

Avaliação dos teores de fósforo e nitrogênio de efluente líquido doméstico pré-tratado na irrigação de *Axonopus compressus*

T. Costa¹; O. Konrad¹; D.M. Jachetti¹; M. Lumi¹

¹Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas (CETEC), UNIVATES, 95900-000, Lajeado-Rio Grande do Sul, Brasil

tatynha@universo.univates.br

(Recebido em 24 de março de 2014; aceito em 13 de abril de 2015)

O efluente de esgoto tratado, quando reaproveitado para irrigação, possibilita que o solo e as plantas absorvam os nutrientes e a matéria orgânica presentes neste efluente. Pode-se afirmar que, absorvendo teores de N e P presentes no efluente, o sistema solo-planta servirá como um sistema de “polimento” da água residuária, podendo melhorar sua qualidade. Este trabalho objetiva avaliar os teores de fósforo total (P) e nitrogênio total (N) presentes no efluente final, lixiviado pelo sistema solo-planta, sendo a gramínea da espécie *Axonopus compressus* a escolhida para a realização do estudo. Os experimentos foram realizados entre os meses de junho e outubro de 2013, na Cooperativa de Distribuição de Energia Teutônia (CERTEL ENERGIA) e na Cooperativa Regional de Desenvolvimento Teutônia (CERTEL). Foram desenvolvidos nove protótipos de bancada (PBs) em escala laboratorial, divididos em triplicatas. As amostras testemunhas (T) foram irrigadas integralmente com água da chuva; as amostras T1, com 100 % de efluente líquido doméstico pré-tratado, e no tratamento T2 foi utilizada 50% de água da chuva mais 50% de efluente líquido doméstico pré-tratado, durante 31 dias. A gramínea da espécie *Axonopus compressus* contribuiu para o “polimento” do efluente de maneira que os teores de N e P fossem encontrados em menores concentrações no efluente final de todos os tratamentos. As amostras correspondentes ao tratamento T1 apresentaram a maior eficiência de remoção, sendo 59,73% para o P e 75,06 % para o N, enquanto que as amostras T2 apenas atenderam os limites de emissão para P e N estabelecidos pela Resolução N° 128/2006, do Conselho Estadual de Meio Ambiente (CONSEMA).

Palavras-chave: efluente líquido doméstico, fósforo, nitrogênio, tratamento de esgoto.

Evaluation of Phosphorus and Nitrogen levels in pretreated household effluents to irrigate *Axonopus compressus*

The treated sewage effluent, when used for irrigation, can allow that the soil and plants absorb the nutrients and organic material in that effluent. It can be said that, by absorbing N and P contents present in the effluent, the soil-plant system will serve as a "polishing" system of the wastewater and may improve its quality. This study aims at evaluating total Phosphorus (P) and total Nitrogen (N) levels in the final effluent, leached through the soil-plant system in which the grass *Axonopus compressus* was the species chosen for the study. The experiments were conducted between June and October 2013, at Cooperative of Energy Distribution Teutônia (CERTEL ENERGIA) and at Regional Cooperative of Development Teutônia (CERTEL). Nine bench tests prototypes (BPs) were carried out in laboratory scale, divided in triplicates. The control samples (T) were irrigated solely with rainwater, the T1 samples were irrigated with 100% of pretreated household effluent, and the treatments T2 with 50% rainwater over 50% household pretreated effluent during 31 days. The grass of *Axonopus compressus* species contributed to the polishing of the effluent so that the levels of N and P were found in lower concentrations in the final effluent of all treatments. The samples corresponding to the T1 showed higher removal efficiency, being 59.73% for P and 75.06% for N, while the T2 samples only met the emission limits for P and N established by Resolution Number 128/2006, of the State Council for the Environment (CONSEMA).

Keywords: household effluent, Phosphorus, Nitrogen, sewage treatment.

1. INTRODUÇÃO

A inexistência de serviços de esgotamento sanitário ainda é um problema bastante presente na realidade de muitos municípios brasileiros. De acordo com a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB) de 2008, pouco mais de 55% dos municípios brasileiros possuem acesso ao serviço por sistema apropriado, ou seja, através de rede coletora. Se este percentual for comparado com a pesquisa desenvolvida pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) no ano de 2000, perceber-se-á que a marca atual é pouco superior à observada em 2000, que era de aproximadamente 52% (IBGE, 2010)¹.

Percebe-se que os avanços no âmbito do tratamento de esgotos são bastante lentos e que inúmeras residências brasileiras ainda carecem deste serviço, o qual está diretamente associado à saúde pública. Os problemas relacionados à falta de saneamento básico são os mais abrangentes possíveis, sabe-se que são inúmeras as doenças veiculadas à sua ausência, e locais desprovidos de tratamento de esgoto e defasagem no abastecimento de água tratada podem formar ambientes propícios e capazes de disseminar novamente doenças já erradicadas. Desde que as cidades começaram a sofrer intervenções na área de saneamento, houve redução expressiva em indicadores como a mortalidade infantil e a ocorrência de epidemias (Andreazzi; Barcellos; Hacon, 2007)².

Ainda que muitas cidades não usufruam de sistemas ou estações para tratamento de esgotos domésticos (ETE), a inclusão gradativa destes serviços está fazendo com que eles se tornem parte da realidade das comunidades brasileiras, principalmente em função da necessidade de adequação legal. A tendência é de que aos poucos os municípios implantem estações para o tratamento de esgotos sanitários que atendam integralmente as áreas urbanas (Santos; Bastos; Aisse, 2006)³.

Para tratar os efluentes líquidos domésticos, existem atualmente inúmeras tecnologias, sendo que a irrigação ou a disposição no solo são duas alternativas bastante difundidas e de sucesso em países como os Estados Unidos, Israel e Austrália (Fonseca, 2001)⁴.

Disponibilizar ou irrigar solos com esgoto pré-tratado são técnicas bastante utilizadas para se obter solos mais férteis e aumentar a produção agrícola, porém, se não forem controladas as taxas e vazões de irrigação juntamente com a eficiência do sistema, esses métodos podem ocasionar acúmulo de matéria orgânica no solo, geração de odores, entre outros problemas (Santos; Bastos; Aisse, 2006)³.

Considerando o atual cenário de poluição dos recursos hídricos, bem como a escassez e o desperdício de água potável em diversas partes do mundo, se tornam relevantes estudos que contemplem a reutilização de águas residuárias e efluentes tratados em sistemas que não exijam alto padrão de potabilidade da água. O efluente de esgoto tratado também pode ser submetido ao reuso e, se corretamente feito, pode gerar até mesmo benefícios para a agricultura através do aporte de nutrientes ao solo e plantas, mediante fertirrigação. Esta técnica é uma espécie de “reciclagem agrícola” que além de ser uma tecnologia simples, de baixo custo e um meio de tratamento terciário, fornece às plantas água e nutrientes necessários ao seu desenvolvimento, portanto, é uma tendência promissora em função do viés econômico e ambiental (Fonseca, 2001)⁴.

Mediante reaproveitamento do efluente de esgoto tratado para irrigação, o solo e as plantas, além de absorverem os nutrientes e a matéria orgânica presentes no efluente, podem servir como um sistema de “polimento” da água residuária, podendo melhorar sua qualidade (Fonseca, 2001)⁴.

Mesmo que o efluente de esgoto tratado possa propiciar ao solo melhoramento de características essenciais como permeabilidade, aeração e umidade, o seu reaproveitamento deve respeitar certas condicionantes que explicitem critérios agrônômicos, sanitários e ambientais seguros, bem como, aspectos e definições legais, caso contrário a saúde pública poderá ser afetada, assim como o habitat envolvido (Santos; Bastos; Aisse, 2006)³.

Visando reduzir ao máximo a geração de novos passivos ambientais e proporcionar a racionalização de recursos naturais a cooperativa, empresa objeto deste estudo, optou pela instalação de um sistema de tratamento de esgoto doméstico por UASB seguido de filtro anaeróbio, nos quais os parâmetros fósforo e nitrogênio devem ser constantemente monitorados.

Este estudo trata da avaliação dos teores de fósforo total e nitrogênio total no efluente líquido doméstico final, após ter sido utilizado para irrigação de gramíneas e ser lixiviado através do sistema solo-planta.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados entre os meses de junho a outubro de 2013 na Cooperativa de Distribuição de Energia Teutônia (CERTEL ENERGIA) e na Cooperativa Regional de

Desenvolvimento Teutônia (CERTEL), ambas localizadas em Teutônia, no Estado do Rio Grande do Sul.

2.1. Elaboração e montagem dos protótipos de bancada

Para a elaboração e desenvolvimento dos protótipos de bancada (PBs) buscou-se reproduzir ao máximo as características naturais do meio em questão por meio de uma estufa agrícola.

Ressalta-se que a fase de irrigação foi realizada em condições controladas, ou seja, um termohigrômetro portátil foi instalado no interior da estufa, próximo aos PBs, para medir diariamente a temperatura e a umidade no interior da estufa. A temperatura média no interior da estufa permaneceu, na maioria dos dias, entre 18 a 24°C enquanto que a umidade do ar manteve-se, por quase todos os dias entre 50 e 75%.

Montou-se uma estrutura em arco com lona plástica transparente para impedir que os aerossóis oriundos de microaspersores instalados na estufa atingissem os PBs (Figura 1).



Figura 1. Estrutura de arco para evitar o contato dos aerossóis com os protótipos de bancada (PBs) – antes do início dos experimentos.

Foram desenvolvidos nove PBs divididos em três repetições por tratamento, caracterizados como: T (amostras testemunhas irrigadas com 100% de água da chuva) e nomeadas Testemunha 1, Testemunha 2 e Testemunha 3; A amostra T1 foi subdividida em T1A, T1B e T1C, e foram irrigadas com 100% de efluente líquido doméstico pré-tratado, enquanto que os PBs referentes ao tratamento T2 denominaram-se T2A, T2B e T2C e foram irrigados com 50% de água da chuva mais 50% de efluente líquido doméstico pré-tratado. Neste último tratamento fez-se diluição do efluente em água da chuva, conforme será exposto posteriormente. Salienta-se que no tratamento Testemunha foi utilizada somente água da chuva.

Cada PB foi montado em um recipiente de polietileno com formato trapezoidal, sendo que no interior de cada PB, foi colocado um escorredor de louças de polietileno, vazado, com formato similar a um trapézio e retirou-se as estruturas internas (dentes), pois poderiam dificultar o acondicionamento da leiva no interior do objeto. Colocou-se o escorredor na extremidade esquerda da estrutura base (extremidade oposta à torneira) de maneira a proporcionar um maior espaçamento na lateral direita, e com isso, possibilitou a instalação de torneiras nos PBs, pelas quais o efluente final, após passagem pelo sistema solo-planta, pôde ser extraído. Foram colocados quatro calços retangulares de granito no fundo das bandejas, permitindo assim que os escorredores pudessem ser acomodados sobre estes, proporcionando maior distância entre os objetos.

O interior de cada escorredor de louça foi revestido com tela sombrite, sobre a qual foi disposta a leiva em grama coletada na área de estudo. A leiva foi revestida, ao entorno, com saco

de polietileno preto maleável com vistas a restringir a entrada de luz solar e qualquer outro fator interferente nas extremidades laterais da leiva.

Inicialmente utilizou-se de fitas para separar a leiva em quatro quadrantes iguais visando uma irrigação uniforme em cada área de leiva (Figura 2). Durante a experimentação, as fitas foram removidas e prosseguiu-se com a irrigação da quantidade total de líquido em toda a área de leiva de uma única vez.



Figura 2. Protótipo de bancada teste, confeccionado para avaliação da funcionalidade operacional.

2.2. Coleta das leivas para montagem dos protótipos de bancada

As leivas utilizadas para elaboração dos PBs foram coletadas no pátio da empresa com dimensões de 25 cm de largura por 36 cm de comprimento, sendo que a profundidade de grama e de solo coletados para relocação no protótipo constituíram um perfil com cerca de 10 cm de altura.

Tendo em vista que a área de pátio da empresa em estudo apresenta glebas uniformes da espécie *Axonopus compressus*, o critério utilizado para a escolha das glebas foi através de uma análise visual de cada parcela a ser coletada, buscando-se coletar porções de leiva com aspecto saudável, ausentes de qualquer associação de vegetação que não fosse a espécie em questão, que estivessem livres de pragas ou doenças e qualquer danificação nos tecidos vegetais.

Após a escolha da parcela desejada, a área a ser coletada foi medida com o auxílio de uma fita métrica, e fixaram-se palitos verticalmente no solo para servirem de demarcação dos vértices do retângulo. O solo foi cortado verticalmente nas laterais com auxílio de uma enxada e cada leiva foi retirada do solo e acondicionada sobre a tela sombrite do recipiente colocado no interior da estrutura da base de cada um dos PBs.

2.3. Fase de adaptação das leivas para recebimento do efluente pré tratado

Os PBs receberam percentuais de efluente líquido doméstico de maneira que as leivas pudessem aos poucos se adaptar ao novo ambiente imposto à elas. Os PBs correspondentes ao tratamento T1 receberam irrigações a cada semana durante um mês, enquanto que o tratamento T2, durante duas semanas. Ambos tratamentos foram adaptados e aptos para irrigação a partir da quinta semana. Na Tabela 1 visualiza-se a fase de adaptação pelos quais foram submetidos os tratamentos, bem como o percentual de efluente líquido adicionado ao sistema.

Tabela 1. Diluições para irrigação nas fases de adaptação dos PBs dos tratamentos T1 e T2, bem como o período de adaptação dos mesmos.

Período de adaptação	Tratamento	
	T1	T2
1ª semana de Julho	25 % efluente + 75 % água pluvial	100 % água pluvial
2ª semana de Julho	50 % efluente + 50 % água pluvial	100 % água pluvial
3ª semana de Julho	75 % efluente + 25 % água pluvial	25 % efluente + 75 % água pluvial
4ª semana de Julho	100 % efluente	50 % efluente + 50 % água pluvial
1º dia de agosto	Início da contagem para irrigação	Início da contagem para irrigação

2.4. Manejo e sistema de irrigação

Tanto para a fase adaptativa quanto para a fase de delineamento experimental, a leiva foi irrigada conforme a capacidade de armazenamento do PB e a necessidade hídrica calculada para a cultura.

Para estipular a necessidade hídrica da espécie *Axonopus compressus*, determinou-se a evapotranspiração real (Etm) através da equação no documento denominado *FAO Irrigation and Drainage Paper N° 56 – Crop Irrigation* (Allen; Pereira; Raes; Smith, 2000)⁵.

$$Etm = Et0 \times Kc \quad (1)$$

Onde:

Et0 é a evapotranspiração de referência;

Kc é o coeficiente da cultura.

Para o cálculo da evapotranspiração de referência, foram utilizados os dados de evapotranspiração média dos meses de inverno e primavera, a qual foi de 0,04 mm/dia.

Para o coeficiente da cultura, adotou-se o valor de Kc de 0,95 conforme recomendado pelo *FAO Irrigation and Drainage Paper N° 56 – Crop Irrigation* (Allen; Pereira; Raes; Smith, 2000)⁵. Para estimativa da necessidade hídrica mínima da cultura em questão, calculou-se posteriormente a evapotranspiração real:

$$Etm = Et0 \times Kc \quad (1)$$

$$Etm = 0,04 \text{ mm/dia} \times 0,95 \quad (2)$$

$$Etm = 0,038 \text{ mm/dia} \quad (3)$$

Sendo que 0,038 mm equivalem a 0,038 L/m² e que as leivas possuíam área de 900 cm², tem-se 0,09 m². Considerando essa última área, cada leiva deveria ser irrigada, com no mínimo 3,4 mL de efluente.

A fim de evitar perdas por evapotranspiração, os PBs foram irrigados diariamente com 500 mL de efluente líquido doméstico pré-tratado, o qual foi coletado ao final do sistema de tratamento de esgoto da empresa, mais precisamente na saída para o pluvial. A água da chuva foi captada a partir de calhas coletoras instaladas nos telhados da estufa agrícola.

A rega da leiva foi realizada manualmente, e como método de irrigação para os PBs, utilizou-se a aspersão através de um recipiente de transbordo com capacidade para 2 L.

O efluente utilizado para irrigar as amostras correspondentes aos tratamentos T1 e T2 foi armazenado em duas bombonas com tampa de 25 L cada e após coletado, o efluente foi distribuído em parcelas similares, em outros dois recipientes de polietileno de alta densidade com capacidade máxima para 25 L e expostos durante um dia sob o sol para que evaporasse o cloro residual presente no efluente pré-tratado. Após transferiu-se o efluente antes exposto ao sol novamente para as bombonas, e permaneceu reservado por um dia, para que os sólidos suspensos pudessem decantar.

Com o uso de provetas graduadas, coletou-se os volumes suficientes para irrigar os PBs, sendo que cada PB foi irrigado inicialmente com 500 mL de efluente líquido por dia, durante 31

dias consecutivos. Após coletado com proveta graduada, transferiu-se a quantidade de líquido para o recipiente de transbordo utilizado para irrigar as leivas. Do 32º ao 36º dia procedeu-se com a irrigação dos PBs com 1000 mL de líquido para que houvesse quantidade de líquido suficiente no fundo do recipiente para encaminhamento das amostras às análises. Após lixiviação do líquido pela leiva e perfil do solo, realizou-se a coleta da amostra composta referente aos tratamentos T1. Para os tratamentos T2, os procedimentos foram similares, no entanto, utilizou-se 500 mL de água da chuva mais 500 mL de efluente líquido doméstico pré-tratado na irrigação, totalizando 1000 mL de líquido para cada protótipo de bancada (PB). Os testemunhos seguiram a mesma metodologia, porém, utilizou-se 1000 mL de água da chuva para cada PB testemunho.

É interessante mencionar que na lateral direita, entre a parede da bandeja e a torneira de cada PB, foi fixada tela sombrite de aproximadamente 4 cm de diâmetro, que serviu de filtro para retenção de partículas sólidas em suspensão ainda presentes no efluente final.

À medida que foi realizada a irrigação, o líquido escoava pelo tecido vegetal da gramínea e infiltrava pelo solo, ficando retido no fundo do recipiente (PB). Após o período de irrigação, fez-se a caracterização do efluente (fósforo e nitrogênio total) através da interpretação do resultados das análises físico-químicas realizadas por laboratório terceirizado.

2.5. Análise e caracterização do efluente final

As amostras de efluente coletadas foram vertidas para frascos contendo o preservante ácido sulfúrico (H₂SO₄), fornecidos pelo laboratório responsável pelos ensaios físico-químicos, sendo então, encaminhados para análise de fósforo total e nitrogênio total, conforme estabelecido em *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater - 22st Edition*. A coleta do lixiviado foi feita do dia 2 ao dia 6 de setembro, sendo que, em tempo hábil as amostras de efluente eram entregues ao laboratório terceirizado responsável pelas análises físico-químicas. Os resultados dos ensaios físico-químicos realizados nas amostras foram comparados entre si e com as legislações vigentes. Foi realizado também o tratamento estatístico dos resultados de eficiência de remoção obtidos através do Teste de Scott Knott a 5% de probabilidade.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir podem ser visualizadas as concentrações de fósforo total (Tabela 2) antes da rega e após a lixiviação do efluente líquido pelo sistema solo-planta, durante os cinco dias de amostragem, assim como, a sua eficiência de redução/acúmulo.

Observa-se, que os maiores percentuais de remoção referem-se aos PBs dos tratamentos T1, os quais possuíam elevadas concentrações do macronutriente fósforo em comparação com os tratamentos T2. O valor máximo encontrado para a eficiência na redução de fósforo nesse experimento foi de 59,73%.

Nos experimentos conduzidos por (Ormonde, 2012)⁷, nos quais foram projetados três tipos de *wetlands* construídos, cada qual com uma espécie vegetativa visando o polimento de um efluente, os percentuais de redução foram da ordem de 52,74% à 59,79%, o que indica que a gramínea da espécie *Axonopus compressus* obteve redução satisfatória e similar à um sistema de *wetland* construído.

Tabela 2. Teores de P dos tratamentos T, T1 e T2 antes da rega e após a lixiviação do efluente pelo sistema solo-planta, bem como valores da eficiência de redução/acúmulo (R/A) e o tratamento estatístico da eficiência de redução.

Teores de P no efluente									
Dia	Entrada T (mg/L)	Saída T (mg/L)	Eficiência T R(%) - A(%)	Entrada T1 (mg/L)	Saída T1 (mg/L)	Eficiência T1 R(%) -A(%)	Entrada T2 (mg/L)	Saída T2 (mg/L)	Eficiência T2 R(%) -A(%)
32°	0,72	0,58	- 19,44	8,22	3,31	- 59,73	4,47	2,76	- 38,26
33°	0,15	0,45	+ 200,00	8,12	4,98	- 38,67	4,01	3,27	- 18,45
34°	0,18	0,56	+ 211,11	8,18	5,02	- 38,63	3,88	3,23	- 16,75
35°	0,16	0,49	+ 206,25	11,64	7,52	- 35,40	4,41	3,28	- 25,62
36°	0,20	0,50	+ 150,00	10,76	7,40	- 31,23	4,86	4,28	- 11,93
Scott-Knott a 5 % de probabilidade			a1	a3					

R/A: redução (-) / acúmulo (+)

As amostras T obtiveram concentrações de saída maiores que as de entrada, e isso provavelmente ocorreu em função de que durante a rega, os nutrientes presentes na água da chuva ou no próprio sistema-solo planta foram carregados através do perfil do solo, resultando no acúmulo destes no efluente de saída. Conforme Van de Moortel, Rousseal, Tack & Pauw (2009)⁸, o oxigênio liberado pelas raízes das plantas pode aumentar a capacidade de adsorção do fósforo por meio dos substratos, o que pode ocasionar em maior eficiência de redução se comparado a um sistema sem presença de plantas.

Em estudo realizado por Ormonde (2012)⁷, uma queda gradual na eficiência de remoção de fósforo do primeiro para o terceiro mês de amostragem foi percebida, sendo que, explicou tal ocorrência devido à saturação da capacidade do material filtrante em adsorver o fósforo, bem como, ao estágio avançado de evolução das macrófitas de seu experimento. Mesmo que no presente trabalho, a queda foi registrada em um curto período de tempo, acredita-se que, o mesmo motivo (saturação da capacidade de filtração) também possa ter influenciado na redução da eficiência de remoção de P com o passar dos dias, ou até mesmo, em função da espécie utilizada neste experimento, possuir características distintas às macrófitas utilizadas por (Ormonde, 2012)⁷.

No que diz respeito à eficiência de redução de fósforo, o sistema testado por Sousa, Van Haandel, Consetino & Guimarães (2000)⁹, obteve faixa de 78 a 100% de remoção, enquanto que o presente estudo alcançou o máximo de 59,73% de eficiência de remoção nos tratamentos T1, os quais foram irrigados com 100% de esgoto pré-tratado. O presente estudo não corrobora com o estudo realizado por este autor, pois se obteve níveis de remoção muito baixos com o sistema proposto, talvez em função da espécie vegetativa utilizada ou pelas características do ambiente experimental.

O capim Vetiver foi utilizado por Ash & Truong (2004)¹⁰ no tratamento de esgoto e obtiveram redução de 85% do fósforo total, sendo que no presente estudo a redução máxima deste parâmetro se deu no tratamento T1, em cerca de 59,73 %.

Na Tabela 3 podem ser verificados os dados das análises de nitrogênio (N), realizadas antes da rega (entrada) e após a lixiviação do efluente pelo sistema solo-planta (saída). Visualiza-se também a eficiência de redução/acúmulo para o N.

Tabela 3. Teores de nitrogênio dos tratamentos T1 e T2 e no testemunho antes da rega e após a lixiviação do efluente pelo sistema solo-planta, bem como valores da eficiência de redução/acúmulo (R/A) e o tratamento estatístico da eficiência de redução.

Teores de N no efluente									
Dia	Entrada	Saída	Eficiência	Entrada	Saída	Eficiência	Entrada	Saída	Eficiência
	T	T	T	T1	T1	T1	T2	T2	T2
	(mg/L)	(mg/L)	R(%) -A(%)	(mg/L)	(mg/L)	R(%) - A(%)	(mg/L)	(mg/L)	R(%) -A(%)
32°	5,7	5,0	- 12,28	87,4	21,8	- 75,06	45,3	16,7	- 63,13
33°	5,0	5,0	0,00	85,9	38,4	- 55,30	42,8	20,3	- 52,57
34°	5,0	5,0	0,00	86,7	36,3	- 58,13	39	21,5	- 44,87
35°	5,0	5,0	0,00	124,5	60,4	- 51,49	43,4	19,8	- 54,38
36°	5,0	5,0	0,00	114,3	53,6	- 53,11	51,8	32,7	- 36,87
Scott-Knott a 5 % de probabilidade			a1	a3					

R/A: redução (-) / acúmulo (+)

Observa-se que assim como ocorrido com o fósforo, o nitrogênio também obteve redução nas concentrações finais nos PBs T1 e T2. Ressalva-se ainda que praticamente todos os resultados da amostra composta dos PBs correspondentes ao tratamentos T2 apresentaram concentrações inferiores a 5 mg/L na entrada e na saída.

Assim como no parâmetro fósforo observa-se que, os maiores percentuais de remoção de nitrogênio referem-se aos PBs dos tratamentos T1, os quais possuíam antes da rega, elevadas concentrações do macronutriente em comparação com o tratamento T2.

No estudo de Sousa, Van Haandel, Consetino & Guimarães (2000)⁹, no qual foi testado o pós-tratamento de efluente de reator UASB utilizando *wetlands* construídos, a eficiência de redução do nitrogênio foi da ordem de 76 a 87%, sendo que para este estudo, o pós-tratamento realizado pelas gramíneas resultou em eficiência de remoção de 53,11 a 75,06% para os tratamentos T1 e de 36,87 a 63,13% para os tratamentos T2. Mesmo que não se possam comparar em mesmo nível estes dois tipos de sistemas utilizados para melhoramento da qualidade final do efluente, observa-se que, as gramíneas dos tratamentos T1 conseguiram um satisfatório percentual de remoção, chegando a valores máximos de eficiência de remoção de 75,06%, muito próximos aos valores obtidos pelo sistema de *wetland* construído dos autores.

A remoção de nitrogênio e fósforo de águas residuárias de laticínio foi avaliada por Mendonça, Ribeiro, Borges & Bastos (2012)¹¹ através de *Typha domingensis* e *Hedychium coronarium*, fazendo-se uso de sistemas de *wetlands* construídos e obtiveram como remoções máximas para estes parâmetros, 73,4 % e 34,3%, respectivamente. As remoções obtidas pelo autor corroboram com as obtidas no presente estudo, no qual também se pôde observar maior eficácia na remoção de nitrogênio.

Mesmo assim, o polimento do efluente líquido doméstico pré-tratado foi possível tanto em sua forma pré-tratada (original) como diluída, contudo é necessário observar que, de acordo com a Resolução CONSEMA N° 128/2006 (BRASIL, Secretaria do Meio Ambiente do estado do Rio Grande do Sul, 2006)¹³, que define os teores de P (4 mg/L) e N (20 mg/L) nas águas superficiais, considerando a vazão de descarte da empresa, os limites tendem a ser alcançados somente quando a diluição for realizada. Mesmo que a irrigação seja uma maneira de disposição de efluente no solo, a resolução mencionada deve ser considerada uma vez que este sistema possa vir a ser adaptado e utilizado para polimento do efluente, ou pelo fato de que uma vez que ocorresse precipitação sobre o sistema, poderia acarretar no lixiviamento das águas residuárias para os recursos hídricos superficiais, e também pelo fato de que, as Resoluções N° 357/2005¹², 430/2011¹⁴, 375/2006¹⁵ e 420/2009¹⁶, não fixam padrões para P e N quando do lançamento de efluentes de esgotos em corpos d'água, e nem valores mínimos para estas substâncias em produtos derivados do esgoto sanitário e no solo respectivamente.

Tais considerações levam a crer que o estabelecimento de valores mínimos para fósforo total e nitrogênio total nos diferentes ambientes e nos produtos derivados do esgoto, são importantíssimos para a manutenção da qualidade de vida nos diferentes habitats, até mesmo

como meio de monitoramento e alerta para uma excessiva concentração destes nutrientes no solo, os quais poderiam implicar em efeitos adversos neste, já que em mananciais hídricos, eles causam a eutrofização do ambiente. Nesse viés, a presente pesquisa serve de incentivo para outros estudos relacionados ao tema, para que em um futuro próximo, esses limites possam ser estabelecidos por lei.

Outro fator importante é com relação à manutenção do sistema de tratamento de efluentes domésticos da empresa. Em virtude deste ainda não ter sido limpo pela primeira vez, provavelmente as concentrações de entrada e saída do efluente (quanto aos tratamentos T1 e T2) poderiam ter sido menores ainda. Além disso, todas as coletas de efluente para irrigação do experimento foram realizadas no período de inverno, e sabe-se que a eficiência dos reatores diminui drasticamente nos períodos mais frios. No entanto, caberia ainda um maior tempo de experimentação abrangendo a estação de verão, para que essas possibilidades pudessem ou não ser confirmadas.

Constatou-se que a maior eficiência de redução de P e N se deu no tratamento T1, o que permite diagnosticar que não é necessário diluir o efluente para se obter maiores reduções de concentração, assim como, quanto maiores as concentrações de nutrientes no efluente de entrada, maiores tendem a ser as quantidades assimiladas pelas plantas, considerando as condições experimentais do presente estudo.

Outro fato importante a salientar ainda, é que tanto nos resultados relacionados à eficiência de remoção de fósforo quanto de nitrogênio, ocorre uma perceptível queda gradual da eficiência. Tais resultados poderiam induzir a uma interpretação equivocada de que o sistema seria ineficiente com passar do tempo, porém, ressalta-se que, os resultados obtidos foram em condições controladas de temperatura e umidade do ar no ambiente experimental. Além disso, foram poucos os dias consecutivos em que o experimento foi realizado e posteriormente amostrado, assim como, não foram testadas outras variáveis, como as climáticas (radiação solar, precipitações, ventos, geadas, etc.), de manejo de solo (descanso e tratos culturais), de manejo da cultura (corte), entre outras que poderiam implicar em resultados divergentes.

4. CONCLUSÃO

As gramíneas da espécie *Axonopus compressus* absorveram os macronutrientes P e N presentes no efluente líquido doméstico pré-tratado, portanto, o sistema solo-plantas contribuiu para o polimento do efluente em questão, com uma diminuição de seus teores em suas concentrações finais, o que viabiliza o reuso para irrigação de gramas da referida espécie. Levando em consideração a legislação vigente (CONSEMA N° 128/2006), apenas alguns PBs T2 ficaram na faixa permitida.

A utilização desse efluente para irrigação e outros fins não nobres, implicaria em uma diminuição do consumo de água potável pela empresa, mas principalmente o reuso do efluente implicaria em menores concentrações de fósforo e nitrogênio passíveis de atingirem corpos receptores, o que poderia evitar a proliferação de algas, a depreciação de O₂ nos ambientes aquáticos e a mortandade de organismos vivos.

-
1. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaoedevida/pnsb2008/default.shtm>>. Acesso em: 29 jan. 2013.
 2. Andreazzi MAR; Barcellos C; Hacon S. Velhos Indicadores para novos problemas: a relação entre saneamento e saúde. Revista Panamericana de la Salud. 2007. Disponível em: <<http://www.scielosp.org/pdf/rpsp/v22n3/a08v22n3.pdf>>. Acesso em: 20 mai. 2013.
 3. Santos MLF; Bastos RKX; Aisse MM. (coord). Tratamento e utilização de esgotos sanitários. (Projeto PROSAB). 1ª edição. Rio de Janeiro – RJ: ABES, 2006. 427p.
 4. Fonseca AF. Disponibilidade de nitrogênio, alterações nas características químicas do solo e do milho pela aplicação de efluente de esgoto tratado. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Área de

- concentração: Solos e Nutrição de plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – USP, Piracicaba, SP. 2001.
5. Allen RG; Pereira, LS; Raes D; Smith M. Crop Evapotranspiration. FAO Irrigation and Drainage Paper Nº 56. FAO, Rome, Italy. 300p. 2000.
 6. American Public Health Association – APHA. Standard Methods for Examination of Water and Wastewater. 22 edition. Washington, 2005.
 7. Ormonde VSS. Avaliação de “wetlands” construídos no pós-tratamento de efluente de lagoa de maturação. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Ambiental) – Universidade Federal de Mato Grosso – UFMT. 96p. 2012.
 8. Van de Moortel AMK; Rousseal DPL; Tack FMG; Pauw NDA. Comparative study of surface and subsurface flow constructed wetlands for treatment of combined sewer overflows: a greenhouse experiment. *Ecological Engineering*, , v. 35, (n. 2), p. 175-183, 2009. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2008.08.015>
 9. Sousa JT; Van Haandel AC; Consetino PR; Guimarães AVA. Pós-tratamento de efluente de reator UASB utilizando sistemas “wetlands” construídos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. V.4, nº 1, p.87-91, Campina Grande – PB, 2000.
 10. Ash R; Truong P. The use of vetiver grass for sewerage treatment. In: Sewage management QEPA Conference, 5-7 April, 2004, Cairns. Paper for... Disponível em: <http://www.vetiver.org/AUS_ekeshire01.pdf>. Acesso em: 14 dez. 2011.
 11. Mendonça HV de; Ribeiro CBM; Borges AC; Bastos RR. Remoção de nitrogênio e fósforo de águas residuárias de laticínios por sistemas alagados construídos operando em bateladas. *Revista Ambiente & Água – Na Interdisciplinary Journal of Applied Science*: v. 7, n.2, 2012. <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.805>
 12. Brasil, Ministério do Meio Ambiente. Resolução Nº 357, de 17 de março de 2005. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: 6 abr. 2013.
 13. Brasil, Secretaria do Meio Ambiente do estado do Rio Grande do Sul. Resolução Nº 128/2006 - Conselho Estadual de Meio Ambiente (CONSEMA). Dispõe sobre a fixação de padrões de emissão de efluentes líquidos para fontes de emissão que lancem seus efluentes em águas superficiais no Estado do Rio Grande do Sul. Disponível em: <http://www.sema.rs.gov.br/upload/Resolu%C3%A7%C3%A3o%20CONSEMA%20n%C2%BA%20128_2006%20-%20Fixa%C3%A7%C3%A3o%20de%20Padr%C3%B5es%20de%20Emiss%C3%A3o%20de%20Efluentes%20L%C3%ADquidos.pdf>. Acesso em: 6 abr. 2013.
 14. Brasil, Ministério do Meio Ambiente. Resolução Nº 430, de 13 de maio de 2011. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução n º 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Disponível em: Brasil, Ministério do Meio Ambiente. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>>. Acesso em: 6 abr. 2013.
 15. Resolução Nº 375, de 29 de agosto de 2006. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Dispõe sobre critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: 6 abr. 2013
 16. Brasil, Ministério do Meio Ambiente. Resolução Nº 420, de 28 de dezembro de 2009. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. Disponível em: <<http://www.cve.saude.sp.gov.br/htm/doma/legis/Resolu%C3%A7%C3%A3o%20CONAMA%20420%20de%2028%20de%20dezembro%20de%202009.pdf>>. Acesso em: 24 set. 2013.