

Artigo Técnico

Cultivo de mudas de eucalipto irrigadas com esgoto doméstico tratado

Cultivation of eucalyptus seedlings irrigated with treated domestic sewage

Robson José Silva¹, Savia Gavazza¹, Lourdinha Florencio¹,
Clístenes Williams Araujo Nascimento², Mario Takayuki Kato¹

RESUMO

Avaliou-se o cultivo de mudas de eucalipto da espécie *urograndis* irrigadas com esgoto doméstico tratado em estação com reator anaeróbio e lagoa de polimento. A irrigação das mudas, em vaso e com base na capacidade de pote (CP) para o solo, foi efetuada em experimento com seis tratamentos (T), com quatro repetições cada. Em T1, T2, T3 e T4, a irrigação com esgoto foi com lâmina a 100, 80, 60 e 40% do índice CP, respectivamente; em T5 e T6, a irrigação foi com água a 80% de CP. Apenas T5 teve adição de fertilizantes (NPK). Uma boa eficiência da estação de tratamento foi obtida durante os 3 meses de experimento, com remoção de demanda bioquímica de oxigênio, demanda química de oxigênio e helmintos de 90, 87 e 100%, respectivamente; portanto, com qualidade de efluente adequada para irrigação de arbóreas. Os desempenhos de T2 e T3 foram os melhores em termos de parâmetros de crescimento da planta (altura, diâmetro do caule, diâmetro da copa, número de folhas e matéria seca); comparativamente, em T2, acumulou-se mais nitrogênio nas folhas e caules. Os resultados obtidos mostram que o cultivo de mudas de eucalipto irrigadas com esgoto tratado, aproveitando os nutrientes e com lâminas adequadas (entre 80 e 60% do índice CP), é viável agronomicamente.

Palavras-chave: reator anaeróbio; lagoa de polimento; capacidade de pote; lâmina de irrigação; desempenho agrônomico; reúso.

ABSTRACT

The cultivation of *Eucalyptus urograndis* seedlings irrigated with domestic sewage effluent of a treatment plant with anaerobic reactor and polishing pond was evaluated. Seedling pots were irrigated based on the soil pot capacity (PC) in six treatments (T) with four repetitions each. The pots in T1, T2, T3 and T4 were irrigated with slide heights at 100, 80, 60 and 40% of the PC index, respectively; in T5 and T6, irrigation was only with water and slide heights at 80% of PC. Only T5 received additional nutrients (NPK). Along the experiment (3 months), the treatment plant showed good removal efficiencies of biochemical oxygen demand (90%), chemical oxygen demand (87%) and helminth eggs (100%); therefore, with adequate effluent quality for tree irrigation. T2 and T3 showed the best results in terms of plant development parameters, like height, stalk diameter, cup diameter, number of leaves and dry matter; comparatively, T2 showed the highest nitrogen accumulation in the leaves and stalks. The results show that cultivation of eucalyptus seedlings irrigated with treated sewage, taking advantage of the nutrients and with adequate slide heights (between 80 and 60% of PC index), is agronomically viable.

Keywords: anaerobic reactor; polishing pond; pot capacity; irrigation slide height; agronomical performance; reuse.

INTRODUÇÃO

Entre as configurações utilizadas atualmente no tratamento de esgotos domésticos, uma das principais é o sistema formado por reator anaeróbio tipo UASB seguido de lagoa de polimento. Nesse sistema, 60 a 80% da matéria orgânica afluente são degradadas no reator anaeróbio, cabendo à lagoa a remoção das frações solúvel e particulada remanescentes e, eventualmente, de microrganismos patogênicos e nutrientes. Os subprodutos dessas estações de tratamento, como o efluente tratado (água e nutrientes) e a biomassa anaeróbia estabilizada (lodo de

descarte), são considerados potenciais alternativas de reúso agrícola. O uso desses efluentes na irrigação reduz as concentrações de fertilizantes minerais utilizados para suprir as necessidades de muitas culturas. Destaca-se o nitrogênio, que é um nutriente limitante ao desenvolvimento das culturas, mas que se encontra em quantidades relativamente significativas nesses efluentes tratados (BARROS *et al.*, 2012).

O eucalipto é uma planta exótica no Brasil e tem diversas aplicações no setor industrial: produção de móveis, papel e celulose, entre outros. De acordo com Lima (1996), pelas suas características de adaptação às

¹Departamento de Engenharia Civil do Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) – Recife (PE), Brasil.

²Departamento de Agronomia da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) – Recife (PE), Brasil.

Endereço para correspondência: Mario Takayuki Kato – Avenida Acadêmico Helio Ramos, s/n – Cidade Universitária – 50740-530 – Recife (PE), Brasil – E-mail: kato@ufpe.br

Fonte de financiamento: Projeto Núcleo de Tecnologia de Tratamento e Reúso de Efluentes e Lodos (NUTREL)/PRONEX FACEPE – CNPq.

Recebido: 13/03/12 – **Aceito:** 27/04/15 – **Reg. ABES:** 84883

condições de clima, solo e diversificação do uso da madeira, tem sido uma das árvores mais plantadas no mundo, podendo ser considerado uma verdadeira “árvore de negócios”. A cultura do eucalipto apresenta, em princípio, boas condições para irrigação com efluentes domésticos tratados. Há ainda poucas informações na literatura relacionadas às respostas da planta à irrigação, seja com água ou com efluentes. Entretanto, observa-se que a produtividade do eucalipto aumenta em locais com maiores índices pluviométricos e menores déficits hídricos. O cultivo do eucalipto é bastante simples e requer pouca mão de obra, minimizando a exposição de trabalhadores e, portanto, reduzindo os riscos à saúde humana provenientes de possível contaminação por meio da prática do reúso (VERONEZ, 2009). Um aspecto considerado positivo é que essa cultura está em plena expansão no Brasil. Assim, o uso de esgoto doméstico tratado na sua irrigação pode representar uma boa alternativa de desenvolvimento sustentável, por ser ambiental e agronomicamente adequado; isso significa economia de água de melhor qualidade, combate à poluição, incentivo ao reflorestamento e economia de fertilizantes minerais.

Assim, neste trabalho, os objetivos foram

1. avaliar o desempenho de um sistema de tratamento de esgotos em escala real para verificar a adequação da qualidade do efluente para eventual reúso agrícola; e
2. verificar a viabilidade agrônômica do uso desse efluente em irrigação para cultivo de mudas de eucalipto em escala de viveiro, em termos de crescimento e nutrientes na planta e no solo.

METODOLOGIA

O experimento foi realizado em viveiro construído junto à Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) Mangueira, situada na cidade de Recife (PE). A ETE era composta por reator anaeróbio tipo UASB com 8 módulos e lagoa de polimento, com tempo de detenção hidráulico de 8 horas e 3,5 dias, respectivamente. O efluente da estação foi utilizado na irrigação das mudas de *Eucalyptus urograndis*, cedidas pelo Centro de Tecnologias Estratégicas do Nordeste (Recife), com altura média inicial de 20 cm. Para avaliar a eficiência do tratamento e adequação do efluente para reúso, foram realizadas coletas de amostras na entrada do reator anaeróbio e na saída da lagoa de polimento. As amostras foram analisadas no Laboratório de Saneamento Ambiental da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE — Recife), com base no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, AWWA, WEF, 2012). As análises de demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO) e sólidos foram efetuadas uma vez por semana. As de nitrogênio, fósforo e potássio também foram realizadas uma vez por semana, mas somente no efluente da estação. Os ovos de helmintos foram determinados uma vez a cada duas semanas, no afluente e efluente da ETE.

Cada muda foi plantada em um vaso contendo 10 kg de solo seco ao ar. A irrigação foi manual nas quantidades definidas para cada tratamento,

tendo como base a capacidade de pote (CP). O índice CP foi adotado como o conteúdo de água retida pelo solo após a sua saturação e consequente cessamento da drenagem por ação da gravidade (SOUZA *et al.*, 2000). O experimento foi delineado em blocos casualizados, com 6 tratamentos e 4 repetições (Figura 1). Os tratamentos T1, T2, T3 e T4 consistiram em rega das mudas nos potes com efluente tratado, até o solo atingir 100, 80, 60 e 40% do índice CP, respectivamente; enquanto T5 e T6 consistiram em rega com água até atingir as condições de 80% de CP para ambos. No caso de T5, definiu-se ainda pela adição de NPK ao solo durante o plantio das mudas. O controle da irrigação se deu por pesagem diária, sendo utilizada nesse processo uma balança Prix III Toledo a bateria, com a capacidade de 15 kg e precisão de 5 g. As regas foram controladas pelo peso do conjunto vaso + solo + lâmina de água de cada tratamento, quando se atingisse o valor padrão indicado na Tabela 1. O peso da muda foi desconsiderado, uma vez que o seu monitoramento necessitaria de seis ou mais blocos iguais, com clones de mudas plantadas nas mesmas condições e que seriam retiradas dos vasos em períodos determinados para o controle. Esse procedimento acabou sendo inviável, por exigir uma área bem maior para o plantio no viveiro, não disponível no período experimental.

O solo para o experimento foi obtido em Moreno, região da Zona da Mata de Pernambuco, mais precisamente de uma área onde o município planeja futuramente o cultivo de eucalipto com irrigação por efluente de esgoto tratado da ETE em construção (SEDEMA, 2010). Foram coletados em campo aproximadamente 300 kg de solo natural. A composição granulométrica por quilograma de solo natural, na profundidade de 0–20 cm, resultou em: 206 g de areia grossa, 184 g de areia fina, 276 g de silte e 334 g de argila. Esse solo se classifica como argissolo vermelho-amarelo, com base no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (LIMA *et al.*, 2008), apresentando textura de média a muito argilosa. Dessa amostra, após seca ao ar e homogeneizada, foram colocados 10 kg de solo em cada um dos 24 vasos utilizados. Como o tratamento T6 serviu de testemunha para o experimento, foram retiradas ainda no processo de preparação dos seus vasos amostras de solo para análises químicas,



Figura 1 - Experimento em viveiro do cultivo de mudas de eucalipto em vasos. (A) Irrigação baseada no índice de capacidade de pote com lâmina controlada por pesagem diária. (B) Situação das plantas nos tratamentos T1 a T6 (blocos casualizados) na semana 6 do experimento.

realizadas segundo os métodos propostos pela EMBRAPA (1999), no Laboratório de Solos da Estação Experimental de Cana-de-Açúcar da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE — Carpina, PE). Para a correção da acidez, foi introduzido carbonato de cálcio, na dose de 0,5 g.kg⁻¹ de solo seco, aplicado em todos os vasos do experimento.

Para o tratamento T5, definido com adição de NPK, as doses dos nutrientes foram aplicadas de acordo com as recomendações do IPA (2008) para a adubação de eucalipto em Pernambuco (g.planta⁻¹): 10 de N, 30 de P₂O₅ e 15 de K₂O, todas no plantio. Os fertilizantes minerais utilizados para atender aos requisitos desses nutrientes foram sulfato de amônio, superfosfato simples e cloreto de potássio, respectivamente. O solo foi homogeneizado após a adição de cada fertilizante e depois foi mantido levemente umedecido nos vasos por 20 dias.

Os demais vasos de todos os outros tratamentos foram mantidos em condições semelhantes pelo mesmo período, quando então foi feito o plantio das mudas. Em seguida, os vasos com as plantas foram levados ao viveiro da ETE Mangueira, construído sob as especificações da EMBRAPA (2006). O tempo de avaliação do experimento foi de 3 meses, período denominado fase de muda da planta; o início dos estudos se deu a partir da montagem e disposição das condições padrão para cada tratamento (Tabela 1).

Ao longo do experimento, as variáveis de crescimento das mudas (altura da planta, diâmetro do caule, diâmetro da copa e número de folhas) foram monitoradas semanalmente. A matéria seca foi determinada apenas no final do experimento, quando as mudas e os solos dos respectivos potes foram armazenados e analisados no Laboratório de Fertilidade do Solo da UFRPE. Foram determinados os teores de nutrientes nas folhas e caule das mudas (nitrogênio, fósforo e potássio) e nas amostras de solo (nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio), sendo utilizada a metodologia da EMBRAPA (1999). Em seguida, dado o delineamento em blocos casualizados, foram avaliados estatisticamente os resultados utilizando-se a análise de variância (ANOVA) e o teste de F, nos níveis de 1 e 5%. Por último, as hipóteses foram testadas para encontrar possíveis diferenças significativas entre os tratamentos, através do teste de Tukey (p>0,05).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Qualidade e adequação do efluente

Os resultados da Tabela 2 mostram que o sistema de tratamento de esgotos apresentou eficiência de remoção satisfatória para DBO (84%) e DQO (70%), com base em afluente e efluente total; muito boa, de 90 e 87%, respectivamente, com base em afluente total e efluente filtrado; e excelente para a remoção de ovos de helmintos (100%). O efluente final apresentou DBO total de 55 mg.L⁻¹ e DQO total de 155 mg.L⁻¹ e nenhum ovo de helmintos. Portanto, o efluente da ETE Mangueira durante o período experimental se encontrava dentro dos padrões propostos por Kellner e Pires (1998) para irrigação de árvores (DBO <60 mg.L⁻¹) e pela Organização Mundial da Saúde (OMS) sobre a qualidade microbiológica para reúso de efluentes em arbóreas, com nematoides intestinais inferiores ou iguais a 1 ovo.L⁻¹ (WHO, 1998).

Numa avaliação anterior do desempenho da ETE Mangueira, os valores encontrados por Kato *et al.* (2005) para DBO e helmintos do efluente também ficaram abaixo dos respectivos limites anteriores. A qualidade desse efluente ou a sua adequação para o reúso agrícola também foram confirmadas em outros trabalhos de avaliação na ETE Mangueira (FLORENCIO *et al.*, 2001; VON SPERLING *et al.*, 2005; MORAIS *et al.*, 2011; BARROS *et al.*, 2012). Portanto, o desempenho da ETE e a qualidade do efluente vêm se mostrando adequados para o reúso, sobretudo para a irrigação de arbóreas.

A baixa eficiência na remoção de sólidos totais se deve principalmente à influência de microalgas na lagoa de polimento, com contribuição significativa em termos de sólidos dissolvidos. Características típicas para sólidos suspensos totais (SST), citadas para efluentes de UASB seguido de lagoa de polimento, são de 70 a 83% para eficiência de remoção e concentrações de 50 a 80 mg.L⁻¹ (BASTOS & BEVILACQUA, 2006). Durante o período experimental, a remoção de SST na lagoa estudada (68%) ficou próxima do limite inferior (70%), mas resultando num efluente de 108 mg SST.L⁻¹, acima do limite superior correspondente (80 mg.L⁻¹). Por outro lado, de acordo com Kellner e Pires (1998) e a OMS (WHO, 1998), não há restrição de teor de sólidos para a irrigação de árvores. Alto teor de sólidos suspensos poderia causar

Tabela 1 - Tratamentos aplicados ao experimento.

Tratamento	Irrigação	Lâmina aplicada por dia (% do índice CP)	Peso padrão* (kg)	Volume aplicado (L.d ⁻¹)**
T1	Efluente tratado	100	13,215	3,0
T2		80	12,615	2,4
T3		60	12,015	1,8
T4		40	11,415	1,2
T5	Água + NPK ao solo	80	12,615	2,4
T6	Água	80	12,615	2,4

*Peso do conjunto vaso + solo + lâmina de água (peso da muda desconsiderado); **valores médios. CP: capacidade de pote (lâmina de água após saturação do solo).

formação de biofilmes e entupimento mais frequente quando se utilizam mangueiras de irrigação. No entanto, a remoção mais eficiente de SST, se requerida, pode ser obtida com melhorias operacionais do próprio sistema de tratamento, como ocorreu em outros períodos nessa mesma ETE (FLORENCIO *et al.*, 2001; KATO *et al.*, 2005; MORAIS *et al.*, 2011). O uso de filtros de pedra poderia ser também uma opção para remoção de excesso de algas de lagoas de maturação ou de polimento (MARTINS, 2012).

Características do solo

Os resultados médios das análises químicas do solo utilizado no experimento se encontram na Tabela 3. Observou-se que o solo estava ácido e pobre em nutrientes, uma vez que foi encontrado pH de 5,10 e doses baixas de nutrientes, especialmente de fósforo ($0,20 \text{ mg.dm}^{-3}$) e potássio ($0,07 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$), macronutrientes essenciais ao bom desenvolvimento das plantas. Para a cultura do eucalipto, por exemplo, teores de fósforo abaixo de 11 mg.dm^{-3} e de potássio abaixo de $0,12 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ são considerados baixos, necessitando de correção pela adição de fertilizantes (IPA, 2008). Essa adição foi realizada no tratamento T5, conforme descrito anteriormente.

Parâmetros de crescimento da planta

Os resultados das medições das variáveis e a análise estatística dos parâmetros de crescimento da planta podem ser observados na Tabela 4. Não houve nenhuma diferença significativa entre todos os tratamentos no tocante ao diâmetro do caule.

Altura da planta

Os melhores desempenhos foram os dos tratamentos T2, T5 e T3, nos quais foram obtidos valores médios das alturas de 65, 63 e 61 cm, respectivamente, mas sem diferenças significativas entre si pelo teste de Tukey. O bom desempenho dos três tratamentos revela algumas particularidades importantes entre eles. Na prática, T2, T5 e T3 se assemelham, primeiramente quanto à faixa percentual de irrigação recomendada do solo, já que constituíram em irrigação das mudas, respectivamente, a 80, 80 e 60% de CP. Em segundo, nos três tratamentos, foram disponibilizados

Tabela 3 - Resultados das análises químicas do solo no início do experimento.

Parâmetros	Unidade	Valores médios
pH	-	5,10
Fe	mg.dm ³	64,40
Cu		0,50
Zn		4,30
Mn		1,70
P		0,20
K	cmol _c .dm ³	0,07
Na		0,06
Al		0,10
Ca		0,80
Mg		0,50
N	dag.kg ¹	0,02

Tabela 2 - Resultados das análises do afluente e efluente e eficiência de tratamento da Estação de Tratamento de Esgotos Mangueira (valores médios para o período do experimento de três meses).

Parâmetros	Número de amostras	Unidade	Afluente do UASB	Efluente da lagoa de polimento	Eficiência de remoção (%)
Sólidos totais	13	mg.L ⁻¹	999	644	35
Sólidos totais fixos			575	456	21
Sólidos totais voláteis			424	188	56
Sólidos suspensos totais	13	mg.L ⁻¹	335	108	68
Sólidos suspensos fixos			96	39	59
Sólidos suspensos voláteis			239	69	71
Sólidos dissolvidos totais	13	mg.L ⁻¹	665	536	19
Sólidos dissolvidos fixos			480	417	13
Sólidos dissolvidos voláteis			185	119	36
DBO	11	mg.L ⁻¹	349	55 (33)*	84 (90)**
DQO	11		519	155 (68)*	70 (87)**
Helminhos	6	ovo.L ⁻¹	91	0	100
NTK (N)	9	mg.L ⁻¹	-	14	-
Nitrogênio amoniacal (N)	9		-	10	-
Fósforo (P)	11		-	2	-
Potássio (K)	13		-	16	-

*Valores de demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO) filtradas em membrana de $0,45 \mu\text{m}$; **Eficiência calculada a partir da DBO e da DQO totais no afluente e filtradas no efluente.

nutrientes à planta: T2 e T3 por meio da irrigação por efluente de esgoto tratado e T5 pela adição de NPK ao solo. Dessa forma, o bom desempenho para o parâmetro de altura pode ser explicado pela combinação do percentual de irrigação e teor de nutrientes adequados. Coraucci Filho *et al.* (2010), em experimento com eucalipto em escala real, irrigados com efluente de lagoa facultativa, obtiveram maior desenvolvimento das plantas nos tratamentos irrigados com efluente tratado em relação ao uso apenas de água e àqueles com água e adubação.

Diâmetro da copa

Os resultados para o diâmetro da copa mostraram que os melhores desempenhos para as mudas foram para os tratamentos T2 e T3, com dimensões médias de 80 e 73 cm, respectivamente. Os mesmos não apresentaram diferenças significativas entre si pelo teste de Tukey. Observou-se novamente boa reação da planta à influência dos nutrientes do efluente de esgoto tratado e à faixa de irrigação de 80 e 60%, respectivamente, para os tratamentos T2 e T3.

Número de folhas

Os resultados do número de folhas se assemelharam com os do diâmetro da copa, onde T2 e T3 apresentaram melhor desempenho, confirmando o bom comportamento da planta quanto à irrigação por efluente a 80 e 60%. Os valores médios para o número de folhas de ambos foram de 387 e 365, respectivamente, não se observando diferenças significativas pelo teste de Tukey. Um detalhe importante ao longo do experimento ocorreu somente nas mudas submetidas ao tratamento T5, com aparecimento constante de larvas e lagartas nas folhas, o que pode ser resultado da adição de NPK (SILVA, 2011). A adubação mineral e o uso de agrotóxicos provocam inibição na síntese de proteínas, causando acúmulo de aminoácidos livres no suco celular e na seiva da planta, alimento que pragas geralmente utilizam para se proliferar, de acordo com a chamada Teoria da Trofobiose (GUAZZELLI & SCHIMITZ, 1996).

Matéria seca

Observou-se que os melhores desempenhos para matéria seca (MS) também foram obtidos nos tratamentos T2 e T3. Com seus respectivos pesos médios por planta, de 103 e 91 g, respectivamente, as diferenças não foram significativas entre si pelo teste de Tukey. Considerando os resultados destacados para os parâmetros altura da planta, diâmetro da copa e número de folhas, obtidos para T2 e T3, os melhores resultados para MS demonstram grande coerência para esses dois tratamentos. Lopes *et al.* (2008), Vieira *et al.* (2008) e Flores *et al.* (2012) encontraram excelentes resultados de MS quando o cultivo foi favorecido por uma adubação que proporcionou às plantas um crescimento acentuado. No caso do eucalipto, cuja produtividade principal é medida em termos de volume de madeira (DIAS & SIMONELLI, 2013), bons resultados de MS em mudas podem indicar árvores bem desenvolvidas ao final do ciclo, desde que sejam mantidos os critérios agrônômicos de cultivo.

Conteúdo de nutrientes na planta

Os resultados da análise estatística para os conteúdos de nutrientes na planta estão expressos na Tabela 5.

Nitrogênio na planta

T2 apresentou excelente resultado para o conteúdo de nitrogênio nas folhas e no caule, com teor médio obtido de 0,66 e 0,14 g.planta⁻¹, respectivamente. Isso é de grande importância, já que as plantas necessitam de nitrogênio em maior quantidade na fase ativa de crescimento, como estimulante na produção de clorofila, responsável pela produção de folhas fortes e de verde intenso, além da formação das defesas vegetais contra pragas (CORSI, 1986). O bom desempenho de T2 revela que o efluente, sob irrigação com lâmina a 80% de CP, foi o melhor fornecedor de nitrogênio para a planta, entre os tratamentos analisados. No caule, apenas T3 apresentou teor médio de nitrogênio próximo ao de T2, o que pode ser justificado pela semelhança entre ambos os tratamentos.

Tabela 4 - Resultados dos parâmetros de crescimento da planta ao final do experimento.

Parâmetros de crescimento da planta									
Altura da planta (cm)		Diâmetro do caule (cm)		Diâmetro da copa (cm)		Número de folhas (un.planta ⁻¹)		Matéria seca* (g.planta ⁻¹)	
T**	Média***	T	Média	T	Média	T	Média	T	Média
T2	65a	T2	1,3NS	T2	80a	T2	387a	T2	103a
T5	63ab	T3	1,2NS	T3	73ab	T3	365ab	T3	91ab
T3	61abc	T6	1,2NS	T6	67b	T6	290bc	T6	74bc
T6	55bcd	T5	1,1NS	T4	66b	T5	278bc	T5	69bcd
T4	53cd	T1	1,1NS	T5	65b	T4	275bc	T4	60cd
T1	49d	T4	1,0NS	T1	62b	T1	266c	T1	41d

*Matéria seca a 65°C (72h); **Tratamentos – T1: efluente a 100% de capacidade de pote (CP); T2: efluente a 80% de CP; T3: efluente a 60% de CP; T4: efluente a 40% de CP; T5: água a 80% do Índice CP + NPK; T6: água a 80% de CP; ***pelo teste de Tukey (p>0,05), médias com mesma letra não diferem significativamente. NS: diferença não significativa.

Fósforo na planta

Embora T2 tenha apresentado novamente bom resultado, com teores de 0,08 e 0,06 g nas folhas e caule, respectivamente, em geral houve semelhança com os demais tratamentos. O fósforo é crucial no metabolismo das plantas, desempenhando papel importante na transferência de energia da célula, na respiração e na fotossíntese (GRANT *et al.*, 2001). Uma particularidade do tratamento T6, cuja irrigação foi apenas com água de abastecimento (80% de CP), é que as mudas apresentaram coloração arroxeada ao longo do experimento (SILVA, 2011). O baixo teor de fósforo influenciou diretamente na coloração das folhas das mudas, já que plantas deficientes apresentam essa coloração como principal sintoma (GUIDI *et al.*, 1994). Isso comprova que o solo utilizado foi realmente pobre no nutriente e que o fósforo contido no efluente, tal como observado para o nitrogênio, foi capaz de produzir verde intenso nas mudas irrigadas por efluente, como foi o caso de T2 (80% de CP). Observou-se também que T5, com água e adição de NPK, apresentou o melhor resultado de conteúdo de fósforo no caule, de 0,10 g.planta⁻¹.

Potássio na planta

Os resultados de potássio revelam que o conteúdo nas folhas não teve diferença significativa entre os tratamentos, com os maiores valores para

T1 e T2 (2,28 e 2,15 g.planta⁻¹, respectivamente). Entretanto, no caule, o conteúdo médio para o tratamento T5, de 1,31 g.planta⁻¹, foi bem superior ao dos demais tratamentos, provavelmente pela adição naquele de NPK ao solo. Segundo Jacoby (1994), o potássio está envolvido no crescimento de tecidos meristemáticos, já que os fito-hormônios que participam desse processo são postos em ação pelo nutriente, com a função de crescimento longitudinal. Isso justifica a ocorrência apresentada anteriormente (Tabela 4) de as mudas apresentarem como principal característica no tratamento T5 um maior crescimento longitudinal. A altura é mais acentuada com menores diâmetros de caule e de copa e menor número de folhas e MS. Embora com altura da planta semelhante em relação aos tratamentos T2 e T3, estes apresentaram maiores valores para os demais parâmetros.

Teores de nutrientes no solo

Os resultados para os nutrientes no solo ao final do experimento encontram-se na Tabela 6. Para potássio e cálcio, não se detectou diferença significativa entre os tratamentos.

Nitrogênio e magnésio no solo

Tanto para o nitrogênio quanto para o magnésio, os resultados mostraram uma grande semelhança entre as médias de todos os

Tabela 5 - Resultados dos nutrientes na planta ao final do experimento.

Conteúdo de nutrientes na planta											
Nitrogênio (g N.planta ⁻¹)				Fósforo (g P.planta ⁻¹)				Potássio (g K.planta ⁻¹)			
Folhas		Caule		Folhas		Caule		Folhas		Caule	
T*	Média**	T	Média	T	Média	T	Média	T	Média	T	Média
T2	0,66a	T2	0,14a	T2	0,08a	T5	0,10a	T1	2,28a	T5	1,31a
T3	0,51b	T3	0,13ab	T1	0,07ab	T2	0,06ab	T2	2,15a	T1	0,53b
T4	0,48b	T1	0,09bc	T3	0,07ab	T3	0,05ab	T5	1,97ab	T3	0,52b
T1	0,46b	T4	0,08c	T4	0,05ab	T1	0,04b	T4	1,75ab	T2	0,49b
T5	0,23c	T5	0,06c	T5	0,04ab	T4	0,03b	T3	1,70ab	T6	0,46b
T6	0,17c	T6	0,04c	T6	0,02b	T6	0,03b	T6	1,07b	T4	0,41b

*Tratamentos – T1: efluente a 100% de capacidade de pote (CP); T2: efluente a 80% de CP; T3: efluente a 60% de CP; T4: efluente a 40% de CP; T5: água a 80% do Índice CP + NPK; T6: água a 80% de CP; **pelo teste de Tukey (p>0,05), médias com mesma letra não diferem significativamente.

Tabela 6 - Resultados dos nutrientes no solo ao final do experimento.

Teores de nutrientes no solo									
Nitrogênio (dag N.kg ⁻¹)		Fósforo (mg P.dm ⁻³)		Potássio (cmol _c K.dm ⁻³)		Cálcio (cmol _c Ca.dm ⁻³)		Magnésio (cmol _c Mg.dm ⁻³)	
T*	Média**	T	Média	T	Média	T	Média	T	Média
T3	0,07a	T5	3,48a	T1	0,13NS	T2	3,56NS	T3	0,83a
T2	0,06ab	T4	0,98b	T5	0,13NS	T4	3,46NS	T2	0,80ab
T5	0,06ab	T2	0,68b	T2	0,12NS	T1	3,42NS	T5	0,78ab
T4	0,06ab	T3	0,63b	T3	0,12NS	T3	3,29NS	T4	0,74ab
T1	0,05ab	T1	0,45b	T4	0,10NS	T5	3,00NS	T1	0,70ab
T6	0,03b	T6	0,28b	T6	0,09NS	T6	2,50NS	T6	0,66b

*Tratamentos – T1: efluente a 100% de capacidade de pote (CP); T2: efluente a 80% de CP; T3: efluente a 60% de CP; T4: efluente a 40% de CP; T5: água a 80% do Índice CP + NPK; T6: água a 80% de CP; **pelo teste de Tukey (p>0,05), médias com mesma letra não diferem significativamente. NS: diferença não significativa.

tratamentos, de forma que não se pode apontar um tratamento de melhor desempenho.

Fósforo no solo

Não houve nenhum tratamento que apresentou teor médio semelhante ao tratamento T5, com elevado valor de $3,48 \text{ mg.dm}^{-3}$; justifica-se esse fato por causa da adição de NPK.

De uma forma geral, os resultados para os parâmetros de crescimento e teores de nutrientes na planta revelaram melhor desempenho do tratamento T2 (irrigação com efluente a 80% de CP) em relação aos demais tratamentos com efluente, T1 (100% de CP), T3 (60% de CP) e T4 (40% de CP), mostrando a importância da lâmina de irrigação para o cultivo das mudas de eucalipto. Em relação aos tratamentos T5 (irrigação com água a 80% de CP + NPK) e T6 (irrigação com água a 80% de CP), o melhor desempenho de T2 também demonstra que o reúso representa uma alternativa viável para irrigação da espécie. Isso significa redução de custos com água e fertilização, através da substituição total ou parcial por esgoto tratado e fertilizantes minerais contidos no efluente. Trigueiro e Guerrini (2003) concluíram que o uso de efluente ou de biossólido como substrato na produção de mudas de eucalipto é uma prática viável e promissora.

CONCLUSÃO

No contexto de reúso de água de esgotos domésticos tratados, o efluente produzido por reator anaeróbico seguido de lagoa de polimento foi adequado, uma vez que foram observados 90, 87 e 100% na remoção de DBO, DQO e helmintos, respectivamente. Isso representa um fator positivo, pois as características do efluente atendem aos requisitos necessários e compatíveis com as exigências da cultura utilizada (*Eucalyptus urograndis*). Para irrigação das mudas, que, nas condições de reúso, fazem parte do grupo de cultura arbórea, o efluente esteve dentro dos requisitos estabelecidos pela OMS, apresentando uma DBO total de 55 mg.L^{-1} ($<60 \text{ mg.L}^{-1}$) e nenhum ovo. L^{-1} de nematoides intestinais ($<1 \text{ ovo.L}^{-1}$).

Em relação aos parâmetros de crescimento da planta (altura, diâmetro do caule, diâmetro da copa, número de folhas e MS), os melhores desempenhos foram obtidos com os tratamentos T2 e T3, com irrigação de efluente com lâmina a 80 e 60% de CP, respectivamente, quando

comparados aos demais. A planta reagiu bem a essa faixa de irrigação e aproveitando os nutrientes do efluente. Os piores resultados foram obtidos com os tratamentos T1 e T4, uma vez que os percentuais de irrigação de 100 e 40% de CP representam, respectivamente, excesso e escassez de água, promovendo, dessa forma, desequilíbrio para a planta.

A fertirrigação com efluente a 80% de CP (T2) foi capaz de proporcionar acúmulo de nutrientes, como nitrogênio nas folhas ($0,66 \text{ g.planta}^{-1}$) e caule ($0,14 \text{ g.planta}^{-1}$) das mudas, apresentando o melhor desempenho nesse aspecto em relação aos demais tratamentos. Isso representa uma grande vantagem, tendo em vista que as plantas em fase de crescimento necessitam de nitrogênio em maior quantidade para estimular a produção de clorofila e na formação da defesa vegetal contra pragas.

Portanto, em função dos nutrientes disponíveis e uso de lâminas adequadas, entre 80 e 60% de CP, o reúso de efluente de esgoto doméstico tratado na irrigação da cultura das mudas de eucalipto em viveiro mostrou-se viável agronomicamente. Por conseguinte, essa prática deve ser considerada como uma possibilidade de atendimento a essa cultura. Entretanto, a viabilidade econômica em escala real ainda necessita ser demonstrada.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE) e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelos recursos financeiros (Programa PRONEX) e bolsa de mestrado; à Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA), pelo apoio na ETE Mangueira; aos técnicos e bolsistas de iniciação científica e de pós-graduação em Tecnologia Ambiental no Laboratório de Saneamento Ambiental da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), pelo auxílio nas coletas e análises de efluente; à Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), pelo uso do Laboratório de Fertilidade do Solo (Recife) e Laboratório de Solos da Estação Experimental de Cana-de-Açúcar (Carpina), para as análises químicas de solo e plantas; ao Centro de Tecnologias Estratégicas do Nordeste (CETENE/MCT Recife), pelo apoio e cessão de mudas de eucalipto; à Secretaria de Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente (SEDEMA) do município de Moreno (PE), pelo apoio nos trabalhos de campo.

REFERÊNCIAS

American Public Health Association - APHA; American Water Works Association - AWWA; Water Environmental Federation - WEF (2012) *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 22nd ed. Washington: APHA; AWWA; WEF.

BARROS, K.K.; NASCIMENTO, C.W.A.; FLORENCIO, L. (2012) Nematode suppression and growth stimulation in corn plants (*Zea mays* L.) irrigated with domestic effluent. *Water Science and Technology*, v. 66, n. 3, p. 681-688.

- BASTOS, R.K.X. & BEVILACQUA, P.D. (2006) Normas e critérios de qualidade para reúso da água. In: FLORENCIO, L.; BASTOS, R.K.X.; AISSE, M.M. (Orgs.) *Tratamento e utilização de esgotos sanitários*. Projeto PROSAB. Rio de Janeiro: ABES. p. 17-62.
- CORSI, M. (1986) Adubação nitrogenada das pastagens. In: PEIXOTO, A.M.; MOURA, J.C.; FARIA, V.P. (Eds.) *Pastagens: fundamentos da exploração racional*. Piracicaba: FALQ. p. 109-132.
- CORAUCCI FILHO, B.; STEFANUTTI, R.; VERONEZ, A.H. (2010) Irrigação de eucalipto com efluente sanitário de lagoa facultativa: eficiência do sistema solo-planta no pós-tratamento. *Revista DAE*, v. 58, n. 184, p. 59-64.
- DIAS, O.A. & SIMONELLI, G. (2013) Qualidade da madeira para a produção de celulose e papel. *Enciclopédia Biosfera*, v. 9, n. 17, p. 3632-3646.
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (1999) *Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes*. Brasília: EMBRAPA Solos; EMBRAPA Informática Agropecuária; EMBRAPA Comunicação para Transferência de Tecnologia. 370 p.
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (2006) *Viveiro de mudas: construção, custos e legalização*. 2. ed. Macapá: EMBRAPA Amapá; A.C.P. Góes. Documentos 64. 32 p.
- FLORENCIO, L.; KATO, M.T.; MORAIS, J.C. (2001) Domestic sewage treatment in Mangueira full-scale UASB plant at Recife, Pernambuco. *Water Science and Technology*, v. 44, n. 4, p. 71-78.
- FLORES, R.A.; URQUIAGA, S.S.; ALVES, B.J.R.; COLLIER, L.S.; MORAIS, R.F.; PRADO, R.M. (2012) Adubação nitrogenada e idade de corte na produção de matéria seca do capim-elefante no Cerrado. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 16, n. 12, p. 1282-1288.
- GRANT, C.A.; FLATEN, D.N.; TOMASIEWICZ, D.J.; SHEPPARD, S.C. (2001) A importância do fósforo no desenvolvimento inicial da planta. Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato - POTAFOS. *Informações Agronômicas*, n. 95, p. 1-5.
- GUAZELLI, M.J. & SCHIMITZ, R. (1996) *Teoria da trofobiose*. Agricultura Ecológica. Ipê: Centro de Agricultura Ecológica; Pântano Grande: Fundação Gaia. 77 p.
- GUIDI, L.; PALLINI, M.; SOLDATINI, G.F. (1994) Influence of phosphorus deficiency on photosynthesis in sunflower and soybean plants. *Agrochimica*, n. 38, p. 211-223.
- IPA - INSTITUTO AGRONÔMICO DE PERNAMBUCO (2008) *Recomendações de adubação para o Estado de Pernambuco: 2ª aproximação*. Recife: IPA. 212 p.
- JACOBY, B. (1994) Nutrient uptake by plants. In: PESSARAKLI, M. (Ed.) *Handbook of plant and crop physiology*. New York: Marcel Dekker. p. 1-22.
- KATO, M.T.; FLORENCIO, L.; D'CASTRO FILHO, F.J.; GAVAZZA, S. (2005) Post-treatment of UASB effluent in polishing pond. In: *The Latin American Workshop and Symposium on Anaerobic Digestion, 8 Proceedings*...Punta del Este, Uruguay: IWA. p. 359-364.
- KELLNER, E. & PIRES, E.C. (1998) *Lagoa de estabilização: projeto e operação*. Rio de Janeiro: ABES. 242 p.
- LIMA, J.G.; SCHULZE, S.M.; RIBEIRO, M.R.; BARRETO, S.B. (2008) Mineralogia de um argissolo vermelho-amarelo da zona úmida costeira do Estado de Pernambuco. *Revista Brasileira Ciência do Solo*, n. 32, p. 881-892.
- LIMA, W.P. (1996) *Impacto ambiental do eucalipto*. São Paulo: Ed. Universidade de São Paulo. 301 p.
- LOPES, R.; GASPAROTTO, L.; GARCIA, L.C.; GARCIA, M.V.B.; CARDOSO, M.O.; SOUSA, N.R. (2008) Crescimento, produção de matéria seca e relação folha/caule de plantas de Caapeba em função da aplicação adubo orgânico nas condições de Manaus - AM. In: *IV Jornada de Iniciação Científica da Embrapa Amazônia Ocidental, 58 Documentos*... Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental. 154 p.
- MARTINS, L.R. (2012) *Remoção de fitoplâncton de lagoas de estabilização em filtros de pedra de fluxo horizontal*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife.
- MORAIS, J.; GAVAZZA, S.; FLORENCIO, L.; KATO, M.T. (2011) Assessing the efficiency and operational problems of an anaerobic wastewater treatment plant over 13 years of monitoring. In: *The Latin American Workshop and Symposium on Anaerobic Digestion, 10 Proceedings*... Ouro Preto: IWA; UFMG; UFOP; UFPE; USP. 8 p.
- SEDEMA - SECRETARIA DE DESENVOLVIMENTO URBANO E MEIO AMBIENTE (2010). Informação pessoal. Prefeitura Municipal de Moreno, Pernambuco.
- SILVA, R.J. (2011) *Caracterização do esgoto tratado na ETE Mangueira e a viabilidade de seu uso em mudas de eucalipto*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife.
- SOUZA, C.C.; OLIVEIRA, F.A.; SILVA, I.F.; AMORIM NETO, M.S. (2000) Avaliação de métodos de determinação de água disponível e manejo da irrigação em terra roxa sob cultivo de algodoeiro herbáceo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 4, n. 3, p. 338-342.
- TRIGUEIRO, R.M. & GUERRINI, I.A. (2003) Uso de biossólido como substrato para produção de mudas de eucalipto. *Scientia Forestalis*, n. 64, p. 150-162.
- VERONEZ, A.H. (2009) *Irrigação de eucalipto com efluente sanitário de lagoa facultativa: eficiência do sistema solo-planta no pós-tratamento*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- VIEIRA, N.M.B.; ANDRADE, M.J.B.; CARVALHO, J.G.; ALVES JUNIOR, J.; MORAIS, A.R. (2008) Altura de planta e acúmulo de matéria seca do feijoeiro CVS. BRS MG Talismã e Ouro Negro em plantio direto e convencional. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 32, n. 6, p. 1687-1693.
- VON SPERLING, M.; BASTOS, R.K.X.; KATO, M.T. (2005) Removal of *E. coli* and helminth eggs in UASB - polishing pond systems in Brazil. *Water Science and Technology*, v. 51, n. 12, p. 91-97.
- WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION (1998) *Health guidelines for the use of wastewater in agriculture and aquaculture*. Technical Report Series 778. Geneva: WHO. 74 p.