento intitulado "Irrigação com águas residuárias na cultura da beterraba", na qual foram aplicados os seguintes tratamentos para irrigação da cultura da beterraba, Híbrido Cabernet: 1) Irrigação realizada com efluente anaeróbio (EAN); 2) Irrigação com efluente aeróbio (EA); 3) Irrigação com água tratada de abastecimento (AB). Foram estudadas três lâminas de irrigação (50%, 100% e 150% da evapotranspiração da cultura (ETc). Estes tratamentos receberam 50% da adubação nitrogenada recomendada para a beterraba. Além da testemunha (T) que recebeu 100% da adubação nitrogenada e água tratada de abastecimento referente a 100% ETc. Desse modo, o delineamento foi em blocos casualizados, com dez tratamentos, em esquema fatorial (3 x 3) + 1, com quatro repetições, sendo que cada caixa d'água correspondeu a uma parcela experimental.

O milho (*P. glaucum*) foi cultivado em sucessão a beterraba, aproveitando os nutrientes residuais do cultivo anterior (Tabela 1).

Na análise estatística do solo não foi determinada interação entre as lâminas de irrigação e os tipos de águas aplicadas. A diferença estatística encontrada foi entre os tratamentos para irrigação, ou seja, efluente anaeróbio (EAN), efluente aeróbio (EA), água tratada e a testemunha.

Tabela 1. Resultado da análise química dos solos antes do cultivo do milho. Pirassununga/SP, 2014.

Tratamentos*	pH	P	S	K	Ca	Mg	Na	H+Al	
	CaCl ₂	--- mg dm ⁻³ ----				mmolc dm ⁻³ -----			
Testemunha	5,9 b	41,75 b	57,12 a	2,37 b	30,12 b	4,75 b	0,00 b	13,08 a	
AB	6,0 b	41,50 b	44,87 a	2,71 b	31,75 b	4,92 b	0,15 b	11,92 ab	
EA	6,4 a	54,79 a	63,33 a	3,40 a	37,62 a	9,25 a	3,54 a	9,55 bc	
EAN	6,4 a	55,96 a	65,33 a	3,65 a	37,92 a	10,50 a	4,33 a	9,25 c	
C.V. (%)	3,65	22,09	58,11	16,68	18,79	30,13	51,48	25,04	

Tratamentos	MO	SB	CTC	V	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	g kg ⁻¹	--- mmolc dm ⁻³ ----		-- % --		----- mg dm ⁻³ -----			
Testemunha	14,42 a	37,25 b	50,37 b	70,96 b	1,51 a	0,71 b	10,00 a	1,91 a	0,37 a
AB	14,79 a	39,46 b	51,42 b	72,90 b	1,05 a	0,75 ab	10,25 ab	2,25 a	0,47 a
EA	14,09 a	54,07 a	63,70 a	82,35 a	1,24 a	0,81 a	9,42 ab	2,26 a	0,44 a
EAN	14,39 a	56,15 a	65,42 a	84,31 a	1,19 a	0,75 ab	9,17 b	1,86 a	0,50 a
C.V. (%)	7,67	18,19	13,94	8,85	74,69	13,82	10,98	27,15	43,59

Médias seguidas de letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

* Testemunha: 100% da adubação nitrogenada recomendada para a beterraba e água tratada de abastecimento referente a 100% da evapotranspiração da cultura (ETc); EAN: 50% da adubação nitrogenada e irrigação realizada com efluente anaeróbio; EA: 50% da adubação nitrogenada e irrigação com efluente aeróbio; AB: 50% da adubação nitrogenada e irrigação com água tratada de abastecimento.

No cultivo do milho a lâmina de irrigação aplicada supriu 100% da evapotranspiração da cultura com água tratada de abastecimento, ou seja, não foram utilizados efluentes e nem houve diferenciação em lâminas de irrigação.

Para realizar a semeadura do milho foram pesadas 10 gramas de sementes, cv. BRS 1501, para cada parcela, as quais foram distribuídas de forma igualitária em quatro linhas, ou seja, 2,5 gramas de sementes para cada linha espaçadas de 20 centímetros, com profundidade de aproximadamente dois centímetros.

A semeadura ocorreu no dia 03/01/2014, sendo as plantas conduzidas por 65 dias. Na colheita foi determinada a massa fresca e seca (após secagem em estufa de circulação forçada à 65°C, até peso constante) da parte aérea e das raízes do milho em balança de precisão.

A parte aérea e as raízes foram lavadas com solução de água e ácido clorídrico, numa diluição de 0,1%, visando retirar as impurezas indesejáveis. Após secas as folhas e raízes foram processadas em moinho e encaminhadas para análises de

diagnose nutricional pelo laboratório de solos e plantas da FZEA, seguindo métodos descritos por Malavolta et al. (1997).

Foram coletadas amostras de solo de todas as parcelas, na profundidade de 0-20 cm para avaliação do sódio trocável pelo método de extração por resina, sugerido pelo Instituto Agrônomo de Campinas (RAIJ et al., 2001) no laboratório de plantas e solos da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos (FZEA/USP).

Com intuito de obter o extrato aquoso do solo foram realizadas pasta de saturação conforme metodologia proposta por Embrapa (1997). As amostras coletadas para a pasta consideraram os tipos de águas aplicadas (efluente e água de abastecimento tratada) no experimento anterior, entretanto desprezou-se o efeito das lâminas de irrigação. Os extratos obtidos pela pasta de saturação foram encaminhados ao laboratório para determinação dos íons cálcio, sódio e magnésio e posterior cálculo da razão de adsorção de sódio (RAS) pela equação descrita por Ayres e Westcot (1999).

Os dados foram submetidos a análise de variância (Anova) e as médias comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$) pelo software SISVAR 5.3 (FERREIRA, 2011).

Resultados e discussões

A maior média de massa fresca da parte aérea do milho foi obtida com o tratamento EAN, que diferiu estatisticamente dos demais tratamentos (Tabela 2). A menor produção de massa fresca da parte aérea foi obtida com o tratamento AB, provavelmente pela menor quantidade de nutrientes disponíveis no solo, principalmente o nitrogênio.

Tabela 2. Massa fresca (MFPA) e seca (MSPA) da parte aérea e massa fresca (MFR) e seca (MSR) das raízes do milho. Pirassununga/SP, 2014.

Tratamentos	kg m ⁻²			
	MFPA	MSPA	MFR	MSR
T	0,976 b	0,215 b	0,027 ab	0,012 a
AB	0,519 c	0,109 b	0,018 b	0,009 b
EA	0,931 bc	0,194 b	0,023 ab	0,010 ab
EAN	1,625 a	0,380 a	0,034 a	0,013 a
C.V. (%)	30,91	34,70	38,26	25,52

Médias seguidas de letras diferentes, nas colunas, diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).
 Legenda: EA = Efluente aeróbio; EAN = Efluente anaeróbio; AB – Água tratada de abastecimento (EA, EAN e AB receberam 50% da dose recomendada de N para a cultura da beterraba).
 Testemunha = AB, 100% evapotranspiração da cultura (ETc) e 100% da dose recomendada de N para a cultura da beterraba.

As produções de massa seca (MSPA) observadas em todos os tratamentos foram menores que as obtidas por Boer et al. (2007) e Torres et al. (2005), que conseguiram uma produção de $1,080 \text{ kg m}^{-2}$, com colheita realizada a 240 dias após o semeio e $1,030 \text{ kg m}^{-2}$ sendo a colheita feita aos 110 dias do semeio, respectivamente. As menores produções obtidas no experimento se justificam pelo fato do menor tempo de desenvolvimento do milho e pelo teor de nutrientes no solo.

Convém salientar que o milho desenvolveu-se apenas com a adubação residual do experimento anterior (Tabela 1). A saturação por bases (V%) estava acima de 70% para todos os tratamentos. O teor de matéria orgânica (MO) apresentou média de $14,42 \text{ g kg}^{-1}$, não diferindo entre os tratamentos. Os teores de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) eram superiores nos tratamentos com aplicação de efluentes (EA e EAN), não diferindo estatisticamente entre si e superiores aos tratamentos irrigado com água de abastecimento. Este fato, aliado ao teor de nitrogênio residual, provavelmente, foi responsável pela maior produção de massa fresca e seca da parte aérea pelo tratamento EAN. Os tratamentos T, AB e EA demonstraram médias de massa seca da parte aérea estatisticamente semelhante.

Em relação às raízes, a massa fresca e seca apresentaram o mesmo comportamento, sendo a maior produção obtida pelo tratamento EAN, que não diferiu estatisticamente dos tratamentos EA e T (Tabela 2).

Os teores de nitrogênio (N), potássio (K) e enxofre (S) não variaram entre os diferentes tratamentos. A testemunha (T) teve uma extração de fósforo estatisticamente semelhante às parcelas irrigadas com água tratada (AB) e superiores ao tratamento com efluentes (EA e EAN).

A extração de sódio (Na) pela parte aérea do milho não diferiu estatisticamente entre os tratamentos EA ($4,17 \text{ g kg}^{-1}$) e EAN ($3,83 \text{ g kg}^{-1}$), que não diferiu estatisticamente da testemunha. Porém, o tratamento com água tratada (AB) obteve as menores médias, diferindo estatisticamente dos demais tratamentos. Morrill et al., (2012) aplicaram soro de leite no milho e verificaram acúmulo de 14 g kg^{-1} para aplicação de $1000 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de forma parcelada. Desta forma, o potencial de fitoextração do sódio pelo milho pode ser superior ao obtido no atual experimento.

Não foram observadas diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos para os micronutrientes: boro (B), ferro (Fe), cobre (Cu) e manganês (Mn). O teor de zinco (Zn) foram superiores no tratamento T (testemunha), mas não diferiu estatisticamente da AB e do EAN.

A maior fitoextração de N foi no tratamento EAN ($26,62 \text{ kg ha}^{-1}$), que diferiu estatisticamente dos demais tratamentos. De maneira similar, o mesmo ocorre para o K, Ca, Mg e S (Tabela 3). O P foi extraído em menores quantidades, sendo o maior valor, $2,64 \text{ kg ha}^{-1}$ extraído pelo tratamento EAN, mas que não diferiu

estatisticamente da testemunha e da EA. O acúmulo de nitrogênio (N) e fósforo (P) na parte aérea do milho foi muito inferior em todos os tratamentos quando comparado com o experimento realizado por Boer et al. (2007) que obtiveram 98,98 kg ha⁻¹ de nitrogênio e 9,82 kg ha⁻¹ de fósforo com colheita aos 60 dias após o semeio. Deste modo, o potencial de desenvolvimento e fitoextração do milho são superiores ao obtido neste experimento.

Tabela 3. Fitoextração dos macronutrientes pela fitomassa do milho com 65 dias de desenvolvimento. Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Pirassununga-SP, 2014.

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	S
	----- kg ha ⁻¹ -----					
AB	8,10 b	1,40 b	28,09 b	5,87 c	1,67 b	2,93 b
EA	13,80 b	1,86 ab	47,33 b	7,87 bc	3,50 b	5,32 b
EAN	26,62 a	2,64 a	95,02 a	13,96 a	7,26 a	10,71 a
T	16,19 b	2,45 ab	51,75 b	10,62 ab	3,05 b	6,12 b
C.V.(%)	38,41	40,80	38,00	34,13	40,91	45,87

Médias seguidas de letras diferentes, nas colunas, diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).
Legenda: EA = Efluente aeróbio; EAN = Efluente anaeróbio; AB – Água tratada de abastecimento (EA, EAN e AB receberam 50% da dose recomendada de N para a cultura da beterraba).
Testemunha = AB, 100% evapotranspiração da cultura (ETc) e 100% da dose recomendada de N para a cultura da beterraba.

Os teores de K (Tabela 3) extraídos pelo milho foram consideravelmente maiores em todos os tratamentos que os obtidos por Oliveira et al. (2002) a 100 dias após o semeio, que conseguiram a quantidade de 20,8 kg ha⁻¹. As concentrações de Ca e Mg obtidas por Boer et al. (2007) foram maiores que as observadas em todos os tratamentos do corrente experimento, sendo que os autores obtiveram resultados de 49,05 e 29,14 kg ha⁻¹ de cálcio e magnésio, respectivamente. O teor de S obtido por Boer et al. (2007), de 9,81 kg ha⁻¹ foi inferior ao observado no tratamento EAN, de 10,71 kg ha⁻¹.

Os teores de sódio extraídos pela parte aérea do milho foram maiores para o tratamento EAN (14,69 kg Na ha⁻¹), sem, no entanto, diferir estatisticamente do tratamento EA (8,02 kg Na ha⁻¹) (Figura 1). Ambos foram superiores aos tratamentos irrigados com água de abastecimento (AB e T).

Na caracterização destes tratamentos (tipos de águas) em relação ao sódio obtiveram-se os seguintes valores: 69,80±18,43 mg L⁻¹ (EAN) e 50,25±13,05 mg L⁻¹ (EA). Não foi detectada a presença desse componente na água tratada utilizada na irrigação dos experimentos.

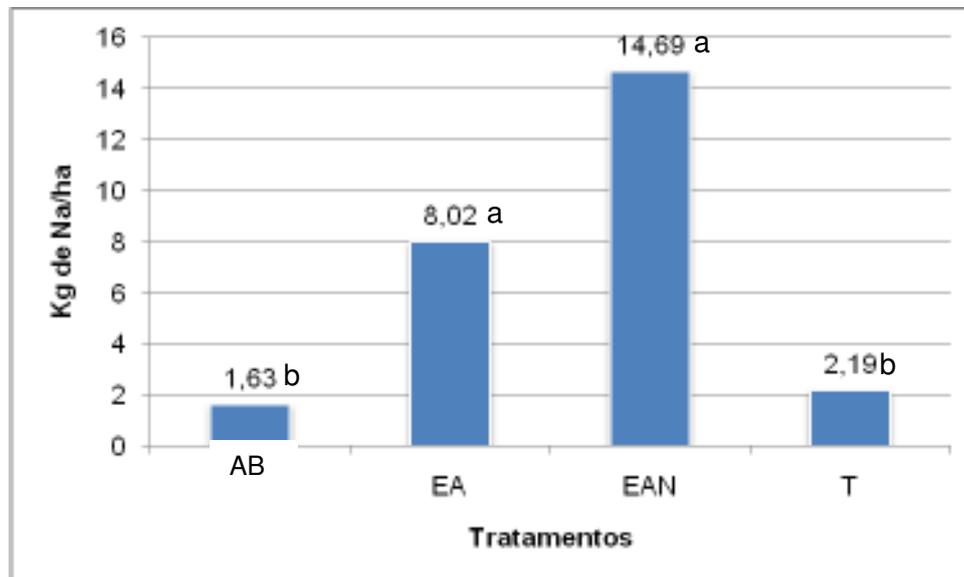


Figura 1. Fitoextração do sódio pela parte aérea do milho em cada tratamento. Pirassununga-SP, 2014.

Médias seguidas de letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Legenda: EA = Efluente aeróbio; EAN = Efluente anaeróbio; AB – Água tratada de abastecimento (EA, EAN e AB receberam 50% da dose recomendada de N para a cultura da beterraba).

Testemunha = AB, 100% evapotranspiração da cultura (ETc) e 100% da dose recomendada de N para a cultura da beterraba.

Em relação a razão de adsorção de sódio (RAS), antes do cultivo do milho, a RAS foi superior nos tratamentos com efluentes (EA e EAN), diferindo estatisticamente dos tratamentos irrigados com água (AB e T) (Tabela 4). Após o cultivo do milho observa-se a mesma tendência, mas com redução de 55% da RAS, diferindo estatisticamente entre antes e depois apenas para os tratamentos com aplicação de efluentes, tanto aeróbio (EA), quanto anaeróbio (EAN) (Tabela 4).

A condutividade elétrica (CE) do extrato aquoso de saturação do solo, tanto antes como depois do cultivo do milho, apresentou o mesmo comportamento, sendo que os tratamentos com efluentes apresentaram valores superiores (2,14 e 2,57 dS m^{-1} para EAN e 1,73 e 2,93 dS m^{-1} para EA) em relação aos tratamentos com água. Os valores do tratamento EA aumentaram estatisticamente após o cultivo do milho.

As médias de PST, relação entre o teor de sódio disponível e a CTC do solo, calculadas antes do plantio do milho e após a colheita do mesmo obtiveram comportamentos semelhantes para AB e T, diferindo dos tratamentos com aplicação de efluentes (EA e EAN). No entanto, não houve diminuição da PST após o cultivo, somente acréscimo para o tratamento efluente aeróbio (EA), que passou de 5,37 para 9,12%. Pizarro (1978) classifica solos sódicos quando apresentam valores de PST acima de 7.

Os teores de sódio refletem os resultados também encontrados nos efluentes (EA com $50,25 \pm 13,05$ mg L⁻¹ de sódio e EAN com $69,80 \pm 18,43$ mg L⁻¹ de sódio), raiz e planta, significativamente superior em relação aos tratamentos com água.

Tabela 4. Resultados da razão de adsorção de sódio (RAS) e condutividade elétrica (CE) do extrato de saturação do solo, e porcentagem de sódio trocável (PST) na capacidade de troca catiônica do solo (CTC) antes do semeio e após a colheita do milho. Pirassununga/SP, 2014.

Tratamentos	RAS				CE				PST			
	Antes		Depois		Antes		Depois		Antes		Depois	
	---- (mmolc. L ⁻¹) ^{1/2} ----				----- dS m ⁻¹ -----				----- % -----			
AB	0,76	Ab	0,35	Ab	0,61	Ab	1,15	Ab	0,19	Ab	0,73	Ab
EA	3,75	Aa	1,64	Ba	1,73	Ba	2,93	Aa	5,37	Ba	9,12	Aa
EAN	3,56	Aa	1,47	Ba	2,14	Aa	2,57	Aa	6,98	Aa	7,16	Aa
T	0,72	Ab	0,35	Ab	0,82	Ab	0,29	Ab	0,00	Ab	0,29	Ab
C.V. (%)	24,69				31,70				54,32			

Médias seguidas de letras diferentes, minúsculas nas colunas, e maiúsculas nas linhas para cada parâmetro diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Testemunha: 100% da adubação nitrogenada recomendada para a beterraba e água tratada de abastecimento referente a 100% da evaporação da cultura (ETc); EAN: 50% da adubação nitrogenada e irrigação realizada com efluente anaeróbico; EA: 50% da adubação nitrogenada e irrigação com efluente aeróbico; AB: 50% da adubação nitrogenada e irrigação com água tratada de abastecimento.

O aumento de CE e PST encontrados após o cultivo do milho para o tratamento EA (efluente anaeróbico) deve ter ocorrido em função da menor absorção de sódio pelo milho neste tratamento quando comparado ao EAN (efluente anaeróbico). Durante o cultivo do milho possivelmente houve uma redistribuição do sódio que se encontrava lixiviado (em camada sub-superficial do solo), ou seja, nas camadas inferiores das parcelas, onde a amostragem inicial do solo não permitiu a sua determinação, haja vista que o solo foi amostrado de 0-20 cm de profundidade.

Conclusões

O milho desenvolveu-se melhor após a aplicação do efluente anaeróbico (EAN) tratado de laticínio, embora seu potencial de produção de fitomassa seja superior ao apresentado neste estudo.

A fitoextração do sódio ocorreu em maior proporção no tratamento EAN, seguido do EA, sendo determinante para isso a adubação residual do cultivo da beterraba, principalmente em relação ao nitrogênio, que foi o principal nutriente limitante.



A mitigação do sódio foi eficiente, reduzindo a razão de adsorção de sódio (RAS), para o tratamento com EAN, embora não tenha reduzido a condutividade elétrica (CE) do mesmo e a porcentagem de sódio trocável (PST).

A fitorremediação, dentro de sistemas agroecológicos, torna-se uma alternativa promissora por viabilizar o uso de águas residuárias orgânicas, oriundas de agroindústrias localizadas em pequenas e médias propriedades rurais, como forma de otimizar os recursos para produção de alimentos com menores custos energéticos e promover a conservação dos recursos naturais, principalmente os hídricos.

Agradecimentos

Auxílio pesquisa FAPESP nº 2012/19239-0.

Referências bibliográficas

ANDRADE, J. C. M.; TAVARES, A. S. R. L.; MAHLER, C. F. **Fitorremediação: uso de plantas na melhoria da qualidade ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. 176p.

AYRES, R. S., WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. Tradução de H. R. Gheyi, J. F. de Medeiros, F. A. V. Damasceno., v. 29 revisado 1 (FAO). Tradução de Water quality for agriculture. Campina Grande: UFPB, 1999, 218p.

BOER, C. A., ASSIS, R. L., SILVA, G. P., BRAZ, A. J. B. P., BARROSO, A. L. L., FILHO, A. C., PIRES, F. R. Ciclagem de nutrientes por plantas na entressafra em um solo de cerrado. **Revista agropecuária brasileira**, v. 42, n. 9, p.1269-1276, 2007.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro). **Manual de métodos de análise de solos**. 2. Ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia (UFLA)*, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

FERREIRA, P. A; MOURA, R. F.; SANTOS, D. B.; FONTES, P. C. R.; MELO, R. F. Efeitos da lixiviação e salinidade da água sobre um solo salinizado cultivado com beterraba. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 3, 2006.

FONSECA, A. F.; HERPIN, U.; PAULA, A.M. de; VICTÓRIA, R.; MELFI, A.J. Agricultural use of treated sewage effluents: agronomic and environmental implications and perspectives for Brazil. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 64, n. 2, p. 194-209, 2007.



MAGANHA, M. F. B. Guia técnico ambiental da indústria de produtos lácteos. São Paulo: CETESB, 2006. 95 p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas:** princípios e aplicações. 2.ed. Piracicaba: Potafos, 319p. 1997.

MORRIL, W. B. B., ROLLIM, M. M., NETO, E. B., PEDROSA, E. M. R., OLIVEIRA, V. S., ALMEIDA, G. L. P. Produção e nutrientes minerais de milho forrageiro e sorgo sudão adubado com soro de leite. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, v. 16, n. 2, p. 182-188, 2012.

OLIVEIRA, T. K.; CARVALHO, G. J.; MORAES, R. N. S. Plantas de cobertura e seus efeitos sobre o feijoeiro em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, p.1079-1087, 2002.

RAIJ, B. van; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais.** Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 285 p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia vegetal. 3ª ed. Porto Alegre: **Artmed**. 2004. 719p.
TORRES, J. L. R.; PEREIRA, M.G.; ANDRIOLI, I.; POLIDORO, J.C.; FABIAN, A.J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura em um solo de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 609-618, 2005.