

## II-449 - COTRATAMENTO DE LIXIVIADO PRÉ-TRATADO DE ATERRO SANITÁRIO E ESGOTO DOMÉSTICO EM REATORES UASB

### **Renan Borelli Galvão<sup>(1)</sup>**

Engenheiro Civil pela Universidade Estadual de Londrina (UEL). Mestre em Engenharia de Edificações e Saneamento pela UEL. Doutorando em Engenharia Civil pela UEL.

### **Priscila Liane Biesdorf Borth**

Engenheira Ambiental pela Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO). Mestre em Engenharia de Edificações e Saneamento pela Universidade Estadual de Londrina (UEL). Doutoranda em Engenharia Civil pela UEL.

### **Arthur Ribeiro Torrecilhas**

Engenheiro Civil pela Faculdade Pitágoras. Mestrando em Engenharia de Edificações e Saneamento pela Universidade Estadual de Londrina (UEL).

### **Fernando Fernandes**

Engenheiro Civil pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Mestre e doutor em Engenharia Civil pelo Institut National Polytechnique de Toulouse (INPT).

### **Emília Kiyomi Kuroda**

Engenheira Civil pela Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (EESC-USP). Mestre e doutora em Hidráulica e Saneamento pela EESC-USP. Pós-doutorado pela Meijo University, Japão.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rodovia Celso Garcia Cid PR 445, Km 380, s/n - Campus Universitário - Londrina - PR - CEP: 86057-970 - Brasil - Tel: (43) 99819-0076 - e-mail: [renanbgalvao@outlook.com](mailto:renanbgalvao@outlook.com)

### **RESUMO**

Lixiviado de aterro sanitário é uma água residuária de composição complexa, difícil biodegradação e alto poder poluente, e que necessita de um tratamento adequado antes de sua disposição na natureza. O cotratamento de lixiviado e esgoto doméstico tem se mostrado uma solução interessante, desde que o transporte do lixiviado à Estação de Tratamento de Esgoto seja viável e que a mesma tenha capacidade de absorver a sobrecarga. Este trabalho buscou avaliar os impactos da adição de lixiviado de aterro sanitário pré-tratado por *stripping* de amônia no tratamento de esgoto sanitário em reatores anaeróbios UASB em relação à remoção de matéria orgânica. Os ensaios de cotratamento anaeróbio foram realizados em escala piloto, em reatores com volume de 14,14 L, vazão de 1,77 L h<sup>-1</sup> e TDH de 8 h, para avaliação de desempenho e seleção da proporção mais adequada da mistura esgoto/lixiviado. O cotratamento de lixiviado pré-tratado e esgoto foi eficiente na remoção de DQO, apresentando remoções entre 69,2 e 82,6%, com valores residuais de 82 a 168 mg L<sup>-1</sup>. A adição máxima de lixiviado pré-tratado investigada de 10% não prejudicou o desempenho do reator, sendo esta selecionada como porcentagem mais adequada para o cotratamento.

**PALAVRAS-CHAVE:** Tratamento conjugado de lixiviado e esgoto, Tratamento anaeróbio, Reator UASB, Esgoto sintético.

### **INTRODUÇÃO**

A disposição de resíduos sólidos urbanos em aterros sanitários é uma das formas de disposição mais viável técnica e economicamente para a realidade brasileira, sendo extensivamente utilizada no país. Um de seus subprodutos, o lixiviado, é um líquido escuro caracteristicamente de odor desagradável e alto poder poluente, gerado pelo carreamento do material solúvel, resultante dos processos de decomposição do aterro, e da água percolada das chuvas.

Devido ao fato do lixiviado ser um efluente que apresenta grande variabilidade de composição, bem como presença de compostos de difícil biodegradação, chamados recalcitrantes (SILVA, 2002), a escolha de um sistema de tratamento eficiente pode ser complexa. Geralmente, adota-se uma combinação de processos biológicos e técnicas físico-químicas de maneira que o efluente do sistema de tratamento atenda aos padrões de lançamento e de enquadramento de qualidade das legislações vigentes (AMOKRANE *et al.*, 1997; KAWAHIGASHI, 2014; MALER, 2013; POZZETTI, 2014; FUJII, 2014). Embora existam tecnologias, ou

combinações destas, capazes de tratar o lixiviado de forma eficiente, estes sistemas apresentam em geral, alto custo de implantação e manutenção e necessitam de operação especializada.

Uma solução alternativa bastante interessante, já empregada em vários países, é o cotratamento de lixiviado de aterro sanitário com esgoto doméstico/sanitário em estações de tratamento de esgoto – ETE existentes. Tal alternativa técnica elimina os custos de implantação e operação de uma estação de tratamento de lixiviado no aterro sanitário, bem como seus possíveis impactos ambientais. Este tipo de solução é interessante desde que o transporte de lixiviado à ETE seja viável e que a ETE apresente capacidade de absorver no tratamento, o volume e carga de poluentes presentes no lixiviado (OLIVEIRA *et al.*, 2008).

O cotratamento anaeróbico apresenta vantagens para o lixiviado por reduzir a carga afluyente de alguns poluentes inibidores dos processos biológicos, além de aumentar sua biodegradabilidade (DBO<sub>5</sub>/DQO). É vantajoso ao tratamento de esgoto por incrementar a alcalinidade, favorecendo o efeito de tamponamento do sistema, além de dispensar a adição de nutrientes, visto que o nitrogênio é suprido pelo lixiviado e o fósforo pelo esgoto. No entanto, o incremento de elevada carga orgânica/inorgânica tais como nitrogênio amoniacal e metais pesados podem ser prejudiciais ao processo de digestão anaeróbia, inibindo as atividades metabólicas dos microrganismos presentes na biomassa do reator (SANTOS, 2009).

A literatura não apresenta muitos estudos conclusivos a respeito do tratamento combinado de lixiviado e esgoto em reatores anaeróbios UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*), sendo a grande maioria das publicações voltadas para o tratamento combinado em sistemas aeróbios. No entanto, no Paraná, a Sanepar, companhia de saneamento do estado, presta serviços de coleta e tratamento de esgoto sanitário na maioria dos municípios e utiliza em suas estações uma versão modificada de reatores UASB, denominada RALF (Reator Anaeróbico de Lodo Fluidizado), de forma circular e tronco-cônica. Tal tecnologia tem sido extensivamente utilizada e aprimorada no Brasil, visto que a mesma apresenta diversas vantagens técnicas para países de clima quente, sendo o Paraná um dos estados de maior destaque.

Neste contexto, o objetivo deste trabalho é avaliar os impactos da adição de lixiviado pré-tratado de aterro sanitário por *stripping* de amônia no tratamento de esgoto doméstico em reatores anaeróbios UASB em relação à remoção de matéria orgânica.

## METODOLOGIA

### • Lixiviado de estudo

O lixiviado bruto foi proveniente do aterro sanitário do Centro de Tratamento de Resíduos – CTR da cidade de Londrina, que possui como coordenadas centrais 474.495 E e 7.406.009 S (Projeção UTM, Datum Sirlgas 2000). O aterro iniciou sua operação em 2010 e seu lixiviado apresenta características de lixiviado em fase de estabilização biológica. A coleta do lixiviado bruto foi realizada através de caminhão-tanque, com capacidade de 14 m<sup>3</sup>, e armazenado em reservatório de polietileno reforçado com fibra de vidro com capacidade volumétrica de 15 m<sup>3</sup>, localizado no Laboratório de Hidráulica e Saneamento da Universidade Estadual de Londrina - UEL.

### • Pré-tratamento de lixiviado por *stripping* de amônia

A opção técnica de se realizar o pré-tratamento do lixiviado de estudo por *stripping* de amônia deve-se ao intuito de se eliminar o possível efeito tóxico do N-amoniacal sobre a atividade biológica do lodo no cotratamento proposto, uma vez que o lixiviado bruto pode conter, dependendo do grau de estabilização, concentrações consideráveis deste composto. O pré-tratamento foi realizado em regime intermitente (batelada), através de uma instalação piloto constituída por dois reatores com capacidade volumétrica de 1,0 m<sup>3</sup> cada e paletas giratórias de polietileno e aço inoxidável com rotação de aproximadamente 5,5 rpm, com tempo de detenção de 28 dias e ajuste de pH para 9,0. Para viabilizar este trabalho, foram produzidos 2 m<sup>3</sup> do lixiviado pré-tratado, suficiente para a realização dos ensaios de cotratamento. A caracterização do lixiviado antes e após o pré-tratamento foi realizada de acordo com APHA (2012), para os seguintes parâmetros: pH, alcalinidade, DQO, DBO, cor aparente e verdadeira, AGV, N-amoniacal e NKT.

- **Esgoto doméstico de estudo**

Optou-se neste trabalho pela utilização de esgoto sintético, visto que o volume semanal utilizado na alimentação dos reatores pilotos seria bastante elevado, o que impossibilitaria a coleta e o adequado armazenamento de esgoto natural proveniente de uma Estação de Tratamento de Esgoto - ETE. Além disso, uma avaliação preliminar indicou que a variação das características físico-químicas do esgoto natural era bastante significativa, podendo comprometer o atendimento ao objetivo do trabalho, e a produção de esgoto sintético permitiria maior controle sobre a carga orgânica inserida no sistema.

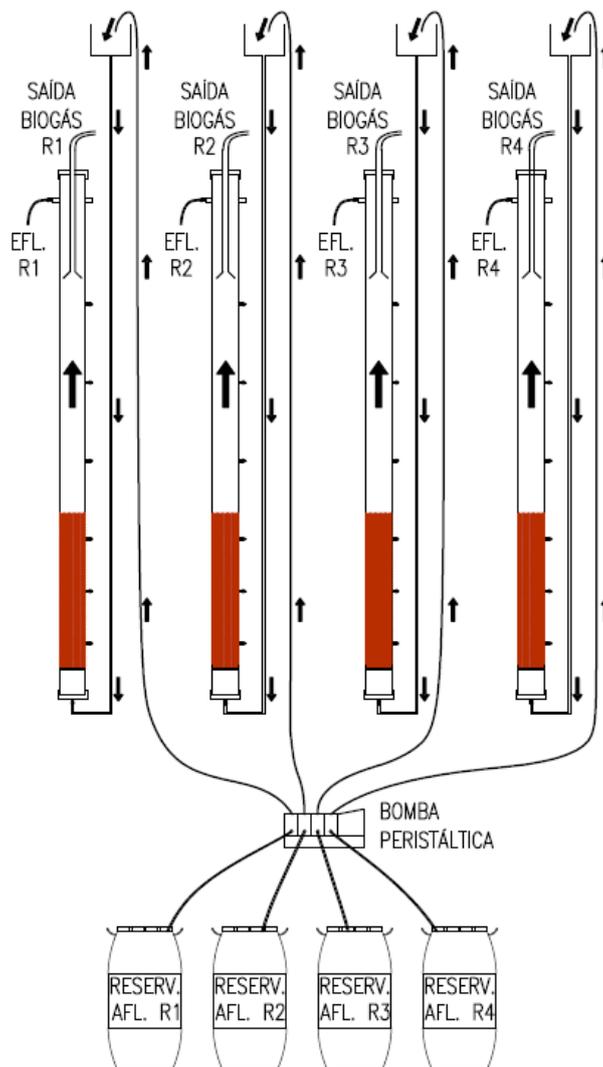
O esgoto sintético utilizado foi produzido diariamente a partir da formulação adaptada da proposta por Torres (1992), para uma DQO de 500 mg L<sup>-1</sup>, cuja composição se baseia em fontes de carboidratos (amido, celulose e sacarose), proteínas (extrato de carne), lipídeos (óleo de soja emulsionado em detergente neutro comercial) e sais (cloreto de sódio, cloreto de magnésio, cloreto de cálcio e fosfato monobásico de potássio), e solução tampão (bicarbonato de sódio).

- **Águas residuárias de estudo – misturas esgoto-lixiviado**

Os ensaios de cotratamento anaeróbio em reator UASB foram realizados com misturas preparadas diariamente de esgoto sintético e lixiviado pré-tratado por *stripping* de amônia em diferentes % volumétricas (1,0; 2,5; 5,0; 7,5 e 10,0%). As misturas foram denominadas, neste estudo, da seguinte forma: água residuária de estudo controle/referência contendo apenas esgoto sintético – AEs; e águas residuárias de estudo contendo 1; 2,5; 5; 7,5; e 10% (v:v) de lixiviado pré-tratado por *stripping* de amônia em esgoto sintético – AE 1%; AE 2,5%; AE 5%; AE 7,5%; e AE 10%, respectivamente.

- **Instalação piloto de cotratamento anaeróbio em reator UASB**

A instalação piloto de cotratamento anaeróbio foi constituída por um sistema de alimentação e 4 (quatro) reatores tipo UASB (Figura 1). Os reatores foram construídos em tubo de PVC de 100 mm de diâmetro, com 1,95 m de altura total (1,80 m de altura útil) e volume útil total de 14,14 L, providos de dispositivos para exaustão do biogás e para coleta de efluente tratado e de lodo em diferentes alturas. O Tempo de Detenção Hidráulica – TDH – utilizado foi de 8h, conferindo uma vazão de alimentação de 1,77 L h<sup>-1</sup>. Cada reator possuía em sua base uma placa perfurada de acrílico de maneira a promover a distribuição uniforme do afluente na seção transversal do escoamento interno ao reator e evitar a criação de caminhos preferenciais.



**Figura 1: Esquema da instalação dos reatores piloto UASB.**

O sistema de alimentação foi composto por tanques de acondicionamento com capacidade volumétrica de 65 L, abastecidos diariamente com 42 L das águas residuárias de estudo, que eram transportadas por bomba peristáltica (GILSON Minipuls Evolution) até recipientes fixados a 2,15 m de altura que em seguida eram encaminhadas aos reatores por gravidade através de tubulações rígidas em PVC DN25 conectadas ao centro da placa de fundo do reator.

Após montagem do sistema piloto de tratamento, seguiu-se com a fase de pré-operação incluindo adaptações para garantir a estanqueidade do sistema, aferição e calibração de bombas de alimentação e equipamentos. A adaptação do lodo inoculado ao efluente a ser tratado foi realizado utilizando-se a água residuária de estudo controle/referência (esgoto sintético) – AEs, seguindo o procedimento de partida de sistemas UASB descrito em Chernicharo (1997), sendo que o sistema foi operado com TDH de 16h nos 7 primeiros dias, TDH de 12h nos 7 dias seguintes e TDH de 8h a partir do 14º dia.

Os 44 primeiros dias de operação consistiram na fase de adaptação e maturação dos reatores, onde todas as 4 unidades foram alimentadas somente com a AEs. A partir daí, com os reatores estabilizados, manteve-se uma unidade como tratamento controle/referência e iniciou-se a alimentação com as diferentes águas residuárias de estudo: primeiramente, com as AE 1%, AE 2,5% e AE 5%, e na etapa final, em função dos resultados obtidos após 114 dias de operação, com as AE 7,5% e AE 10%, a fim de se avaliar os limites de aplicação técnica do trabalho. Para cada reator, o incremento da porcentagem volumétrica de lixiviado pré-tratado foi realizado de forma gradual, com acréscimos sucessivos de 2,5% a cada 3 a 7 dias. Todos os ensaios foram realizados em ambiente climatizado com temperatura programada para  $25 \pm 2^\circ\text{C}$ .

O monitoramento dos efluentes cotratados foi realizado para os parâmetros de controle: pH, alcalinidade e AGV, e de eficiência: DQO, segundo APHA (2012).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### • Caracterização do lixiviado

A Tabela 1 apresenta os resultados da caracterização físico-química do lixiviado utilizado nos ensaios antes e após o pré-tratamento por *stripping* de amônia.

**Tabela 1: Caracterização físico-química dos lixiviados bruto e pré-tratado por *stripping*.**

Parâmetro	Lixiviado Bruto	Lixiviado Pré-tratado	Remoção (%)
pH	8,64	9,14	-
Alcalinidade (mgCaCO <sub>3</sub> L <sup>-1</sup> )	2433	3794	-
DQO (mg L <sup>-1</sup> )	1199	1248	-
DBO (mg L <sup>-1</sup> )	68	39	42,6
Cor Aparente (uH)	4231	4047	4,3
Cor Verdadeira (uH)	3894	3925	-
AGV (mg L <sup>-1</sup> )	152	161	-
N-Amoniacal (mg L <sup>-1</sup> )	148	< LQ	> 96,6
NKT (mg L <sup>-1</sup> )	239	68	71,5

Segundo Renou *et al.* (2008), lixiviados estabilizados apresentam pH maior que 7,5, DQO menor que 4000 mg L<sup>-1</sup> e relação DBO<sub>5</sub>/DQO menor que 0,1. Observando a Tabela 1, é possível notar que o lixiviado de estudo apresenta características compatíveis com a fase de estabilização biológica, pois apresenta pH de 8,64, DQO de 1199 mg L<sup>-1</sup> e relação DBO<sub>5</sub>/DQO de 0,06, indicando assim sua baixa biodegradabilidade. Nota-se, ainda, que o pré-tratamento por *stripping* de amônia atingiu seu objetivo principal, uma vez que o valor residual de N-amoniaco do lixiviado após o pré-tratamento foi menor que o limite de quantificação do método utilizado (5 mg L<sup>-1</sup>), apresentando uma remoção superior a 96,6%. Consequentemente, uma remoção parcial de NKT também foi atingida, com porcentagem de remoção de 71,5% e valor residual de 68 mg L<sup>-1</sup>. O incremento na DQO e em alguns outros parâmetros do lixiviado pré-tratado possivelmente se deu devido à evaporação do lixiviado durante o período de *stripping*.

A Tabela 2 reúne os valores médios dos parâmetros pH, alcalinidade e AGV, bem como os valores médios de DQO e suas respectivas porcentagens de remoção, para cada condição de tratamento.

**Tabela 2: Valores médios de pH, alcalinidade, AGV e DQO para as diversas condições de cotratamento.**

AE	pH	Alcalinidade (mg L <sup>-1</sup> )	AGV (mg L <sup>-1</sup> )	DQO	
				Valor médio (mg L <sup>-1</sup> )	Remoção (%)
AEs	6,74 ± 0,26	180 ± 12	58 ± 15	470 ± 54	82,6%
AEs tratado	6,79 ± 0,20	282 ± 11	34 ± 9	82 ± 17	
AE 1%	6,75 ± 0,26	218 ± 19	56 ± 10	474 ± 61	81,5%
AE 1% tratado	6,88 ± 0,21	318 ± 10	39 ± 13	88 ± 9	
AE 2,5%	6,89 ± 0,25	268 ± 25	61 ± 12	478 ± 57	75,7%
AE 2,5% tratado	6,93 ± 0,23	369 ± 14	40 ± 9	116 ± 13	
AE 5%	7,28 ± 0,45	341 ± 30	80 ± 20	512 ± 57	74,6%
AE 5% tratado	7,14 ± 0,26	455 ± 15	49 ± 14	130 ± 12	
AE 7,5%	7,62 ± 0,48	435 ± 13	100 ± 6	523 ± 28	72,2%
AE 7,5% tratado	7,24 ± 0,22	549 ± 19	38 ± 2	145 ± 14	
AE 10%	7,59 ± 0,30	535 ± 14	117 ± 19	545 ± 36	69,2%
AE 10% tratado	7,36 ± 0,20	640 ± 4	43 ± 5	168 ± 12	

Pode-se observar uma variação nos valores de pH entre 6,74 e 7,62 para as AE e de 6,79 a 7,36 para as AE tratadas. Nota-se que até a porcentagem de 5% de lixiviado, as águas de estudo afluentes se encontram com o pH dentro da faixa recomendada para a digestão anaeróbia de 6,6 a 7,4 (CHERNICHARO, 1997). Para a AE 7,5% e AE 10%, porém, esses valores extrapolam o limite máximo, com valores médios de 7,62 e 7,59, respectivamente, o que pode prejudicar a eficiência do tratamento.

A alcalinidade, por sua vez, apresentou variação de 180 a 535 mg L<sup>-1</sup> para as AE e de 282 a 640 mg L<sup>-1</sup> para as AE tratadas. É possível notar o aumento significativo da alcalinidade devido à presença do lixiviado, com aumento de até 197% para AE 10% em relação à AEs. É importante ressaltar ainda que durante todo o período de operação a alcalinidade foi suficiente para tamponar o sistema e manter o pH das AE tratadas dentro de valores aceitáveis, não ocorrendo acidificação dos reatores.

Em relação aos AGV, observa-se uma variação de 56 a 117 mg L<sup>-1</sup> para as AE e de 34 a 49 mg L<sup>-1</sup> para as AE tratadas. Todos os valores médios de AGV para as AE tratadas permaneceram abaixo do valor máximo recomendado de 100 mg L<sup>-1</sup> (SANTOS, 2009), indicando o consumo desse composto intermediário e o não acúmulo do mesmo.

A Figura 2 apresenta os valores de DQO das águas residuárias afluentes e efluentes do cotratamento em função do tempo.

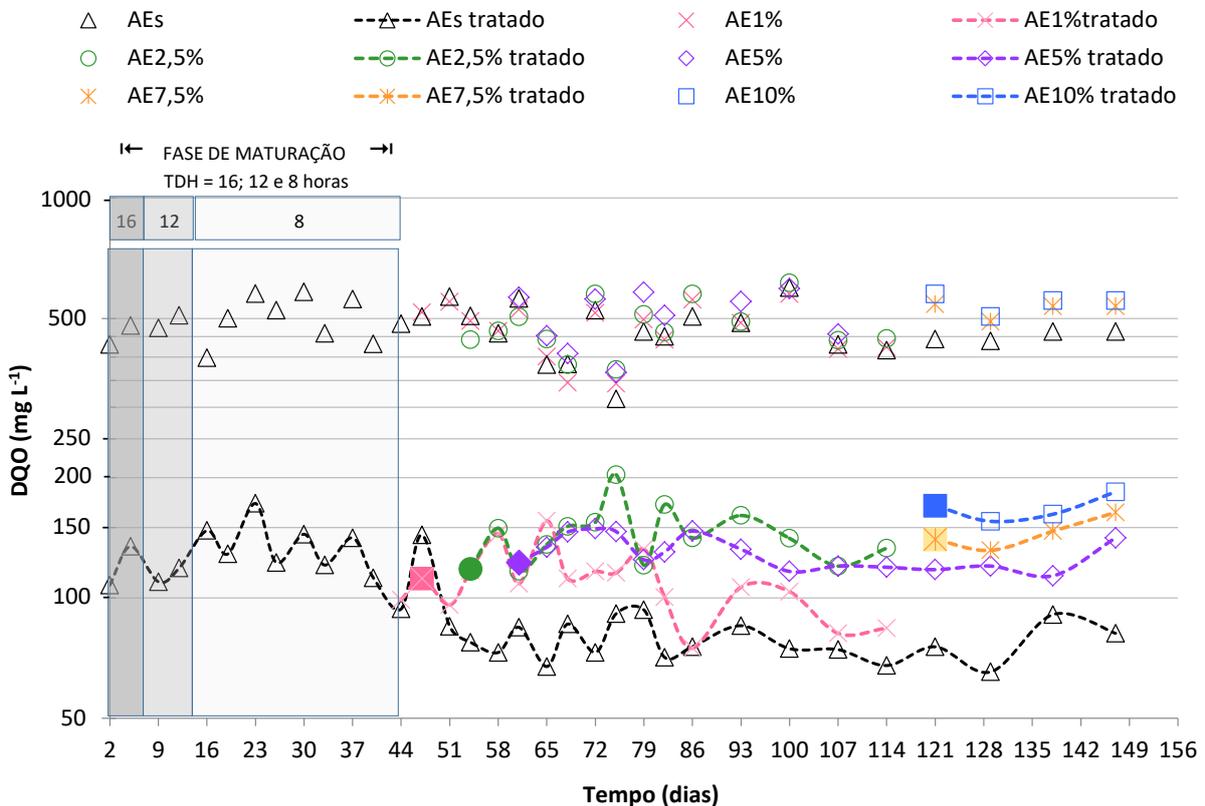


Figura 2: Valores de DQO em função do tempo de operação.

Em relação aos resultados de DQO, pode-se constatar que o aumento das porcentagens de lixiviado ocasionou graduais incrementos da DQO antes e após o cotratamento. Em resumo, os valores médios de DQO apresentaram variação de 470 a 545 mg L<sup>-1</sup> para as AE e de 82 a 168 mg L<sup>-1</sup> para as AE tratadas, com remoções decrescentes de 82,6 a 69,2% com o aumento da porcentagem de lixiviado na composição das AE. A Tabela 3 apresenta os valores dos incrementos de DQO decorrentes da adição de lixiviado antes e após o cotratamento e a redução da eficiência em relação ao tratamento controle (AEs – 0% de lixiviado).

**Tabela 3: Incrementos de DQO e redução da eficiência em relação a AEs.**

AE	Valor absoluto de incremento médio de DQO em relação a AEs (mg L <sup>-1</sup> )		Redução da eficiência em relação a AEs (%)
	Antes do cotratamento	Após cotratamento	
AE 1%	4,3	6	1,1
AE 2,5%	8,2	34,6	6,9
AE 5%	41,6	48,2	8,0
AE 7,5%	53,0	63,7	10,4
AE 10%	75,2	86,1	13,4

É possível constatar que as águas residuárias de estudo após o cotratamento apresentaram valores maiores de incrementos de DQO em relação ao controle (AEs) do que antes do cotratamento. Isso pode indicar que a DQO proveniente da adição de lixiviado, possivelmente em sua maioria recalcitrante e de difícil biodegradação, não foi removida pelo tratamento anaeróbio e que o cotratamento resultou na diluição dos compostos do lixiviado no esgoto e na redução da eficiência do tratamento do esgoto em relação à DQO.

Considerando os valores de referência da literatura em relação à remoção de DQO no tratamento anaeróbio por reatores UASB, adotou-se neste trabalho a remoção mínima de 65% como a remoção limite em que a adição de lixiviado não prejudicaria a eficiência do sistema (CHERNICHARO, 1997). Dessa maneira, mesmo o efluente produzido com a maior porcentagem de lixiviado na mistura estudada neste trabalho (10%) atende tal critério, apresentando remoção de 69,2%. Além disso, o valor residual médio de DQO apresentado para essa condição de mistura, 168 mg L<sup>-1</sup>, é inferior ao limite da legislação pertinente (225 mg L<sup>-1</sup> de acordo com a resolução SEMA 021/2009). Desta forma, porcentagens ainda mais elevadas do lixiviado de estudo pré-tratado podem ser viáveis para aplicação neste cotratamento.

## CONCLUSÕES

O cotratamento de lixiviado estabilizado pré-tratado de aterro sanitário e esgoto doméstico em reatores UASB foi eficiente na remoção de DQO, apresentando remoções entre 69,2 e 81,5%, para porcentagens de lixiviado entre 10 e 1%, respectivamente.

A porcentagem máxima de lixiviado pré-tratado investigada de 10% não prejudicou o desempenho do reator, sendo esta selecionada como porcentagem de maior eficiência para o cotratamento de lixiviado e esgoto em reator UASB.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AMOKRANE, A.; COMEL, C.; VERON, J. Landfill leachate pre-treatment by coagulation–flocculation. *Water Resources*, v. 31, n. 11, p. 2775-2782, 1997.
2. APHA; AWWA; WEF. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 21<sup>a</sup> ed., Washington, D. C.: APHA, 2012. American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA), Water Environment Federation (WEF).
3. CHERNICHARO, C. A. L. *Reatores anaeróbios*. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - UFMG. 246 p. 1997.
4. FUJII, Eduardo Hideo. *Avaliação da aplicabilidade da filtração direta ascendente em pedregulho como pós-tratamento de lixiviado de tarro sanitário*. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2014.
5. MALER, C. L. *Aplicação do processo Fenton a diferentes etapas do tratamento de lixiviados de aterro sanitário*. 2013. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Edificações e Saneamento, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2013.
6. KAWAHIGASHI, F. *Aplicabilidade do pós-tratamento de lixiviados de aterro sanitário por adsorção em carvão ativado granular e avaliação ecotoxicológica*. 2012. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Edificações e Saneamento, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2012.

7. OLIVEIRA, C.; GIL, G.; BATISTA D. M. A. Inovações Tecnológicas no Saneamento: lodos e odores. ABES/RS, 2008. 96p.
8. PARANÁ, Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Resolução N° 021/2009 – SEMA. Dispõe sobre licenciamento ambiental, estabelece condições e padrões ambientais e dá outras providências, para empreendimentos de saneamento. Curitiba, 2009.
9. POZZETTI, Jandira D. C. Pós-tratamento de lixiviado de aterro sanitário por coagulação química-floculação-sedimentação, adsorção em carvão ativado pulverizado e avaliação ecotoxicológica. 2014. 100 páginas. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2014.
10. RENO, S.; GIVAUDAN, J. G.; POULAIN, S.; DIRASSOUYAN, F.; MOULIN, P. Landfill leachate treatment: Review and opportunity. *Journal of Hazardous Materials*, v. 150, p. 468 - 493, 2008.
11. SANTOS, A. F. M. S. Tratamento anaeróbio de chorume conjugado com esgoto sanitário. Tese de doutoramento. UFPE. 2009.
12. SILVA, A. C. Tratamento do percolado de aterro sanitário e avaliação da toxicidade do efluente bruto e tratado. Dissertação apresentada ao programa de pós-graduação de Engenharia da Universidade do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2002.
13. TORRES, P. Desempenho de um reator anaeróbio de manta de lodo (UASB) de bancada no tratamento de substrato sintético simulando esgoto sanitário. Dissertação (Mestrado), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 1992.