

**Estimativa de uso da água residual da estação de tratamento de esgoto de Teófilo Otoni,
Minas Gerais, na fertirrigação de pastagens**

**Estimation of wastewater use at the Teófilo Otoni sewage treatment plant, Minas Gerais,
in pasture fertigation**

**Estimación del uso de aguas residuales en la planta de tratamiento de aguas residuales
de Teófilo Otoni, Minas Gerais, en fertirrigación de pasturas**

Recebido: 06/06/2020 | Revisado: 09/06/2020 | Aceito: 10/07/2020 | Publicado: 20/07/2020

Alexandre Sylvio Vieira da Costa

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7251-7816>

Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Brasil

E-mail: alexandre.costa@ufvjm.edu.br

Resumo

As águas residuais são fontes de matéria orgânica e nutrientes minerais para o solo e plantas contribuindo também no fornecimento de água via fertirrigação. O presente estudo teve como objetivo avaliar o potencial das águas residuais tratadas na estação de tratamento de esgoto da cidade de Teófilo Otoni e o seu uso na fertirrigação de pastagens. Os dados químicos das águas residuais foram coletados na COPASA de Teófilo Otoni e os cálculos baseados nas características distróficas dos solos da região. Avaliou-se o potencial de uso, sua quantificação e a capacidade de atendimento as áreas de pastagens locais. Os resultados mostraram que as águas residuais tratadas na estação de tratamento de esgoto de Teófilo Otoni apresentam excelentes características químicas com pH levemente básico (7,45) e elevada concentração de nitrogênio ($50,07 \text{ mg.L}^{-1}$) e fósforo ($6,13 \text{ mg.L}^{-1}$). Outro ponto importante está associado a elevada quantidade de água residual gerada, valores que atingem quase 100 litros por segundo. Considerando a reduzida fertilidade dos solos de pastagens da região, o uso das águas residuais da ETE de forma contínua atenderia as necessidades totais de fósforo e parcialmente as necessidades de nitrogênio de dois a quatro hectares por dia. Considerando que a água residual e os nutrientes contidos nela são descartadas no rio Todos os Santos com elevados riscos de eutrofização, o uso da água na fertirrigação, além dos benefícios financeiros ao produtor rural, trariam também benefícios ambientais aos recursos hídricos.

Palavras-chave: Fertilidade do solo; Adubação; Irrigação; Esgoto tratado.

Abstract

Wastewater is a source of organic matter and mineral nutrients for the soil and plants, also contributing to the supply of water via fertigation. The present study aimed to evaluate the potential of treated wastewater at the sewage treatment plant in the city of Teófilo Otoni and its use in pasture fertigation. The chemical data of the wastewater were collected at COPASA by Teófilo Otoni and the calculations based on the dystrophic characteristics of the region's soils. The potential for use, quantification and the capacity to serve local grazing areas were evaluated. The results showed that the wastewater treated at the Teófilo Otoni sewage treatment plant has excellent chemical characteristics with a slightly basic pH (7.45) and a high concentration of nitrogen (50.07 mg.L^{-1}) and phosphorus (6.13 mg.L^{-1}). Another important point is associated with the high amount of residual water generated, values that reach almost 100 liters per second. Considering the reduced fertility of pasture soils in the region, the use of wastewater from the sewage treatment plant on a continuous basis would meet the total phosphorus needs and partially meet the nitrogen needs of two to four hectares per day. Considering that the residual water and the nutrients contained are discarded in the All Saints river with high risks of eutrophication, the use of water in fertigation, in addition to the financial benefits to the rural producer, would also bring environmental benefits to the water resources.

Keywords: Soil fertility; Fertilization; Irrigation; Treated sewage.

Resumen

Las aguas residuales son una fuente de materia orgánica y nutrientes minerales para el suelo y las plantas, y también contribuyen al suministro de agua a través de la fertirrigación. El presente estudio tuvo como objetivo evaluar el potencial de las aguas residuales tratadas en la planta de tratamiento de aguas residuales en la ciudad de Teófilo Otoni y su uso en la fertirrigación de pasturas. Teófilo Otoni recolectó datos químicos sobre aguas residuales en COPASA y los cálculos se basaron en las características distróficas de los suelos de la región. Se evaluó el potencial de uso, su cuantificación y la capacidad de atender áreas de pastoreo locales. Los resultados mostraron que las aguas residuales tratadas en la planta de tratamiento de aguas residuales de Teófilo Otoni tienen excelentes características químicas con un pH ligeramente básico (7.45) y una alta concentración de nitrógeno (50.07 mg.L^{-1}) y fósforo (6.13 mg.L^{-1}). Otro punto importante está asociado con la gran cantidad de agua residual generada, valores que alcanzan casi 100 litros por segundo. Teniendo en cuenta la reducción de la fertilidad de los suelos de pasturas en la región, el uso de aguas residuales de la planta de

tratamiento de aguas residuales de forma continua satisfaría las necesidades totales de fósforo y parcialmente las necesidades de nitrógeno de dos a cuatro hectáreas por día. Teniendo en cuenta que el agua residual y los nutrientes contenidos en ella se descartan en el río Todos os Santos con altos riesgos de eutrofización, el uso del agua en la fertirrigación, además de los beneficios financieros para el productor rural, también traería beneficios ambientales a los recursos hídricos.

Palabras clave: Fertilidad del suelo; Fertilización; Riego; Aguas residuales tratadas.

1. Introdução

O volume de água doce disponível para o uso humano tem reduzido drasticamente devido ao expressivo crescimento populacional, intensificação do uso combinado com o aumento efetivo da poluição e da degradação dos corpos d'água existentes (Lacerda *et al.*, 2011).

A gestão dos recursos hídricos torna-se mais sustentável quanto maior for a utilização das águas residuais. Este comportamento contribui na conservação de água potável, essencial às necessidades básicas do ser humano e na redução significativa do lançamento dos efluentes nos corpos hídricos, gerando benefícios como a redução de poluentes no meio e consequente proteção dos ecossistemas (Monte e Albuquerque, 2010).

Segundo Ortiz e Pinheiro (2016), o esgoto é uma combinação de efluentes domésticos, despejos industriais, efluentes de estabelecimentos comerciais e institucionais, assim como efluentes agropecuários. O tratamento dos efluentes geram dois subprodutos, sendo eles o lodo composto de matéria orgânica e elementos minerais e a água residual tratada com baixa carga de DBO. As águas residuais urbanas estão sujeitas a variabilidade em sua composição em razão da forma de tratamento e da época do ano em que é gerada, variáveis que irão refletir diretamente em sua característica química (Pina, 2010).

Independentemente das variações químicas dos efluentes de esgoto, após seu tratamento, a sua composição base, segundo descrito por Costa (2013), compreende a presença de matéria orgânica, advinda principalmente das águas residuais dos sanitários e das águas cinzas, resultado do remanescente do uso doméstico, matéria inorgânica, como sais, ácidos e bases, microrganismos e casualmente metais como alumínio, cádmio, chumbo, cromo. Outros compostos presentes são gasosos como o oxigênio, metano, dióxido de carbono e ácido sulfídrico. O efluente tratado, apesar de passar por diversas etapas de tratamento, ainda pode conter altos níveis de elementos minerais como nitrogênio e fósforo.

Estes elementos podem ser prejudiciais em um corpo d'água receptor, elevando suas taxas de nutrientes e favorecendo o crescimento de algas e cianobactérias. No entanto, esse tipo de efluente tratado, com quantidades adequadas de nitrogênio e fósforo pode ser utilizado na irrigação de algumas culturas.

A unidade operacional de tratamento do esgoto sanitário é comumente denominada Estação de Tratamento de Esgoto (ETE), receptor das cargas poluentes do esgoto. O objetivo principal da ETE é realizar o tratamento do efluente, a partir de processos físicos, químicos ou biológicos, de modo a descartar no corpo receptor a água residual tratada com uma carga mínima de poluentes, de acordo com a legislação vigente, reduzindo os possíveis impactos ambientais e atendendo aos padrões de qualidade exigidos pela legislação.

Os modelos convencionais de produção agrícola preconizam o uso da mecanização e de insumos químicos, agrotóxicos e fertilizantes minerais, o que conduz rapidamente à degradação dos recursos naturais (Steenbock et al., 2013).

Diante dessa problemática, uma alternativa para obtenção de nutrientes minerais para nutrição das plantas é o uso de águas residuais, provenientes de Estação de Tratamento de Esgoto com aplicação no solo realizada por meio da fertirrigação. Segundo Lacerda et al. (2011), a fertirrigação compreende os processos de irrigação e adubação, simultaneamente. As águas residuais são potenciais fontes de nutrientes e matéria orgânica quando usadas na fertirrigação, contribuindo no aumento da atividade do solo (Oliveira et al, 2019).

Fonseca (2005) cita que, a água residual tratada disponibilizada pela ETE pode ser aproveitada como fonte alternativa para fornecimento de água para as plantas. Este produto também se configura, conforme suas propriedades químicas, como fonte de nutrientes para o sistema solo-planta, por conter macro e micronutrientes primordiais. Na agricultura, tem-se verificado o uso dos efluentes de esgoto tratado, promovendo maior economia e preservação da água doce, redução de custos com fertilizantes e aumento da produtividade e qualidade das culturas agrícolas (Santos, 2015).

De acordo com Gonçalves (2016), a fertirrigação com águas residuais é o processo de irrigação que garante maior sustentabilidade através da aplicação de fertilizantes propiciando uma agricultura sustentável e aumento da produtividade.

Na irrigação, as águas residuais tratadas devem atender requisitos agrônômicos e de proteção à saúde pública, não sendo condutora de substâncias que possam prejudicar o desenvolvimento das plantas, transportando elementos que favoreçam seu crescimento e produtividade. Dos compostos presentes no efluente não tratado, aqueles prejudiciais ao desenvolvimento das culturas são os metais pesados e sódio. Os compostos nitrogenados,

fósforo, potássio, zinco e enxofre presentes promovem o desenvolvimento vegetal (Monte e Albuquerque, 2010).

Neste contexto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a composição dos nutrientes minerais das águas residuais tratadas da ETE de Teófilo Otoni, Minas Gerais e sua utilização na fertirrigação avaliando a substituição da adubação química no manejo da pastagem da região.

2. Metodologia

Localização e caracterização da ETE de Teófilo Otoni – MG

As águas residuais na qual foram realizadas as análises foi tratada pela Companhia de Saneamento de Minas Gerais – Copasa, em sua estação de tratamento de esgoto (ETE) localizada no município de Teófilo Otoni – MG, latitude -17.892840° , longitude -41.5154° e altitude de 467m (Figura. 1).

Figura 1 - ETE de Teófilo Otoni/MG.



Fonte: COPASA (2015).

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, o clima de Teófilo Otoni é classificado como tropical quente úmido e suas temperaturas anuais variam em torno de 23°C , sendo as temperaturas máximas médias em torno de 32°C . A estimativa da população da cidade em 2015 foi de 141.046 habitantes, e seu Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) de 0,701.

A ETE que atende a cidade entrou em operação no ano de 2012, de acordo com a Agência Reguladora de Água e Esgoto (Arsae, 2015) de Minas Gerais. O tratamento do esgoto é conduzido por etapas que constituem de tratamento preliminar, reatores anaeróbios tipo UASB, filtros biológicos percoladores e decantadores secundários. A capacidade total de tratamento da estação é de 210 L.s⁻¹. A água residual tratada da ETE é lançada no rio Todos os Santos. Este corpo receptor possui capacidade de autodepuração, não extrapolando os limites físicos, químicos e biológicos estipulados pela legislação ambiental (Supram, 2012).

A Copasa disponibilizou os relatórios de amostragem do esgoto bruto coletado no ponto de entrada da ETE e após o tratamento realizado (água residual) coletado no ponto de lançamento no rio Todos os Santos. Nos relatórios disponibilizados constam análises referentes ao sistema de controle de efluentes da estação. Os parâmetros que constam no relatório são: pH, DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) total (mg L.O₂.⁻¹), nitrogênio total Kjeldahl (mg.L⁻¹), fósforo total (mg.L⁻¹) e vazão final de descarte da água residual (L.s⁻¹) e DBO total do esgoto bruto.

Os relatórios disponibilizados foram referentes as amostras coletadas pela empresa nos dias 21 de março e 19 de setembro de 2017 e 20 de março e 18 de setembro de 2018

A avaliação da quantidade de Nitrogênio e Fósforo necessários à adubação das pastagens foi realizada de acordo com o livro Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais, 5ª Aproximação (Ribeiro et al, 1999). Para realização dos cálculos tomou-se como princípios a adubação de manutenção, aplicada em um sistema de pastagem com *Brachiaria brizantha* com características de médio e alto nível tecnológico, indicando, respectivamente, manejo extensivo e intensivo.

Em uma pastagem de nível tecnológico médio recomenda-se doses de N entre 100 e 150 kg.ha⁻¹.ano⁻¹. Para alto nível tecnológico a quantidade de N indicada é de 200 kg.ha⁻¹.ano⁻¹ (Ribeiro et al, 1999).

A quantidade de nitrogênio aplicado via fertirrigação utilizando a água residual tratada foi definida considerando a concentração média de nitrogênio na água residual, do cálculo da lâmina de irrigação aplicada, em mm.ha⁻¹ e quantidade total de água residual aplicada. A lâmina de água de 1,0 mm.ha⁻¹ representa a aplicação de 10.000 litros de água ou 10m³.

Para determinação da quantidade de fósforo aplicada avaliou-se a concentração de argila no solo, estabelecendo um percentual entre 15 e 35%, considerando as características do solo predominantes da região (Latosolo Vermelho amarelo distrófico) e o nível de fósforo baixo. Assim como no nitrogênio o cálculo da aplicação do fósforo foi realizado baseando-se

no manejo de médio nível tecnológico e alto nível tecnológico. Com estes referenciais foram realizadas as recomendações de acordo com a Tabela 1.

Tabela 1 - Recomendação de adubação fosfatada para manutenção de pastagens.

Argila	Disponibilidade de P		
	Baixa	Média	Alto
%	----- kg.ha ⁻¹ de P ₂ O ₅ -----		
Médio nível tecnológico			
> 60	50	30	0
35 -60	40	25	0
15 – 35	30	20	0
< 15	20	15	0
Alto nível tecnológico			
> 60	60	40	0
35 -60	50	30	0
15 – 35	40	20	0
< 15	30	15	0

Fonte: Ribeiro et al. (1999).

Foi calculada a quantidade de P total fornecido pela água residual utilizando a lâmina de água na fertirrigação (mm.ha⁻¹). Nos cálculos realizados, considerou-se todo o nitrogênio e fósforo presente na água residual como disponíveis para as plantas.

A partir da quantidade de N e P aplicados no solo calculou-se a taxa de substituição do fertilizante químico pelos nutrientes minerais presentes na água residual e a quantidade necessária de fertilizante químico para complementar a adubação, em kg.ha⁻¹. Os cálculos das doses de N foram realizados baseados no N total e as doses de P calculados como P₂O₅. Todos os cálculos foram realizados baseando-se na média e desvio padrão dos dados da Copasa, considerando a sazonalidade dos valores do período.

3. Resultados e Discussão

Os resultados analíticos realizados pela Copasa da análise dos seus principais parâmetros de esgoto bruto e água residual tratada, podem ser verificados na Tabela 2.

Tabela 1 - Análises químicas das amostras do esgoto bruto e da água residual tratada no período de março/2017 a setembro/2018.

Parâmetros	Data da coleta								Média	Desvio Padrão (%)
	21/mar/2017		20/mar/2018		19/set/2017		18/set/2018			
	EB	AR	EB	AR	EB	AR	EB	AR		
pH	-	7,4	-	7,2	-	7,8	-	7,4	7,45	0,25
DBO Total	543	57,1	376	66,3	775	187	576	108	104,6 ^{AR}	59,2
N Total (mg.L ⁻¹)	-	48,6	-	51,6	-	42,2	-	57,9	50,07	6,53
P Total (mg.L ⁻¹)	-	6,3	-	5,3	-	5,4	-	7,5	6,13	1,02
Vazão (L.s ⁻¹)		93,69		98,96		80,53		104,5	94,42	10,20

Esgoto Bruto (EB)

Água Residual Tratada (AR)

Fonte: COPASA (2018).

Os resultados mostram (Tabela 2) que o pH da água residual tratada oscilou entre 7,2 e 7,8 nas quatro amostras coletadas entre março de 2017 e setembro de 2018, apresentando caráter levemente básico. A média dos valores foi de 7,45 e um desvio padrão das leituras de apenas 0,25% indicando que os valores do pH oscilaram muito pouco no período avaliado. Estes valores assumem grande importância considerando que os solos da região apresentam acidez leve a média, entre 5,5 e 6,5, sendo necessário periodicamente, a aplicação no solo de corretivo agrícola. Considerando o pH levemente básico da água residual tratada avaliada neste trabalho, o seu uso no processo de fertirrigação das pastagens pode contribuir na elevação do pH do solo e, conseqüentemente promover a redução da quantidade de corretivo aplicado no solo.

Em relação a DBO total das amostras de esgoto bruto e o efluente residual tratado, observa-se nas amostras uma grande variabilidade de valores (Tabela 2). No caso do esgoto bruto, os valores oscilaram entre 376 e 775 de DBO, enquanto na água residual tratada os valores oscilaram entre 57 e 187 de DBO com desvio padrão das amostras de 59,2%, indicando uma grande variabilidade dos resultados. Esta oscilação nas características da DBO do esgoto é explicada pela sazonalidade do período do ano e pela característica da cidade de Teófilo Otoni que apresenta em diversos pontos ligação clandestina da rede pluvial na rede de esgoto, fato que altera as características do esgoto bruto. Em relação a eficiência da redução

da carga orgânica do esgoto bruto (DBO) durante o tratamento, ela oscilou entre 75% e 89,5% de eficiência.

A média da concentração do nitrogênio total (N total) nas águas residuais tratadas foi de 50,07 mg.L⁻¹ com desvio padrão de 6,53%, indicando uma pequena variação entre as amostras. O fósforo total (P total) apresentou uma média de 6,13 mg.L⁻¹ com desvio padrão de apenas 1,02% (Tabela 2). Os cálculos para fertirrigação das pastagens com N e P foram realizados utilizando as médias dos valores. A vazão final da água residual tratada, fator importante nos cálculos de fertirrigação, apresentou um valor médio de 94,42 L.s⁻¹ com oscilação de vazão entre 80,53 L.s⁻¹ e 104,5 L.s⁻¹, e desvio padrão de 10,2% (Tabela 2).

Tabela 3 - Avaliação do nitrogênio (N) na água residual tratada e sua utilização na fertirrigação.

N total ₁ (g.s ⁻¹)	N total (kg.h ⁻¹)	Vazão da água residual (L.s ⁻¹)	Tempo	N total ₃ (kg.mm ⁻¹ .ha ⁻¹)
4,775	17,2	94,42	1min 46s	0,506

. Ntotal₁ = Quantidade de nitrogênio aplicado na fertirrigação em um segundo de vazão da água residual tratada

. Ntotal₂ = Quantidade de nitrogênio aplicado na fertirrigação com uma hora de vazão da água residual tratada;

. Tempo = Tempo necessário para aplicar uma lâmina de água de um milímetro por hectare em relação a vazão de saída da água residual tratada na ETE;

Ntotal₃ = Quantidade de nitrogênio aplicado na fertirrigação na aplicação de uma lâmina de um milímetro por hectare;

Fonte: Autores.

Foi realizada a quantificação do N total na água residual tratada (Tabela 3). A liberação de 94,42L.s⁻¹ da água residual indica a disponibilização de 4,775 gramas de N total por segundo. No período de uma hora de liberação da água residual, um total de 339,91 m³, estará sendo disponibilizado e conseqüentemente, 17,2 kg de N total, quantidade significativa para a maioria das culturas. Avaliando a liberação da água residual tratada da ETE e o total de água necessária para se colocar uma lamina de água no solo de 1,0 milímetro por hectare, o tempo necessário gasto para o processo será de um minuto e 46 segundos. Este tempo de irrigação equivale a depositar no solo 10 m³ de água residual tratada por hectare, contendo 0,506 kg de N total.

Tabela 4 - Avaliação do fósforo (P) na água residual tratada e sua utilização na fertirrigação.

P total ₁ (g.s ⁻¹)	P total ₂ (kg.h ⁻¹)	Vazão da água residual (L.s ⁻¹)	Tempo	P total ₃ (kg.mm ⁻¹ .ha ⁻¹)	P ₂ O ₅ (kg.mm ⁻¹ .ha ⁻¹)
0,579	2,084	94,42	1min 46s	0,0613	0,141

. Ptotal₁ = Quantidade de fósforo aplicado na fertirrigação com um segundo de vazão da água residual tratada

. Ptotal₂ = Quantidade de fósforo aplicado na fertirrigação com uma hora de vazão da água residual tratada;

. Tempo = Tempo necessário para aplicar uma lâmina de água de um milímetro por hectare em relação a vazão de saída da água residual tratada na ETE;

Ptotal₃ = Quantidade de fósforo aplicado na fertirrigação na aplicação de uma lâmina de um milímetro por hectare;

. P₂O₅=Representação de concentração no fertilizante;

Fonte: Autores.

Na Tabela 4 verifica-se os dados de quantificação do P total e o valor de referência para fertilizantes na forma de P₂O₅. A cada segundo de liberação de água residual tratada da ETE de Teófilo Otoni, disponibiliza-se 0,579g de P total. No período de uma hora de liberação de água residual o P total disponível é de 2,084 kg. Quando o cálculo é realizado em relação a lâmina de irrigação, a cada um milímetro de água residual aplicada na fertirrigação teremos 0,0613 kg de P total aplicado. Como a equivalência de cálculo em relação a adubação química é realizada na expressão P₂O₅, o fator multiplicativo é de 2,3, indicando que, uma lâmina de água residual de um milímetro aplicada por hectare de pastagem estará incorporando 0,141 kg de P₂O₅.

Tabela 5 - Quantidade de água residual aplicada por hectare e tempo de fertirrigação em função do tempo de vazão da ETE, para atingir as necessidades anuais de nitrogênio (N) das plantas de *Brachiaria* sp.

Quantidade de água aplicada (mm)		Tempo de irrigação (horas.ha ⁻¹)	
Nível tecnológico Médio	Nível tecnológico alto	Nível tecnológico médio	Nível tecnológico alto
296,4	395,2	8,72	11,63

Nível tecnológico médio = 150 kg de N.ha⁻¹

Nível tecnológico alto = 200 kg de N.ha⁻¹

Fonte: Autores.

A demanda para atender 100% das necessidades da área de pastagem com N utilizando a água residual tratada é apresentado na Tabela 5. Em relação as áreas de pastagem

conduzidas com nível tecnológico médio, onde a demanda de nitrogênio é de $150 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, a lamina aplicada de água residual deverá ser de 296,4 mm. Associando ao tempo necessário para disponibilização da água residual pela ETE, o tempo necessário para irrigar um hectare de pastagem e atingir 100% da necessidade de N da adubação será de 8,72 horas. Com o nível tecnológico alto na condução e manejo da pastagem, a demanda de N pelas plantas, segundo Ribeiro et al (1999) é de $200 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$. Desta forma, para atingir estes valores, a vazão total de água residual por hectare será de 395,3 mm. Considerando a vazão média de água residual tratada liberada pela ETE de Teófilo Otoni (Tabela 2), o tempo gasto para atingir 100% da demanda de N será de 11,63 horas. ha^{-1} . Estes resultados indicam que fertirrigar pastagens manejadas com nível tecnológico médio, a água residual tratada gerada pela ETE é capaz de atender diariamente (24 horas), a aproximadamente três hectares em sua necessidade total de N. Em relação as pastagens conduzidas com alto nível tecnológico, a demanda da água residual tratada da ETE atende a aproximadamente dois hectares por dia (24 horas).

Tabela 6 - Quantidade de água residual aplicada por hectare e tempo de fertirrigação em função do tempo de vazão da ETE, para atingir as necessidades anuais de fósforo (P_2O_5) das plantas de Brachiaria.

Quantidade de água aplicada (mm)		Tempo de irrigação (horas.ha^{-1})	
Nível tecnológico médio	Nível tecnológico alto	Nível tecnológico médio	Nível tecnológico alto
212,8	283,7	6,23	8,34

Nível tecnológico médio = $30 \text{ kg de P}_2\text{O}_5.\text{ha}^{-1}$

Nível tecnológico alto = $40 \text{ kg de P}_2\text{O}_5.\text{ha}^{-1}$

Fonte: Autores.

O elemento P apresenta uma demanda pelas plantas de braquiária inferior ao nitrogênio. Neste caso para a fertilização de pastagens conduzidas com nível tecnológico médio, nas condições de Teófilo Otoni, demanda $30 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ de P_2O_5 , enquanto que, para alto nível tecnológico, a demanda é de $40 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$. Considerando as características químicas das águas residuais tratadas da ETE de Teófilo Otoni em relação ao nível de P, seria necessário aplicar uma lâmina de água de 212,8 mm por hectare para atender 100% das necessidades de adubação de pastagens conduzidas com nível tecnológico médio (Tabela 6). Para atender as necessidades de adubação em pastagens de braquiária conduzidas com nível

tecnológico alto ($40 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$), esta demanda da lâmina de água residual tratada será de 283,7 mm.

O tempo necessário para aplicação da água residual tratada no solo, por hectare, em função do tempo de geração pela ETE apresenta variações de acordo com o nível tecnológico adotado. Em áreas de pastagens conduzida com nível tecnológico médio, o tempo necessário de irrigação para atender a 100% da demanda de P_2O_5 é de 6,23 horas, enquanto que para pastagens de elevado nível tecnológico, o tempo sobe para 8,34 horas.

Com estes valores verificamos que, a demanda diária de água residual tratada (24 horas) gerada pela ETE é capaz de atender quase 4,0 hectares em pastagens de médio padrão tecnológico e pouco menos de três hectares em pastagens manejadas com elevado nível tecnológico.

Considerando que os cálculos da quantidade de água residual tratada são diferentes para os elementos N e P, para recomendação da fertirrigação e que encontram-se solubilizados na mesma solução (água residual), a recomendação é realizada pelo elemento de menor demanda, desta forma, o elemento de maior demanda ficará subutilizado. Desta forma torna-se necessária a realização de uma adubação química complementar (Tabela 7). A recomendação de aplicação e quantificação da água residual tratada não poderia ser realizada pelo elemento em maior concentração, considerando que, neste caso, o elemento de menor concentração na água residual seria superestimado, aplicado em doses superiores a recomendada, podendo interferir na interação entre os elementos do solo e consequentemente, comprometer a absorção pelas raízes das plantas.

Tabela 7- Comparação do uso da água residual tratada recomendada pelo elemento de menor quantidade de exigência e 100% de suas necessidades supridas.

Nível Tecnológico	Exigência total da adubação em P (%)	Exigência atingida da adubação em N (%)	Necessidade de de incremento com adubo químico (N) ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$)
Médio	100%	71,8%	$42,3 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$
Alto	100%	71,5%	$57,0 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$

Fonte: Autores.

Neste caso, como demonstrado na Tabela 7, o elemento de menor demanda é o P. Com o uso da água residual tratada visando atender a 100% da demanda de P, quando analisamos a sub dosagem do N, verificamos que seria utilizado 71,8% e 71,5% da demanda total de N nos

sistemas de manejo das pastagens em médio e elevado nível tecnológico, respectivamente. Desta forma, o déficit de utilização do N para o sistema de manejo das pastagens de médio nível tecnológico exige um incremento de adubação química na ordem de $42,3 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de N enquanto que no sistema de elevado nível tecnológico o déficit seria de $57,0 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ N.

Segundo alguns autores (Batista et al. 2014), as águas residuais das agroindústrias aplicadas no solo são uma forma potencialmente adequada de destino final baseando-se na capacidade depuradora do sistema solo, planta, microrganismo, degradando os poluentes e disponibilizando nutrientes e matéria orgânica.

Existem muitos estudos a respeito do lodo de esgoto e seus benefícios em relação a absorção de nutrientes minerais e desenvolvimento das plantas. Lobo et al (2019), verificaram incrementos nos teores foliares de N, P, S, Fe, Mn e Zn nas plantas de girassol, além de melhorias nas características fitotécnicas. Parte destes benefícios para as plantas são decorrentes não apenas dos nutrientes minerais mais também da presença da matéria orgânica. A matéria orgânica também está presente na água residual tratada da ETE de Teófilo Otoni conforme demonstra a análise da DBO, mas obviamente em quantidades muito menores.

Fia et al (2011) demonstraram com a fertirrigação das águas residuárias do esgoto a ação de absorção dos nutrientes pelo Tifton 85. Segundo Mufatto et al (2016) algumas espécies de forragens apresentam excelentes resultados com o uso de águas residuais na fertirrigação com aumento da produtividade das plantas, do teor de proteína bruta e teor de nutrientes.

Oliveira et al (2019) avaliaram a respiração basal do solo, a produtividade e absorção de nutrientes das plantas de Tifton 85 com aplicação de água residual de laticínio. Verificou que a maior produtividade das plantas ocorreu no 2º corte aos 90 dias e uso de $7.203 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ de água residual.

O fator econômico tem se mostrado significativo na substituição da adubação mineral pela adubação orgânica. Romeiro et al (2019), mostraram que a aplicação de lodo de esgoto em substituição a adubação nitrogenada nas plantas de laranja Pêra promoveu o aumento dos teores de todos os elementos minerais na planta. D'avila et al (2019), avaliaram financeiramente os cenários econômicos de sistemas para disposição final do lodo de esgoto doméstico. Verificaram que o uso do lodo de esgoto na adubação orgânica, apresentou maior atratividade para investimentos financeiros em projetos no setor com rentabilidade atingindo mais de 60% ao ano.

4. Considerações Finais

Os resultados mostram que as águas residuais tratadas na estação de tratamento de esgoto (ETE) de Teófilo Otoni apresentam excelentes características químicas com pH levemente básico e concentração elevada de nitrogênio e fósforo. Outro ponto importante está associado a quantidade de água residual gerada que atingem quase 100 litros por segundo. Em relação as características de fertilidade reduzida dos solos das pastagens da região de Teófilo Otoni, as águas residuais geradas na ETE no período de 24 horas, atenderiam as necessidades totais de fósforo e parcialmente as necessidades de nitrogênio entre dois a quatro hectares por dia, dependendo do modelo tecnológico de manejo das pastagens.

Considerando que a água residual tratada e os nutrientes contidos nela são descartados no rio Todos os Santos com riscos de impacto ambiental, o uso da água na fertirrigação das pastagens, além dos benefícios financeiros ao produtor rural teríamos também benefícios ambientais aos recursos hídricos. Outras avaliações devem ser realizadas visando determinar a existência de limitações econômicas para adoção da metodologia em propriedades mais distantes da ETE.

Referências

- Arsae-Agência Reguladora de Serviços de Abastecimento de Água e de Esgotamento Sanitário do Estado de Minas Gerais. (2015). *Sistema de Esgotamento Sanitário da sede do município de Teófilo Otoni*. Belo Horizonte. 37 p.
- Batista, R. O., Martinez, M. A., Paiva, H. N., Batista, R. O., & Cecon, P. R. (2014). O efeito da água residuária da suinocultura no desenvolvimento e qualidade de mudas de *Eucalyptus urophylla*. *Revista Ciência Florestal*, 24,127-135.
- Costa, T. (2013). Avaliação dos teores de fósforo e nitrogênio em um efluente líquido doméstico pré-tratado na irrigação e *Axonopus compressus*. Lajeado, 2013. 110 p.
- D`avila, J. V., Chaves, M. C., Santos, F. S., Peres, A. A. C. (2019). Análise da viabilidade econômico-financeira de sistemas de disposição final de esgoto. *Revista em agronegócio e Meio Ambiente*. 12(2),541-555.

Fia, F. R. L., Matos, A. T., Fia, R., Lambert, T. F., Matos, M. P. (2011). Remoção de nutrientes por *Typha latifolia* e *Cynodon* spp. cultivadas em sistemas alagados construídos. *Ambiente & Água*, 6,(1)77-89.

Fonseca, A. F., Melfi, A. J., Montes, C. R. (2005). Maize growth and changes in soil fertility after irrigation with treated sewage effluent. I. Plant dry matter yield and soil nitrogen and phosphorus availability. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 36,13-14.

Gonçalves, J. M. (2016). *Fertirrigação com água residuária de agroindústria (ara) em forrageiras: monitoramento de elementos químicos no perfil do solo*. Uberaba. 71 p.

Lacerda, P. M., Ferreira, R. R., Arias, N. J. H., Guilherme, M., Lima, R. A. S. (2011). Influência da irrigação com águas residuárias no desenvolvimento de feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*). *Revista Acadêmica Ciências Agrárias e Ambientais*, 9(2),159-168.

Lobo. T. F., Filho, H. G., Bull, L. T., Kummer, A. C. B., Souza, F. L. P. (2018). desenvolvimento e nutrição do girassol com lodo de esgoto e nitrogênio. *Revista do Agronegócio e Meio Ambiente*. 12(1),173-193.

Monte, M., & Albuquerque, A. (2010). *Reutilização de águas residuais*. Lisboa. 319 p.

Mufatto, L. M., Neres, M. A., Nath, C. D., Stangarlin, J. R., Scheidt, K. C., Casarotto, L., Sarto, J. R. W., Sunahara, S. M. M. (2013). Characterization and quantification of the population of fungi in area of Tifton 85 bermudagrass hay fertilized with swine biofertilizer. *Revista Ciência Rural*, 46(3), 486-491.

Oliveira, J. F., Fia, R., Fia, F. R. L., Rodrigues, F. N., Oliveira, F. L. C., Filho, L. C. A. L. (2019). Efeito de água residual de laticínio na respiração basal do solo, produtividade e remoção de nutrientes do Tifton 85 (*Cynodon* sp.). *Revista de Ciências Agrárias*, 42(1),155-165.

Ortiz, I, A, S, Pinheiro, J, H, P, A.(2016). *Águas residuárias: fontes, constituição e tecnologias de tratamento*. Tupã: ANAP, 40-57.

Pina, M. A. G. (2010). *Caracterização das águas residuais produzidas no campus universitário da FCT/UNL*. Lisboa. 95 p.

Ribeiro, A. C., Guimarães, P. T. G., Alvarez, V. H. (1999). Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais. *Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais, 5ª Aproximação*. Viçosa, MG, 359p.

Romeiro, J. C. T., Filho, H. G., Moreira, L. L. Q., Rocha, M. G. V., Dadazio, T. S. (2019). Disponibilização de micronutrientes para cultivo da laranjeira Pêra fertilizadas com lodo de esgoto compostado em substituição a adubação nitrogenada mineral. *Revista Agrofib*, 1(1),61-70, 2019.

Santos, F. C., Neves, J. C. L., Novais, R. F., Alvarez V., V. H., Sedyama, C. S. (2008). Modelagem da recomendação de corretivos e fertilizantes para a cultura da soja. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32,1661-1674.

Santos, G. O. (2015). Aplicação de efluente de tratamento de esgoto, via aspersão, no solo e em *Brachiaria*. Jaboticabal, 197 .

Steenbock, W., Silva, R. S., Frouefe, L. C. M., Seoane, C. E. (2013). *Agroflorestas e sistemas agroflorestais no espaço e no tempo*. In: Steenbock, W. et al. (Org.); Froufe, L. C. M., Seoane, C. E. (Colab.). *Agrofloresta, ecologia e sociedade*. Curitiba: Kairós. 422p.

Supram - Superintendência Regional de Regularização Ambiental do Leste Mineiro (2012). *Parecer único: Licenciamento Ambiental - COPASA – ETE Teófilo Otoni – 1º etapa*. Governador Valadares, 20.

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

Alexandre Sylvio Vieira da Costa – 100%