

**A reutilização do esgoto tratado para fins agrícolas: estudo de caso em Arapiraca
(Nordeste, Brasil)**

**The reuse of treated sewage for agricultural purposes: a case study in Arapiraca
(Northeast, Brazil)**

**La reutilización de aguas residuales tratadas para fines agrícolas: un estudio de caso en
Arapiraca (Nordeste, Brasil)**

Recebido: 26/04/2020 | Revisado: 27/04/2020 | Aceito: 30/04/2020 | Publicado: 15/05/2020

Ewerthon José Corrêa de Oliveira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2446-8671>

Universidade Federal de Alagoas, Brasil

E-mail: ewerthonjose@gmail.com

Antônio Oliveira Netto

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8023-2690>

Universidade Federal de Alagoas, Brasil

E-mail: oliveira_netto@hotmail.com

Jeisiane Isabella da Silva Alexandre

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3253-6144>

Instituto Federal de Pernambuco, Brasil

E-mail: jeisianebellas150@hotmail.com

Vitor Hugo de Oliveira Barros

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8533-5613>

Instituto Federal do Sertão Pernambucano, Brasil

E-mail: vitor_barros1@outlook.com

José Martins de França Neto

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4094-6138>

Universidade Federal de Pernambuco, Brasil

E-mail: jmfrancaneto@gmail.com

Lívia Maria Alves Lino Acioly de Carvalho

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6828-1003>

Centro Universitário Cesmac, Brasil

Resumo

O crescimento populacional e os impactos ambientais negativos produzidos pelo homem na natureza aceleram a redução da disponibilidade de água em determinadas regiões. Neste contexto, o reuso do esgoto tratado é uma alternativa potencial, principalmente para as atividades agrícolas. O município de Arapiraca, localizado no nordeste brasileiro, possui destaque por sua produção agrícola, especificamente no polo Bananeiras, em sua zona rural. Apesar de estar inserido em uma região de clima tropical sub-úmido, o município apresenta um quadro de escassez hídrica. Nesse sentido, o reuso do esgoto tratado poderá ser uma forma de mitigação da escassez da água e o fomento da agricultura nesta localidade. Com a implantação do sistema de saneamento básico do município, o presente estudo objetiva sugerir um descarte sustentável para a Estação de Tratamento do Esgoto (ETE) planejada. Assim, foi avaliado o potencial do reuso agrícola do esgoto tratado na ETE, como fonte de irrigação para os agricultores no entorno daquela localidade, verificando o atendimento aos índices da OMS, USEPA e PROSAB. Os resultados obtidos foram positivos tendo em vista que o efluente tratado, analisado teoricamente e baseado no estado da arte, a depender do nível de eficiência adquirida ao longo do tratamento, atendeu os parâmetros analisados e as recomendações das agências regulamentadoras que norteiam este tema.

Palavras-chave: Reuso; Saneamento básico; Escassez hídrica; Irrigação; Sustentabilidade.

Abstract

Population growth and negative man-made environmental impacts on nature accelerate the reduction of water availability in certain regions. In this context, the reuse of treated sewage is a potential alternative, especially for agricultural activities. The municipality of Arapiraca, located in northeastern Brazil, stands out for its agricultural production, specifically in the Bananeiras pole, in its countrifields zone. Despite being inserted in a region of sub-humid tropical climate, the municipality has a picture of water scarcity. In this sense, the reuse of treated sewage may be a way of mitigating water scarcity and promoting agriculture in this locality. With the implementation of the municipality's basic sanitation system, this study aims to suggest a sustainable disposal for the planned Sewage Treatment Plant (STP). Thus, the potential for agricultural reuse of sewage treated at the STP was evaluated as a source of irrigation for farmers around that location, verifying compliance with the OMS, USEPA and PROSAB indexes. The obtained results were positive considering that the treated effluent,

theoretically analyzed and based on the state of the art, depending on the efficiency level acquired during the treatment, met the analyzed parameters and the recommendations of the regulatory agencies that guide this theme.

Keywords: Reuse; Basic sanitation; Water scarcity; Irrigation; Sustainability.

Resumen

El crecimiento de la población y los impactos ambientales negativos producidos por el hombre en la naturaleza aceleran la reducción de la disponibilidad de agua en ciertas regiones. En este contexto, la reutilización de las aguas residuales tratadas es una alternativa potencial, especialmente para las actividades agrícolas. El municipio de Arapiraca, ubicado en el noreste de Brasil, destaca por su producción agrícola, específicamente en el polo Bananeiras, en su zona rural. A pesar de estar inserto en una región de clima tropical subhúmedo, el municipio tiene una imagen de escasez de agua. En este sentido, la reutilización de las aguas residuales tratadas puede ser una forma de mitigar la escasez de agua y promover la agricultura en esta localidad. Con la implementación del sistema de saneamiento básico de la municipalidad, este estudio apunta a sugerir una disposición sostenible para la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (TAR) planificada. Por lo tanto, se evaluó el potencial de reutilización agrícola de las aguas residuales tratadas en la TAR como fuente de riego para los agricultores de esa ubicación, verificando el cumplimiento de los índices de la OMS, USEPA y PROSAB.. Los resultados obtenidos fueron positivos considerando que el efluente tratado, teóricamente analizado y basado en el estado del arte, dependiendo del nivel de eficiencia adquirido durante el tratamiento, cumplió con los parámetros analizados y las recomendaciones de las agencias reguladoras que guían este tema.

Palabras clave: Reutilizar; Saneamiento; Escasez de agua; Riego; Sostenibilidad.

1. Introdução

O crescimento populacional e os impactos ambientais negativos produzidos pelo homem na natureza, e, de forma mais específica, a degradação e poluição provocada nos mananciais aceleram a redução da disponibilidade de água em determinadas regiões. Com esse cenário, a preocupação com a escassez hídrica tem despertado o interesse de vários segmentos da sociedade contemporânea, tais como: indústria e agroindústria; paisagismo e recreação; abastecimento de água, construção civil, dentre outros.

Neste contexto, o reuso do esgoto tratado é uma alternativa bastante pertinente para a

problemática da escassez da água principalmente para as atividades agrícolas. Simplificadamente, o reuso consiste na reutilização dos efluentes gerados dos diversos usos da água nas atividades antrópicas como chuveiros, lavatórios, sanitários, lavagem de roupas, etc (Carvalho et al., 2015).

A principal vantagem do reuso além da economia de água é a redução de gastos com fertilizantes, com reflexos no aumento da matéria orgânica e a fertilidade dos solos. Outro benefício do emprego de esgotos sanitários tratados na agricultura está associado aos nutrientes (nitrogênio e fósforo), o que contribui para a melhoria da produtividade da lavoura e para a redução dos gastos com o uso de fertilizantes sintéticos, ressaltando-se que o balanceamento dos nutrientes seja mais difícil.

Por outro lado, um tratamento mal feito das águas residuárias pode ocasionar reduções significativas de produtividade agrícola. Além disso, um processo de correção inadequado dos parâmetros de pH e de fertilização do solo podem acarretar na salinização e alcalinização dos solos (Barroso & Wolf, 2011). Um fator negativo na utilização das águas de reuso é, como destacam Schaer-Barbosa et al. (2014), a disposição em aceitar os produtos assim cultivados. Isso acontece geralmente por falta de informação por parte da população da qualidade do efluente gerado no tratamento

De acordo com Telles (2011), a irrigação com o reuso de efluentes, deverá ser realizada de acordo com as suas finalidades, pois o reuso poderá ser subdividido em duas modalidades: irrestrito e restrito, onde aqueles produtos consumidos in natura pertencem ao primeiro grupo, restando para o segundo os insumos que são cozidos e ou manufaturados.

Diversos estudos já avaliaram a eficiência do reuso agrícola em diversos cenários e culturas, a exemplo dos trabalhos de Sousa et al. (2006), Medeiros et al. (2008), Carvalho et al. (2013), Xavier et al. (2014) e Cuba et al. (2015).

O município de Arapiraca-AL tem em seu plano diretor uma agenda XXI onde são traçados os desafios e metas de sustentabilidades, no qual está inserida a água de reuso para os seus mais variados usos. Tal meta está de forma análoga inserida no plano decenal deste município para contribuir, de forma direta na melhoria da qualidade de vida dos moradores desta cidade, garantindo que haja a conservação dos recursos hídricos do mesmo, e proporcione desta forma não só a melhoria da saúde pública, mas também o desenvolvimento sustentável para os seus respectivos municípios (Romão, 2012; Arapiraca, 2012).

O objetivo principal do estudo foi avaliar o reuso direto do esgoto tratado na Estação de Tratamento de Efluentes-ETE do riacho Piauí para a irrigação de algumas culturas, as quais serão identificadas in loco. O reuso direto da ETE para a irrigação se dá tanto pela

necessidade dos agricultores em obter uma maior quantidade dos recursos hídricos, quanto por ocasião do corpo hídrico receptor encontra-se totalmente poluído. Não podendo assim os agricultores utilizar da bacia Piauí para a irrigação das suas plantações.

2. Metodologia

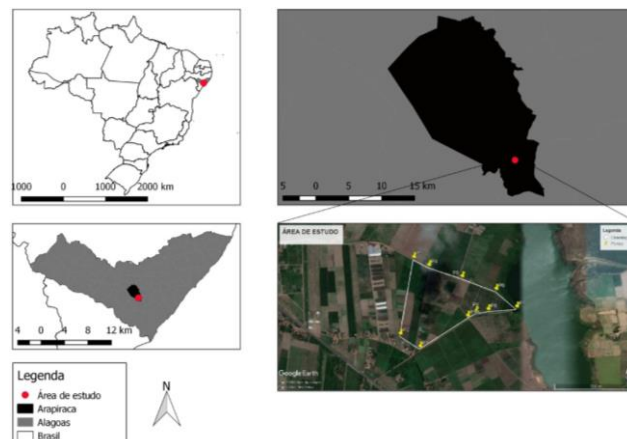
Classificação da pesquisa

A presente pesquisa se classifica como um estudo de caso, conforme descrições de Pereira et al., (2018), por se tratar de um estudo específico para uma localidade, com finalidade prática. Além disso, é considerada quali-quantitativa, em vista que os resultados apresentados, embora embasado em dados numéricos, representam aspectos qualitativos para aplicação prática.

Área de estudo

O município de Arapiraca está localizado na mesorregião Agreste do estado de Alagoas, nordeste brasileiro. A área de estudo, propriamente, consiste na zona de abrangência do Polo Bananeiras o qual é composto por quatro comunidades: Ingazeiras; Laranjal; Piauí e Vila Bananeiras. Com base nessas informações fora realizado a medição de um terreno o qual será utilizado como a amostra desse trabalho, terreno este que está localizado na comunidade Laranjal, cuja área útil para o plantio corresponde a aproximadamente 18,3 hectares de terra (Figura 1).

Figura 1 – Localização da área de estudo, destacando o município de Arapiraca e o Polo Bananeiras.



Fonte: O Autor (2020). Adaptado do Google Earth (2020).

Conforme Figura 1, é possível verificar que a área de estudo possui características agrícolas e se encontra às margens do Riacho Piauí, utilizado como destinatário do esgoto tratado proveniente da ETE – Riacho Piauí, do município de Arapiraca.

Caracterização da Estação de Tratamento de Efluentes- ETE do Riacho Piauí

A ETE do Riacho Piauí, localizada no município de Arapiraca – AL, foi dimensionada para atender 60% da população da cidade. No projeto original, está previsto que o efluente final da ETE seja lançado diretamente na Barragem Bananeiras. A ETE será do tipo Sistema Australiano de lagoas, seguido por tratamento terciário (lagoas de maturação). Serão construídos três módulos em paralelo com sistema preliminar composto por um gradeamento e caixa de areia.

Eficiência da ETE do riacho Piauí

A previsão da eficiência que a ETE riacho Piauí poderá alcançar, fundamenta-se por meio de parâmetros analisados por este estudo. Para estimativa teórica da concentração DBO_5 efluente de um sistema australiano de lagoas, mesmo sistema a ser implementado na ETE Riacho Piauí, foi utilizada a Equação 1.

$$DBO_{efl} = S_0 \left(1 - \frac{E}{100} \right) \quad (1)$$

Em que, DBO_{efl} é a concentração de DBO total efluente (mg/L), S_0 é a concentração de DBO total afluyente (mg/L) e E é a eficiência de remoção (%). De forma análoga, para encontrar o valor da concentração do NTK no efluente final se recomenda a Equação 2.

$$C_e = \frac{C_o}{1 + t(0,000567T - 0,00028) \cdot e^{(1,08 - 0,042T) \cdot (pH - 6,6)}} \quad (2)$$

Em que, C_o é a concentração do afluyente (mg/L), C_e é a concentração do efluente (mg/L), Q é a vazão do efluente (m^3/d), A é a área superficial da lagoa, T é a temperatura do líquido ($^{\circ}C$), pH é o pH na lagoa e t é o tempo de detenção hidráulico. Para a estimativa na remoção de organismos patogênicos, tendo em vista que a ETE em questão é composta por um sistema de lagoas de estabilização, o regime hidráulico adotado será o de mistura

completa (células iguais em série). Nesse caso, foi utilizada a Equação 3 (SPERLLING, 2002).

$$N = \frac{N_0}{(1 + K_b \cdot t)} \quad (3)$$

Em que, N_0 é a contagem de coliformes no afluente, N é a contagem de coliformes no efluente, K_b é o coeficiente de decaimento bacteriano (d^{-1}) e n é o número de lagoas em série. Foi realizada uma comparação de resultados entre as eficiências de tratamento de acordo com o projeto da ETE e o referencial teórico abordados pelos autores de renome nesta área. Para isso, foram criadas três categorias de tratamento variando a eficiência de tratamento, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1- Relação entre classe e o nível de eficiência.

Classe	Eficiência de Tratamento
A	Melhor situação de projeto
B	Média ponderada entre a pior e a melhor situação (eficiências) de projeto
C	Pior situação de projeto

Fonte: O Autor (2020)

É possível observar, de acordo com a Tabela 1, que as eficiências de tratamento variam da melhor situação (classe A), até a pior situação (classe C). A média ponderada entre essas situações resulta na classe B.

Após a avaliação da qualidade do efluente da ETE e a comparação com parâmetros de determinados órgãos para irrigação, foi realizado o dimensionamento da irrigação de uma área de plantio com aproximadamente 60 tarefas de terra.

Diagnóstico do reuso

O trabalho avaliou o potencial hídrico do efluente a montante da ETE riacho Piauí e a capacidade daquela zona predominantemente rural em absorver, senão todo, parte do esgoto tratado para o seu reuso em duas modalidades possíveis de acordo com os usos múltiplos mais adequados para aquela localidade (Polo Bananeiras).

Assim sendo, realizou-se uma visita *in loco* àquela região onde fora constatado que a irrigação, a piscicultura e a dessedentação animal são as atividades agrícolas mais usuais para aqueles moradores. No mais, e de forma semelhante ao referencial bibliográfico, foram identificados os tipos de culturas mais cultivadas naquela região. Os tipos de culturas a serem analisadas por esse estudo estão estreitamente ligadas a realidade atual do Polo Bananeiras, sendo elas: Maracujá Amarelo (*Passiflora edulis Sims*); Alface (*Lactuca sativa*) e Mandioca Brava (*Manihot esculenta Crantz*).

Nesses moldes, foram analisadas as necessidades hídricas das culturas, com intuito de identificar se a capacidade da vazão que a ETE riacho Piauí oferece pode suprir a demanda dos pequenos agricultores da área requerida. Além disso, os dados teóricos dos parâmetros analisados foram confrontados com as diretrizes propostas pela OMS, USEPA e o PROSAB.

3. Resultados e Discussão

Foi realizada uma análise na remoção dos parâmetros nitrogênio total, demanda bioquímica de oxigênio e coliformes termotolerantes. Deste modo, é importante salientar que para obter os resultados, foram utilizadas características de um afluente para três tipos de esgotos que são eles: esgoto forte, esgoto médio e o esgoto fraco. Assim sendo, na Tabela 2 são apresentadas as concentrações de cada parâmetro utilizado para seus respectivos tipos de esgotos.

Tabela 2 - Caracterização dos esgotos sanitários.

Parâmetro	Intensidade do Afluente		
	Forte	Médio	Fraco
DBO ₅ (mg/L)	400	220	110
NTK (mg/L)	85	40	20
(CTer)	10000000 NMP/100 mL	5500000 NMP/100 mL	1000000 NMP/100 mL

Fonte: O Autor (2020).

Conforme Tabela 2, se verifica a qualificação de intensidade do afluente, em relação aos parâmetros DBO₅ (mg/L), NTK (mg/L) e (CTer). Esses parâmetros são essenciais para definição da eficiência do tratamento do esgoto ao chegar a ETE.

O presente estudo levou em consideração as 3 etapas das lagoas de estabilização, uma vez que as lagoas são o objeto de estudo desse trabalho, fora isto, pode-se entender esses

resultados com um fator a mais de segurança na qualidade teórica do efluente final. Portanto, os resultados obtidos em cada lagoa representa o efluente da mesma, ou seja, esta mostrando os valores encontrados já contabilizados a eficiência na remoção dos parâmetros em análise.

Análise do parâmetro Nitrogênio Total (NTK)

Os resultados para a remoção do nitrogênio total no efluente e suas respectivas eficiências são mostrados na Tabela 3.

Tabela 3- Remoção do Nitrogênio (mg/L) para os diferentes tipos de esgotos.

Classe	Lagoa de Estabilização- Esgoto forte			Eficiência (%)
	Anaeróbia	Facultativa	Maturação	
A	78,29	47,65	37,05	56,41
B	79,86	55,9	47,43	44,20
C	81,05	66,75	62,3	26,71

Classe	Lagoa de Estabilização-Esgoto médio			Eficiência (%)
	Anaeróbia	Facultativa	Maturação	
A	36,81	22,40	17,42	56,45
B	37,58	26,3	22,31	44,22
C	38,35	31,58	29,47	26,32

Classe	Lagoa de Estabilização- Esgoto fraco			Eficiência (%)
	Anaeróbia	Facultativa	Maturação	
A	18,42	11,22	8,73	56,38
B	18,79	13,15	11,15	44,25
C	19,18	15,8	14,75	26,25

Fonte: O Autor (2020).

Logo, para os três tipos de esgotos (forte, médio, fraco) utilizados e submetidos ao tratamento no nível classe A a eficiência total foi de, aproximadamente, 56%, o que indica um efluente final com uma concentração de 17,42 mg/L.

Para o esgoto médio, o resultado esteve próximo aos 60% de eficiência mencionado por Sperlling (2002). Considerando a classe B, foi verificado o mesmo comportamento para os três tipos de esgotos (forte, médio, fraco), no entanto, com uma eficiência um pouco menor e entorno de 44%. Por último, a eficiência de remoção do NTK para os três tipos de esgotos (forte, médio, fraco), na classe C, foi bem abaixo, permanecendo na casa dos 26 %.

É importante ressaltar que o Nitrogênio tem restrições quanto ao seu descarte, segundo o CONAMA 430/2011, o qual não poderá ser lançado nenhum efluente no corpo hídrico com uma concentração maior que 20 mg/L em forma de Nitrogênio Amoniacal, ressalvados os

casos especiais. Porém, para o reuso o parâmetro NTK não foi restringido pelos órgãos regulamentadores analisados no presente trabalho. Pois, o mesmo é uma importante fonte nutritiva para o solo, sendo responsável pelo crescimento da cultura.

Logo, em solos com poucas concentrações deste elemento é requerido a fertilização nitrogenada (EMBRAPA, 2010). Entretanto, segundo Telles (2011), o nitrogênio em altíssimas concentrações pode retardar o amadurecimento das culturas provocando um crescimento excessivo do mesmo gerando o acamamento dos frutos.

Análise do parâmetro Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅)

Os resultados encontrados para remoção e eficiência na DBO₅ podem ser vistos na Tabela 4.

Tabela 4 - Remoção da DBO₅ (mg/L) para os diferentes tipos de esgotos.

Classe	Lagoa de Estabilização - Esgoto forte			Eficiência (%)
	Anaeróbia	Facultativa	Maturação	
A	120	18	3,6	99,1
B	160	32	9,6	97,6
C	200	50	20	95

Classe	Lagoa de Estabilização - Esgoto médio			Eficiência (%)
	Anaeróbia	Facultativa	Maturação	
A	66	9,9	1,98	99,1
B	88	17,6	5,28	97,6
C	110	27,5	11	95

Classe	Lagoa de Estabilização- Esgoto fraco			Eficiência (%)
	Anaeróbia	Facultativa	Maturação	
A	33	4,95	0,99	99,1
B	44	8,8	2,64	97,6
C	55	13,75	5,5	95

Fonte: O Autor (2020)

Os dados apresentados revelam a concentração da DBO₅ para o efluente final a ser descartada na bacia Piauí. Foi observado um resultado significativo no que se refere ao nível de eficiência para os três tipos de esgotos (forte, médio, fraco) com um percentual de 99,1 para a classe A. Esse nível de eficiência está dentro do esperado, uma vez que foi a melhor situação entre as classes investigadas.

Na classe B verificou-se um nível de eficiência bastante positivo com um decréscimo menor que 2%. Ademais, para a classe C o nível de eficiência encontrado foi de 95%, expressando de outra forma, o decréscimo em relação a classe A foi de aproximadamente 4 % e em torno de 2,5 % em relação a classe B. Em se tratando dos números absolutos da concentração da DBO₅ para o esgoto médio, os resultados revelam o valor de 1,98 mg/L para a classe A; 5,28mg/L para a classe B e 11mg/L para a classe C. Neste interesse, os resultados obtidos estão de acordo como o previsto, ou seja, a melhor situação de projeto (classe A) teve um melhor índice obtendo a menor concentração no parâmetro estudado.

Análise da remoção dos Coliformes Termotolerantes (CTer)

Os resultados da remoção de Coliformes Termotolerantes estão descritos na Tabela 5.

Tabela 5 - Remoção de Coliformes Termotolerantes (CTer/100 mL) para os diferentes tipos de esgotos.

Classe	Lagoa de Estabilização- Esgoto forte			Eficiência (%)
	Anaeróbia	Facultativa	Maturação	
A	4792326,4	233710,2	9675	99,9
B	6690789,3	2099208,9	481173	91,2
C	7964714,5	1441257,4	288774	94,7
Classe	Lagoa de Estabilização- Esgoto médio			Eficiência (%)
	Anaeróbia	Facultativa	Maturação	
A	2635779,5	128540,6	5321	99,9
B	6690789,3	2099208,9	264645	91,2
C	7964714,5	1441257,4	158825	94,7
Classe	Lagoa de Estabilização- Esgoto fraco			Eficiência (%)
	Anaeróbia	Facultativa	Maturação	
A	479232,6	23371	968	99,9
B	669078,9	209920,9	48117	99,1
C	796471,4	144125,7	28877	99,4

Fonte: O Autor (2020).

Como se observa na Tabela 5, os resultados estão em consonância com o apresentado pela literatura, uma vez que a eficiência desse tratamento varia de acordo com o TDH e a altura útil de cada lagoa. Deste modo, a classe A obteve a melhor eficiência, sendo ela, aproximadamente, 99,9% para os três tipos de esgotos (forte, média, fraco).

A classe B, por sua vez, apresentou a eficiência mais baixa, uma vez que, para obtenção dos resultados nesta seção foram utilizados os valores do memorial descrito de acordo com o Projeto de Erradicação de Vetores Endêmicos e Despoluição do Riacho Piauí do Município de Arapiraca-AL, tornando para este parâmetro a classe B a pior situação exigente. Pois, o TDH e a altura útil do projeto contribuem diretamente com esses resultados. Ainda, o nível de eficiência do mesmo para esta classe obteve 91,251 % (Arapiraca, 2015). Por outro lado, o nível de eficiência da classe C, para a remoção do CTer/100 mL, apresentou uma pequena vantagem em relação a classe B, apontando uma eficiência de 99,125 %.

Recomendações para o reuso agrícola da OMS

Os resultados obtidos neste trabalho para os três parâmetros (NTK, DBO₅, CTer), no efluente final da ETE riacho Piauí, foram comparados com as diretrizes e recomendações da OMS, como pode ser observado na Tabela 6.

Tabela 6 - Recomendações da OMS (2006) para o reuso agrícola.

<u>Modalidade</u>		<u>NTK (mg/L)</u>	<u>CTer / (100 mL)</u>	<u>DBO₅ (mg/L)</u>
Irrestrita	OMS	Não detectável	10 ³	Não detectável
Restrita		Não detectável	10 ⁵	Não detectável
Dados obtidos - Esgoto forte	Classe A	37,05	9675	3,6
	Classe B	47,43	481173	9,6
	Classe C	62,3	288774	20
Dados obtidos - Esgoto médio	Classe A	17,42	5321	1,98
	Classe B	22,31	264645	5,28
	Classe C	29,47	158825	11
Dados obtidos - Esgoto fraco	Classe A	8,73	968	0,99
	Classe B	11,15	48117	2,64
	Classe C	14,75	28117	5,5

Fonte: O Autor (2020).

Pode-se observar, na Tabela 6, que a OMS recomenda, para o reuso agrícola, valores não superiores ao de 10³ e 10⁵ CTer/100mL nas modalidades irrestrita e restrita, respectivamente, e não faz nenhuma restrição quanto aos parâmetros DBO₅ e o NTK. Todavia, o CONAMA, na sua resolução de n° 430/2011, define restrições para o parâmetro DBO₅ e o NTK (Brasil, 2011).

Sendo assim, conforme mostrado na Tabela 6, os resultados encontrados para o esgoto forte foram desfavoráveis ao reuso na irrigação irrestrita, pois, os resultados obtidos para os três níveis de eficiências de acordo com as suas respectivas classes foram superiores ao exigido pela OMS que são eles: 9.675 CTer/100mL (classe A); 481.173 CTer/100mL (classe B) e 288.774 CTer/100mL. Logo, não poderá ser feito o reuso para a irrigação das culturas consumidas cruas, isto é, o maracujá amarelo e a alface não deveram ser irrigados com este efluente (esgoto forte) de acordo com as diretrizes da OMS.

Seguindo o mesmo raciocínio, de acordo com a Tabela 6, os resultados obtidos, independentemente da classe, para um afluente do tipo esgoto médio, não foram positivos. Em se tratando da modalidade de reuso irrigação irrestrita, ou seja, os resultados encontrados: 5.321 CTer/100mL (classe A); 264.645 CTer/100mL (classe B) e 158.825 CTer/100mL; não atendem as recomendações para esta categoria de irrigação, pois, todos os valores calculados são maiores do que o teto máximo (1000 CTer/100mL) definido pela OMS.

De forma análoga, ao analisar o afluente do tipo esgoto fraco, foram constatados para as classes B e C, resultados maiores que o permitido. No entanto, para a classe A o resultado obtido para o esgoto tratado se enquadra nos padrões admitidos pela OMS. O efluente final deverá sair com 968 CTer/100mL. Desta maneira, para esse tipo de esgoto (fraco) e nível de eficiência 99,90%, os resultados indicam a viabilidade de irrigar as três culturas analisadas.

Entretanto, analisando a modalidade do reuso na irrigação restrita, foram obtidos valores mais significativos, como esperado, uma vez que, para essa categoria, as recomendações da OMS são bem mais brandas. Assim sendo, para os três tipos de esgotos (forte, médio, fraco) no nível classe A o efluente final poderá ser utilizado para a irrigação da mandioca, alface e o maracujá amarelo, tendo em vista que alcançou uma eficiência atendida pelos padrões da OMS.

Recomendações da USEPA para o reuso agrícola

As recomendações da USEPA limitam as concentrações da DBO₅ e de coliformes termotolerantes ao ser lançada no corpo hídrico, as quais podem ser visualizadas na Tabela 7.

Tabela 7- Recomendações da USEPA para o reuso agrícola.

Modalidade	OMS	NTK (mg/l)	CTer / (100 ml)	DBO₅ (mg/l)
Irrestrita		Não detectável	14	10
Restrita		Não detectável	200	30
Dados obtidos Esgoto forte	Classe A	37,05	9675	3,6
	Classe B	47,43	481173	9,6
	Classe C	62,3	288774	20
Dados obtidos Esgoto médio	Classe A	17,42	5321	1,98
	Classe B	22,31	264645	5,28
	Classe C	29,47	158825	11
Dados obtidos Esgoto fraco	Classe A	8,73	968	0,99
	Classe B	11,15	48117	2,64
	Classe C	14,75	28117	5,5

Fonte: O autor, 2020.

Observa-se que as recomendações da USEPA são bem mais restritivas, principalmente em relação ao CTer, em que a tolerância é por volta de 1000 vezes menor em para a modalidade irrestrita e 10000 vezes menor para a modalidade restrita em comparação à exigência da OMS (Tabela 6).

Para a modalidade de irrigação restrita, todos os tipos de esgotos (forte, médio, fraco), analisados neste estudo, adicionado a todas as classes (A, B, C), obtiveram resultados positivos. Na modalidade irrestrita, para os níveis de eficiência das classes A e B, se utilizando dos tipos de afluente esgoto forte e médio; tem-se uma estimativa teórica do efluente no parâmetro DBO₅ capaz de atender as diretrizes recomendadas pela USEPA.

Desta forma, para estes casos os resultados obtidos ficaram abaixo do teto máximo permitido, o qual a USEPA recomenda que a concentração do mesmo seja de até 10 mg/L. Para uma afluente do tipo esgoto fraco em todas as classes (A, B, C) os resultados obtidos foram satisfatórios, e são eles: 0,99 mg/L (classe A); 2,64 (classe B) mg/L; e 5,5 mg/L (classe C) respectivamente.

Recomendações do PROSAB para o reuso agrícola

Os resultados obtidos e as recomendações do PROSAB para o reuso do esgoto tratado estão expostas na Tabela 8 (Florencio et al, 2006). Como é possível observar, as recomendações do PROSAB (2006) limitam-se sobre a concentração do CTer, sendo ela um

pouco mais branda do que as recomendações da USEPA (2002), porém mais rígida se comparado com as diretrizes da OMS (2006), pois possui uma tolerância 10 vezes menor para ambas as modalidades,.

Tabela 8 - Recomendações do PROSAB para o reuso agrícola.

Modalidade	OMS	NTK (mg/l)	CTer / (100 ml)	DBO₅ (mg/l)
Irrestrita		Não detectável	1000	Não detectável
Restrita		Não detectável	10000	Não detectável
Dados obtidos Esgoto forte	Classe A	37,05	9675	3,6
	Classe B	47,43	481173	9,6
	Classe C	62,3	288774	20
Dados obtidos Esgoto médio	Classe A	17,42	5321	1,98
	Classe B	22,31	264645	5,28
	Classe C	29,47	158825	11
Dados obtidos Esgoto fraco	Classe A	8,73	968	0,99
	Classe B	11,15	48117	2,64
	Classe C	14,75	28117	5,5

Fonte: O autor, 2020.

Na modalidade irrigação irrestrita, apenas para o tipo de esgoto fraco, em um nível classe A, ou seja, apenas na melhor situação de projeto, poderá ser utilizado este esgoto tratado na irrigação das culturas: mandioca, maracujá amarelo e a alface.

Entretanto, na modalidade irrigação restrita, fora identificado um melhor resultado. Pois, para os três tipos de esgotos (forte, médio, fraco), se valendo da melhor situação de projeto (classe A), são atendidas as recomendações do PROSAB (Florencio et al, 2006). Com base nessas informações, pode-se concluir que para esta modalidade o reuso do efluente em análise pode ser utilizado como fonte de suprimento para a irrigação do maracujá amarelo, alface e na mandioca.

Estudo da capacidade hídrica da ETE riacho Piauí para as necessidades das culturas em análise

A vazão média inicial da ETE riacho Piauí será de 165 L/s, enquanto que a vazão média final será de 279 L/s. De acordo com esses dados, foram calculadas as necessidades hídricas das três culturas em análise, adotando como referência dados da EMBRAPA (2014), o qual

essa vazão da ETE riacho Piauí irá contribuir, caso seja aproveitado o efluente da mesma para o reuso agrícola na área escolhida para a análise.

Sendo assim, para o cultivo da mandioca, de acordo com o estudo citado, são necessários para um ciclo de 18 meses um volume de 2250 mm de água. Desta forma, para atender as necessidades hídricas da mandioca, em uma plantação de 18,33 hectare, serão necessários 412.425.000 litros no seu ciclo, ou seja, nos 18 meses.

Para tanto, a vazão fornecida pela ETE riacho Piauí para o final de plano corresponde a 279 l/s, logo em um dia, a mesma jorra 23.328.000 Litros. Deste modo, com a utilização do efluente final total para uma área irrigada de 18,33 hectares seriam necessários apenas aproximadamente 18 dias para obter a necessidade hídrica da mandioca.

Em seguida, fora feito uma análise para a necessidade hídrica do maracujá face aos resultados da vazão da ETE. De acordo com a EMBRAPA (2001) o ciclo do maracujá varia de 6 a 9 meses, e sua necessidade hídrica varia entorno de 940 mm/ano. Sendo assim, optando por um ciclo de 9 meses tem-se que a necessidade hídrica da cultura corresponde a 705 mm/ano.

Para uma área irrigada de 18,3 hectares e uma necessidade hídrica de 705 l/m² para a cultura do maracujá, o ciclo do mesmo necessita de 129.226.500 litros de água. Logo, a vazão média final da ETE riacho Piauí atenderia essa necessidade em apenas 5, 5 dias.

Por fim, para a cultura da alface de acordo com o Paulino et al (2009) precisa de 92,5 mm para o seu ciclo, cerca de 80 dias. Neste sentido, para um ciclo total de 92mm e uma área de plantação de 18,3 hectares são necessários 16.927.500 litros de água para irrigação em um ciclo completo da alface. Assim sendo, a vazão da ETE riacho Piauí precisaria de apenas 0,725 dia, ou seja, em menos de um dia a capacidade da ETE riacho Piauí supriria as necessidades hídricas do cultivo da alface para área estudada.

Portando, o potencial hídrico para os agricultores no polo Bananeiras iria obter números bastante significativos melhorando a safra dos moradores daquelas comunidades, caso viesse a ser utilizado o efluente para o reuso agrícola.

4. Considerações Finais

A análise realizada permitiu identificar que o reuso do esgoto tratado em um sistema australiano, para fins agrícolas, em especial para maracujá amarelo, alface e mandioca, apresenta grande potencial.

Foram observadas as diretrizes da OMS, USEPA e PROSAB para padrões de qualidade de água de reúso de esgotamento para agricultura. Assim, o esgoto de nível classe A atendeu as diretrizes da OMS. Além disso, todos os níveis estiveram em valores abaixo da recomendação da USEPA, sendo também satisfatórios em relação aos índices do PROSAB.

Em relação à vazão efluente e a necessidade hídrica das culturas do Polo Bananeiras, foi visto que o volume de água aproveitável resultante do tratamento do esgoto é suficiente para o desenvolvimento das culturas estudadas, ou seja, garantindo uma redução do consumo de água local.

Portanto, recomenda-se a aplicação do reúso de água de esgoto tratado para os fins agrícolas na região e a disseminação de mais estudos que possam contemplar demais regiões, no intuito de preservar os recursos hídricos, principalmente em regiões com problemas de escassez.

Como possibilidade de pesquisas futuras, sugere-se a avaliação na prática do potencial do reúso de água de esgoto tratado em uma cultura de escala industrial, obtendo dados tanto dos efluentes, como da qualidade das culturas irrigadas e da economia real de água com essa prática.

Referências

Arapiraca. (2015). *Projeto de Complementação das Obras e Serviços de Infraestrutura para Erradicação de Vetores Endêmicos e Despoluição do Riacho Piauí*. Prefeitura Municipal de Arapiraca.

Brasil. (2011). *Resolução CONAMA N° 430. Conselho Nacional do Meio Ambiente*. Ministério do Meio Ambiente, Brasília – DF.

Carvalho, NL, Barcellos, AL & Hentz, P. (2015). Tecnologias para reutilização de águas residuárias. *Revista Gestão e Desenvolvimento em Contexto – GEDECON*, Ed. Especial, 16 – 31.

Cuba, RS, Carmo, JR, Souza, CF, Bastos, RG. (2015). Potencial de efluente de esgoto doméstico tratado como fonte de água e nutrientes no cultivo hidropônico de alface. *Revista Ambiente & Água*, 10(3): 574 – 586.

Embrapa. (2001) Irrigação e Fertirrigação do Maracujazeiro. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Teresina, PI: Embrapa Meio-Norte.

Embrapa. (2010). Manejo de Irrigação e Fertilização Nitrogenada para a Cultura do Algodão na Região do Cerrado. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados.

EMBRAPA. (2014). Sistemas de Produção. Recuperado de <https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/>.

Florencio, L et al. (2006). Tratamento e Utilização de Esgotos Sanitários. Rio de Janeiro: ABES.

Paulino, MAO et al. (2009). Manejo da Água no Cultivo de Alface Irrigado pelo Sistema de Microaspersão. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, Fortaleza, 3(1): 22-29.

Pereira, AS, Shitsuka, DM, Parreira, FJ & Shitsuka, R. (2018). *Metodologia da pesquisa científica*. [e-book]. Santa Maria. Ed. UAB/NTE/UFSM. Recuperado de https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/15824/Lic_Computacao_Metodologia-Pesquisa-Cientifica.pdf?sequence=1.

Romão, SRL. (2016). A Cidade do Futuro: Agenda 21 Arapiraca. Maceió: IDEARIO, 2008. SABESP. Relatório de Sustentabilidade. 2012. Recuperado de http://site.sabesp.com.br/uploads/file/asabesp_doctos/sabesp_rs_2012_portugues.pdf.

Schaer-Barbosa, M, Santos, MEP, Medeiros, YDP. (2014). Viabilidade do reúso de água como elemento mitigador dos efeitos da seca no semiárido da Bahia. *Revista Ambiente & Sociedade*, 17(2): 17 – 32.

Sperling, MV. (2002) Lagoas de Estabilização: Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias. 2.ed. Belo Horizonte: Editora UFMG.

Telles, DD. (2011). Aspectos da utilização de corpos d'água que recebem esgoto sanitário na irrigação de culturas agrícolas. In: NUVOLARI, A. Esgoto sanitário: coleta, transporte, tratamento e reuso agrícola. São Paulo: Blucher, 508-528.

Xavier, JF, Azevedo, CAV, Beltrão, NEM, Fernandes, JD, Lima, VLA. (2014). Cultivo da mamoneira sob diferentes tipos de águas residuárias e de abastecimento e níveis de água no solo. Revista Caatinga, 27(3): 11 – 21.

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

Ewerthon José Corrêa de Oliveira – 25%

Antônio Oliveira Netto – 20%

Jeisiane Isabella da Silva Alexandre – 15%

Vitor Hugo de Oliveira Barros – 15%

José Martins de França Neto – 15%

Lívia Maria Alves Lino Acioly de Carvalho – 10 %