

II-199 – PROCESSOS DE TRATAMENTO BIOLÓGICO E FÍSICO-QUÍMICO COMBINADOS VISANDO O REÚSO DE ESGOTO SANITÁRIO

Gabriela Laila de Oliveira⁽¹⁾

Engenheira Ambiental pela Universidade Estadual do Centro Oeste. Mestre em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Doutoranda em Hidráulica e Saneamento na EESC/USP.

Luiz Antônio Daniel⁽²⁾

Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Minas Gerais. Mestre e Doutor em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, Professor da Escola de Engenharia de São Carlos - USP

Endereço⁽¹⁾: Av. Trabalhador São-Carlense, 400; CEP:13566-560, São Carlos – SP - Brasil - Tel: +55 (16) 3373 9515- e-mail: gabipalhuzi@sc.usp.br.

RESUMO

Este trabalho teve por objetivo avaliar a combinação de processos de tratamento de esgoto e a partir dos efluentes produzidos com diferentes padrões de qualidade elencar as possibilidades para reúso. Foi utilizado efluente de unidade de tratamento de esgoto da Universidade de São Paulo, incluindo efluente do reator UASB e Lodo Ativado com posterior tratamento físico-químico (coagulação, floculação e sedimentação), através de ensaios de bancada (Jar Test) utilizando-se sulfato de alumínio e cloreto férrico como coagulantes para ambos efluentes. Realizou-se ensaios preliminares de tratabilidade a fim de verificar melhores dosagens e parâmetros de ensaio. A dosagem de sulfato de alumínio foi de 170 mg/l para os ensaios com os dois efluentes e de cloreto férrico foi de 20 mg/l para o ensaio com efluente do lodo ativado e 80 mg/l para o efluente do reator UASB. Em todos os ensaios foram utilizados os mesmos parâmetros de mistura rápida (Gm de 800 s⁻¹ e Tm de 30s), floculação (Gf de 40 s⁻¹ e Tf de 25 min) e velocidade de sedimentação (Vs de 1cm/min). Variáveis como DQO, turbidez, nutrientes (fósforo e nitrogênio) e dureza foram determinadas. Os exames para quantificação de microrganismos indicadores de patogênicos foram feitos devido sua importância para o reúso de efluentes tratados. Ao final de cinco ensaios de bancada de tratamento combinado, os resultados foram comparados com a legislação internacional (USEPA, 2004 e OMS, 2006) afim de verificar as possibilidades de reutilização do efluente tratado.

PALAVRAS-CHAVE: Coagulação de esgoto, Reúso, Água residuária.

INTRODUÇÃO

A resolução CONAMA nº 430/2011 (BRASIL, 2005) estabelece padrões mínimos para descarte de efluentes. No entanto, apesar de os processos de tratamento de esgoto serem eficazes para a remoção de matéria orgânica e de nutrientes, estes, muitas vezes, apresentam-se em concentrações significativas mesmo após o tratamento, sendo inviável o descarte em corpos d'água. A disposição de efluentes com concentrações elevadas de nutrientes (principalmente nitrogênio e fósforo) em corpos d'água pode dar origem ao processo de eutrofização, causando danos ao meio ambiente.

Neste contexto, a reutilização de efluentes tratados pode ser uma alternativa para minimizar a disposição destes em corpos d'água. Com isso, dependendo do seu grau de qualidade, esta água poderá ser reutilizada de forma benéfica em diversas atividades, substituindo total ou parcialmente a água potável usada em usos menos nobres. Apresenta-se, nesse trabalho, a avaliação da combinação de processos de tratamento de esgoto e as possibilidades para reúso do efluente, considerando diferentes padrões de qualidade de água para reúso.

MATERIAL E MÉTODOS

Neste estudo foi utilizado efluente de unidade de tratamento de esgoto, em escala experimental, da Universidade de São Paulo, Campus da USP – São Carlos, incluindo efluente do reator UASB, com tempo de detenção hidráulica (TDH) estimado de 10 a 12 horas, seguido do Lodo Ativado, com TDH e idade do lodo de

6 horas e 20 dias, respectivamente. O tratamento físico-químico foi feito em escala de bancada (jarteste) utilizando-se sulfato de alumínio e cloreto férrico como coagulantes.

Dessa forma, foram obtidas quatro combinações de tratamento diferentes, sendo as seguintes: efluente do reator UASB tratado com sulfato de alumínio (UASB - $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$), efluente do reator UASB tratado com cloreto férrico (UASB - FeCl_3), efluente do lodo ativado tratado com sulfato de alumínio (Lodo Ativado - $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) e efluente do lodo ativado tratado com cloreto férrico (Lodo Ativado - FeCl_3).

Foram realizados ensaios preliminares afim de definir as dosagens dos coagulantes e pH de coagulação mais adequados para cada tratamento. Na Tabela 1 estão apresentados os valores das dosagens dos coagulantes e pH de coagulação em cada um dos tratamentos propostos. Em todos os ensaios foram utilizados os mesmos parâmetros de mistura rápida (gradiente de mistura rápida de 800 s^{-1} e tempo de mistura rápida de 30s), floculação (gradiente de floculação de 40 s^{-1} e tempo de floculação de 25 minutos) e velocidade de sedimentação (1 cm/min), definidos com base em dados da literatura.

Após os ensaios preliminares, em laboratório, as amostras do tratamento combinado foram submetidas à análises físicas, químicas e microbiológicas, apresentadas na Tabela 2, tendo por base o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA; AWWA; WEF, 1998), exceto para *E.coli* e coliformes totais, com procedimentos adaptados de Lorenção (2009) *apud* Medeiros (2010).

Tabela 1 – Dosagens de coagulante e pH de coagulação definidos nos ensaios preliminares para tratamento físico-químico com jarteste das amostras de UASB e lodo ativado com dois coagulantes.

Amostra	Coagulante	Dosagem (mg/L)	pH de coagulação
UASB	Sulfato de alumínio	170	6,8 a 7,0
UASB	Cloreto férrico	170	6,0 a 6,5
Lodo Ativado	Sulfato de alumínio	20	7,0 a 7,5
Lodo Ativado	Cloreto férrico	80	6,0 a 6,5

Nota: Apesar de a dosagem de sulfato de alumínio no tratamento combinado com lodo ativado ser de 20 mg/L (dado esse definido com os ensaios preliminares) observou-se no decorrer dos cinco ensaios desse tratamento combinado (lodo ativado - $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) que essa dosagem poderia ter sido maior para melhor desempenho do tratamento.

Ao final de cinco ensaios físico-químicos (jarteste) e análises das amostras (ver Tabela 2), foram estudadas diferentes possibilidades de reutilização do esgoto tratado, conforme legislação internacional (USEPA, 2004 e OMS, 2006), uma vez que no Brasil ainda não existem normas específicas para reúso de esgoto sanitário tratado.

RESULTADOS

Na Tabela 2 estão apresentadas as médias referentes às variáveis analisadas para cada tratamento proposto no presente trabalho, referentes a cinco ensaios de bancada em jarteste.

Observa-se na Tabela 2, que os valores de pH das amostras do afluente e dos efluentes, inclusive dos tratamentos combinados, variaram em faixas relativamente estreitas. Verifica-se também, que a alcalinidade média gerada no reator UASB manteve-se em concentração elevada. No entanto, a alcalinidade gerada no reator anaeróbio, muito provavelmente, foi devido à decomposição de compostos orgânicos presentes no afluente, de modo que contribuiu para a estabilidade do pH.

Por outro lado, no sistema de lodo ativado houve variação brusca de alcalinidade, comparada ao reator UASB. Esse consumo de alcalinidade no sistema de lodo ativado é devido, muito provavelmente, ao processo de nitrificação que ocorre quase que sistematicamente nas estações de lodos ativados operadas nas condições em que os ensaios foram realizados (condições de OD elevada, temperatura adequada e idade do lodo grande). O processo de nitrificação não resulta na remoção do nitrogênio, mas sim da conversão da amônia a nitrato, ou seja, a oxidação da amônia a nitrito e posteriormente a nitrato, com consumo de oxigênio livre (dissolvido) e também geração de H^+ . Portanto, o processo de nitrificação que comumente ocorre em sistemas de lodo ativado justifica o consumo de alcalinidade no sistema.

É possível constatar, pelos resultados apresentados na Tabela 2, a tendência de diminuição dos valores de DQO do afluente para o efluente final do sistema de tratamento de esgoto. Entre as amostras do tratamento físico-químico observou-se uma oscilação nos valores de DQO de acordo com o coagulante usado, de modo que houve resultados distintos entre os tratamentos. Dentre os tratamentos físico-químicos, o tratamento combinado lodo ativado – FeCl_3 foi o que forneceu melhor resultado de remoção de DQO. Apesar do melhor desempenho do coagulante cloreto férrico, o sulfato de alumínio também contribuiu de maneira relativamente significativa na remoção de matéria orgânica.

Tabela 2 – Resumo dos valores médios de cada variável analisada.

Tratamento/ Variável	Afluente	UASB	Lodo Ativado (decantador)	UASB - $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	UASB - FeCl_3	Lodo Ativado - $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	Lodo Ativado - FeCl_3
pH	6,6	7,1	7	7,1	7	7,2	6,3
AP ⁽¹⁾ (mg CaCO_3/L)	100	221	58	187	179	61	46
AT ⁽²⁾ (mg CaCO_3/L)	187	263	59	201	187	52	39
DQOt ⁽³⁾ (mg/L)	736	322	147	149	154	127	101
DQOf ⁽⁴⁾ (mg/L)	320	133	85	71	91	73	51
COD ⁽⁵⁾ (mg/L)	128	48	14	44	38	12	14
Turbidez (NTU)	199,8	133,2	21,3	24,8	19,2	13,2	5,9
Cor aparente (uC)	947,8	738,8	220	165,6	171,8	172,7	99
Cor verdadeira (uC)	97	106	70	34,6	33,8	56	25,4
SST ⁽⁶⁾ (mg/L)	195,0	103,0	33,0	34,0	22,5	22,0	15,0
SSF ⁽⁷⁾ (mg/L)	20,8	10,7	2,4	8,4	4,7	5,8	6,4
SSV ⁽⁸⁾ (mg/L)	174,3	191,9	31,1	27,2	17,8	19,1	10,2
Dureza (mg CaCO_3/L)	46	43	48	46	49	55	52
Fósforo (mg P/L)	7,2	7,6	6,2	3,9	0,8	4,2	1,1
N - NTK ⁽⁹⁾ (mg/L)	69	73	33	65	63	30	32
N - amoniacal (mg/L)	52	63	28	61	62	27	27
<i>E. coli</i> (UFC/mL)	$6,54 \times 10^5$	$7,9 \times 10^4$	$2,5 \times 10^3$	$3,4 \times 10^3$	$2,8 \times 10^3$	$3,18 \times 10^2$	$4,31 \times 10^2$
CT ⁽¹⁰⁾ (UFC/mL)	$1,61 \times 10^6$	$1,27 \times 10^5$	$9,54 \times 10^3$	$1,16 \times 10^5$	$5,04 \times 10^4$	$4,74 \times 10^3$	$7,68 \times 10^3$

Nota: (1) alcalinidade parcial; (2) alcalinidade total; (3) demanda química de oxigênio total; (4) demanda química de oxigênio da amostra filtrada; (5) carbono orgânico dissolvido; (6) sólidos suspensos totais; (7) sólidos suspensos fixos; (8) sólidos suspensos voláteis; (9) nitrogênio total Kjeldahl; (10) Coliformes Totais.

O sistema de lodo ativado combinado com processo físico-químico também foi eficiente na remoção de COD, apresentando valores médios abaixo de 15 mg/L independente do coagulante, contudo o tratamento combinado Lodo Ativado - $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ foi o melhor.

A remoção de turbidez nos tratamentos propostos apresentou-se bastante significativa, sendo que o tratamento físico-químico foi importante para a remoção desta variável, como já era esperado. Observa-se que o tratamento combinado lodo ativado - FeCl_3 foi, mais uma vez, o mais eficiente. Contudo, a Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005) admite turbidez de até 40 NTU para lançamento de efluentes em rio classe I. Portanto, pode-se concluir que, considerando a turbidez, todos os tratamentos estudados, exceto esgoto bruto e efluente do reator UASB, possuem condições apropriadas para o lançamento em rio classe I.

O esgoto afluente também apresentou valor médio elevado de cor aparente, permanecendo elevado mesmo após o tratamento anaeróbio (reator UASB), de modo que o sistema de lodo ativado teve papel fundamental na remoção de cor atingindo valores médios de 220 uC de cor aparente e 70 uC de cor verdadeira. No tratamento físico-químico, houve diferença entre os coagulantes no tratamento combinado com amostra do efluente do sistema de lodo ativado, sendo que o cloreto férrico foi mais eficiente, com cor aparente e cor verdadeira de, respectivamente, 99 uC e 25,4 uC. Para a amostra do reator UASB o cloreto férrico e sulfato de alumínio tiveram desempenho semelhantes, conforme apresentado na Tabela 2.

Na Figura 1 estão representados os valores de sólidos suspensos totais durante os cinco ensaios realizados com tratamento combinado. Observa-se, pela Figura 1, que a maior fração de sólidos suspensos corresponde a fração orgânica (SSV), e apesar das maiores concentrações de SSV ocorrerem no tanque de aeração (TA) do sistema de lodo ativado, em todos os cinco ensaios, a concentração de SSV ainda não foi satisfatória para atingir a máxima eficiência do sistema.

Entretanto, verifica-se que o pós-tratamento de lodo ativado atingiu eficiência média de remoção de SST em torno 90%. Dentre os tratamentos físico-químicos o tratamento combinado Lodo Ativado – FeCl_3 atingiu valor de 10 mg/L de SSV, ou seja, em torno de 93% de eficiência, sendo este o tratamento que teve melhor desempenho em termos de remoção de SSV.

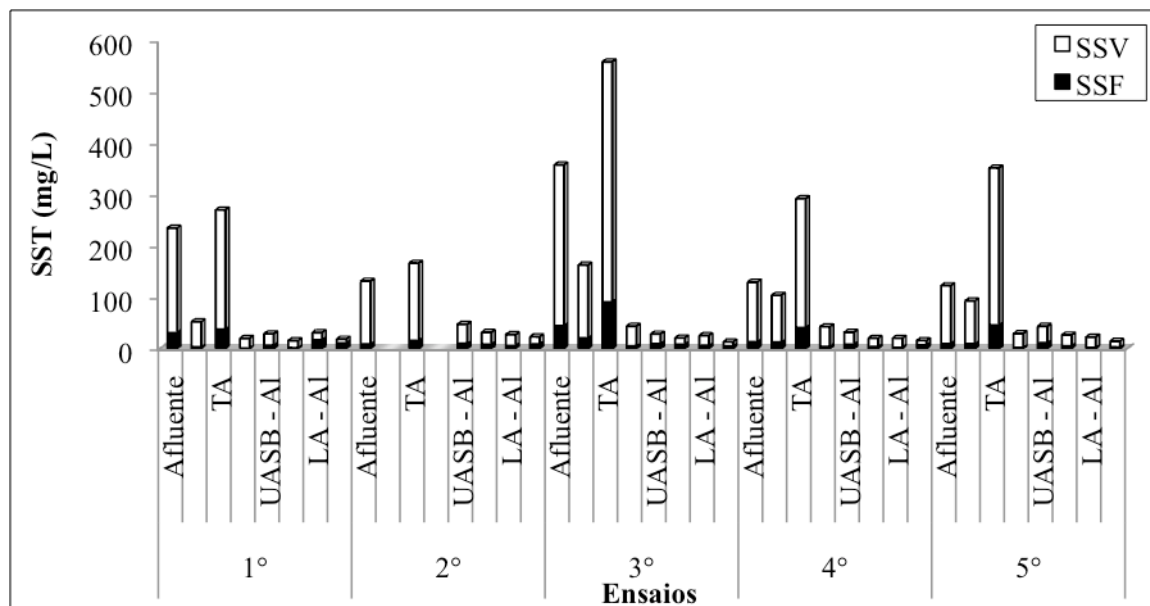


Figura 1 - Sólidos suspensos totais durante os ensaios de tratamento combinado.

Em geral, as unidades de tratamento contribuíram para o aumento da concentração de dureza carbonato, associada a CO_3^{2-} , conforme é verificado na Tabela 2. De acordo com MORAIS (2008) a dureza indica a concentração de cátions multivalentes em solução na água, de modo que os cátions mais frequentemente associados à dureza são os de cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}) e em menor escala o ferro, manganês, estrôncio (Sr^{2+}) e alumínio (Al^{3+}), o que provavelmente justifica o aumento de dureza após os tratamentos, principalmente o tratamento físico-químico com sais de alumínio e ferro. Contudo, isso é válido se a precipitação dos sais de Al e Fe na forma de hidróxidos não ocorrerem satisfatoriamente.

Entretanto, interpretando os resultados, em termos de tratamento os valores obtidos demonstraram estar dentro do limite para dureza moderada (50 e 150 mg CaCO_3/L) no caso dos tratamentos Lodo Ativado - $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ com 55 mg CaCO_3/L e Lodo Ativado - FeCl_3 com 52 mg CaCO_3/L e os demais tratamentos estão dentro do limite para água mole (<50 mg CaCO_3/L). É extremamente importante a interpretação desses resultados quando se refere a atividades de reúso, principalmente, reúso industrial. Não há evidências de que a dureza cause problemas sanitários, porém pode causar incrustações nas tubulações de água quente, caldeiras e aquecedores devido à maior precipitação nas tubulações de água quente.

Em relação à remoção de nutrientes, é possível verificar que o tratamento biológico, principalmente o reator UASB, não foi eficiente na remoção de fósforo, sendo que este resultado já era esperado, pois, embora sejam eficientes na remoção de matéria orgânica biodegradável, os sistemas anaeróbios, praticamente, apresentam nenhuma eficiência de remoção de N e P. Em geral, o efluente do reator anaeróbio apresenta relação N/DQO e P/DQO bem superiores aos valores desejados (CHERNICHARO, 1997). Além disso, quando é desejada a remoção de fósforo, o uso de reator anaeróbio não é recomendável, por dois motivos: (1) o efluente do reator anaeróbio apresenta relação P/DBO mais elevada que a do esgoto bruto, prejudicando o desempenho do sistema biológico para remoção de fósforo, e (2) caso o lodo gerado no tratamento biológico para remoção de fósforo, seja encaminhado ao reator anaeróbio, para a sua estabilização, sob tais condições anaeróbias haverá

liberação de fósforo incorporado a esse lodo, que também sairá no efluente do reator anaeróbio (ALEM SOBRINHO E JORDÃO, 2001; CHERNICHARO, 1997). Por isso, o ideal é um pós-tratamento físico-químico, com adição de produtos químicos, geralmente sais de alumínio ou ferro, como é o caso dos tratamentos combinados, que apresentaram valores de fósforo bem inferiores ao do esgoto bruto, com destaque para o tratamento UASB-FeCl₃ que atingiu a concentração mais baixa de fósforo, de 0,8 mg/L.

O sistema de lodo ativado, por sua vez, também não contribuiu muito com a remoção de fósforo, por outro lado, foi o sistema de tratamento biológico e combinado (independente do coagulante) que mais se destacou na remoção de nitrogênio. Obviamente, que essa redução na concentração de N no sistema de lodo ativado se deve, principalmente, a oxidação do N - amoniacal a nitrito e, posteriormente a nitrato pelo processo de nitrificação.

No caso dos exames microbiológicos, observa-se na Tabela 2, que o tratamento combinado Lodo Ativado - Al₂(SO₄)₃ e Lodo Ativado - FeCl₃ foram os que forneceram maior remoção de *E.coli* e coliformes totais, em torno de 3 log cada. No entanto, embora tenha ocorrido a remoção destes microrganismos, esta foi ainda insatisfatória, uma vez que em todos os tratamentos a remoção não foi a mais adequada, pois busca-se efluente praticamente ausente de microrganismos patogênicos (neste caso avaliados pelos microrganismos indicadores coliformes totais e *E. coli*) para melhor reutilizar o efluente tratado.

Contudo, observa-se que o cloreto férrico foi o coagulante que forneceu o melhor desempenho, apresentando melhores resultados tanto no tratamento com efluente do reator UASB quanto com o efluente do lodo ativado. No entanto, mesmo os resultados do melhor tratamento - lodo ativado - FeCl₃ - não atenderam os padrões internacionais para reutilização de águas residuárias tratadas, considerando, principalmente, as três principais categorias de reúso, sendo elas o reúso agrícola, urbano e industrial, de acordo com padrões internacionais.

Nos EUA, a configuração dos padrões para a reutilização de águas residuárias é uma responsabilidade de cada estado, o qual segue padrões diferentes, de modo que especificam requisitos mínimos de tratamento e/ou especificam padrões de qualidade da água residuária. De modo geral, quando a exposição pública sem restrições é provável na atividade de reutilização, um grau elevado de tratamento da água residuária é exigido antes da sua aplicação. No entanto, quando a exposição não é provável, um menor nível de tratamento é aceitável. Contudo, estes padrões tem influenciado diversos outros países, principalmente os padrões em uso no estado da Califórnia.

As diretrizes disponibilizada pela USEPA são para reúso urbano restrito, reúso agrícola em culturas não alimentares, reúso recreativo irrestrito e reúso industrial entre outras categorias e foram comparadas com os valores obtidos neste trabalho após cada tratamento proposto. Na Tabela 3 estão apresentadas apenas algumas sugestões para o reúso de efluentes tratados de acordo com USEPA (2004).

De acordo com a OMS (WHO, 2006), para irrigação irrestrita de culturas alimentares, as concentrações permitidas variam de 10 a 1000 coliformes fecais/100 mL e o tratamento requerido é lagoa de estabilização em série ou tratamento equivalente como, por exemplo, tratamento secundário convencional seguido de lagoa de polimento ou filtração e desinfecção.

Quando comparados os valores fornecidos pela OMS com os obtidos em todos os tratamento propostos neste trabalho, observa-se que apesar de as diretrizes da OMS serem menos rigorosas que as normas do estado da Califórnia, por exemplo, ainda assim, os limites detectados nos efluentes em estudo apresentaram-se acima do permitido pelas normas internacionais.

CONCLUSÃO

Apesar das várias possibilidades de reutilização, até mesmo restrita, onde a exposição pública para esta água de reúso é controlada permitindo um tratamento menos rigoroso, a legislação internacional para reúso de efluentes tratados apresenta parâmetros extremamente rigorosos, sendo difícil atingir esta qualidade para água de reúso e impossibilitando, muitas vezes, a reutilização de efluentes tratados.

Mesmo após o tratamento físico-químico não é possível reutilização dos efluentes em nenhuma categoria conforme a legislação internacional e diretrizes da OMS, uma vez que a concentração de microrganismos indicadores ainda é muito elevada, de modo que não somente os parâmetros microbiológicos excederam os padrões internacionais de reutilização, mas também outros parâmetros físico-químicos, sendo necessário tratamentos subsequentes, tais como filtração e/ou desinfecção.

Observa-se que boa parte dos estados dos EUA contemplam uma unidade de filtração e praticamente todos eles exigem desinfecção. Por exemplo, para torres de refrigeração é requerido alto nível de desinfecção, enfatizando a grande necessidade de unidades de tratamento avançado subsequentes às utilizadas no presente trabalho. Os padrões internacionais são mais restritivos, o que evidencia a necessidade de uma unidade de filtração e/ou desinfecção após o tratamento combinado avaliado no trabalho, para melhor remoção, principalmente, microbiológica.

Tabela 3 - Algumas sugestões para reúso de efluentes tratados de acordo com USEPA, 2004⁽¹⁾.

Tipos de Reúso	Tratamento	Qualidade da água de reúso	Monitoramento da água de reúso
<i>Reúso Urbano</i>	Secundário	pH = 6-9	pH e DBO -
Todos os tipos de irrigação, também lavagem de veículos, descarga de banheiros, uso em sistema de proteção contra incêndio, ar condicionado comercial, e outros usos.	Filtração	≤10 mg/L DBO	semanalmente
	Desinfecção	≤2 NTU	Turbidez -
		Não detectado coliformes	contínuo
		fecais /100 mL	Coliformes -
		1 mg/L Cl ₂ residual	diariamente
		(mínimo)	Cl ₂ residual -
			contínuo
<i>Irrigação de áreas com acesso restrito</i>	Secundário	pH = 6-9	pH e DBO -
Gramados de fazendas, silvicultura e outras áreas onde o acesso público é proibido, restrito ou pouco freqüentado.	Desinfecção	≤30 mg/L DBO	semanalmente
		≤30 mg/L SST	SST -
		≤200 coliformes	diariamente
		fecais/100 mL	Coliformes -
		1 mg/L Cl ₂ residual	diariamente
		(mínimo)	Cl ₂ residual -
			contínuo
<i>Paisagens</i>	Secundário	≤30 mg/L DBO	pH -
Represamento estético onde o contato do público com a água tratada não é permitido	Desinfecção	≤30 mg/L SST	semanalmente
		≤ 200 coliformes	SST -
		fecais /100 mL	diariamente
		1 mg/L Cl ₂ residual	Coliformes -
		(mínimo)	diariamente
			Cl ₂ residual -
			continuo
<i>Reúso Industrial</i>	Secundário	Variável	pH e DBO -
Recirculação de torres de resfriamento	Desinfecção	depende da taxa de recirculação	semanalmente
	(coagulação e filtração podem ser necessários)	pH = 6-9	SST -
		≤30 mg/L DBO	diariamente
		≤30 mg/L SST	Coliformes -
		≤200 coliformes	diariamente
		fecais /100 mL	Cl ₂ residual -
		≤1 mg/L Cl ₂ residual	contínuo
		(mínimo)	

Nota: ⁽¹⁾Estas diretrizes são baseadas em água residuárias tratadas e práticas de reutilização nos EUA, e elas são especialmente dirigidas a estados que não desenvolveram seus próprios regulamentos ou orientações. Embora as orientações podem ser úteis em áreas fora os EUA, as condições locais podem limitar a aplicabilidade das diretrizes em alguns países. Fonte: Adaptado USEPA (2004).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALEM SOBRINHO, P.; JORDÃO. Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios – uma análise crítica. In: Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios. PROSAB, p.490-513, 2001.
2. APHA, AWWA, WEF (1998). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20th edition.
3. BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução n. 357 – 17 mar. 2005. *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*. Diário Oficial da União, Brasília, 18 mar. 2005.
4. BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução n. 430 – 13 mai. 2011. *Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente*. Diário Oficial da União, Brasília, 19 mai. 2011.
5. CHERNICHARO, C. A. L. Reatores Anaeróbios. Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias. vol. 5. Belo Horizonte. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG. 1997. p. 246.
6. LOURENÇÃO, J. Avaliação da resistência de microrganismos patogênicos à desinfecção sequencial com Ozônio-radiação ultravioleta e Cloro-radiação ultravioleta. 140p. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.
7. MEDEIROS, R. C. Comparação da resistência de protozoários patogênicos – *Giardia* spp. e *Cryptosporidium* spp. – e de microrganismos indicadores à desinfecção sequencial cloro-radiação ultravioleta e ozônio-radiação ultravioleta. 207 p. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo, São Carlos. 2010.
8. MORAIS, P. B. Tratamento biológico de efluentes líquidos. Curso Superior de Tecnologia em Saneamento Ambiental CESET/UNICAMP. Centro Superior de Educação Tecnológica – Universidade de Estadual de Campinas. 2008.
9. USEPA – United States Environmental Protection Agency (2004). Guidelines for water reuse. Washington DC: USEPA.
10. WORLD HEALTH ORGANIZATION. Wastewater use in agriculture. Policy and Regulation Aspects. v.1, Geneva: WHO, 2006.