



I-346 - ESTUDO EM ESCALA PILOTO DA DISPOSIÇÃO EM UMA ETE DE RESÍDUOS DE ETA QUE UTILIZA CLORETO FÉRRICO COMO COAGULANTE

Paulo Sérgio Scalize⁽¹⁾

Doutor em Hidráulica e Saneamento pela EESC-USP. Professor Adjunto da Universidade Federal de Goiás. Coordenador do Curso de Engenharia Ambiental da UFG.

Luiz Di Bernardo

Professor Titular da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.

Endereço⁽¹⁾: Av.: Universitária, 1488 – Qd 86 – Lote Área – Setor Universitário – Goiânia - GO - CEP: 74605-220 - Brasil - Tel: (62) 3209-6084 ramal 207 - e-mail: pscalize@ig.com.br

RESUMO

O estudo foi realizado utilizando uma estação de tratamento de esgoto piloto, composta de lagoa de aeração seguida de lagoa de sedimentação, que recebeu resíduo da ETA-Fonte (que utiliza cloreto férrico como coagulante primário). Foi verificado que tal resíduo melhorou a qualidade do efluente em termos de DQO, DBO, SST, turbidez, cor, amônio, nitrato, NTK e fósforo total. Os parâmetros ST, SDT, cloreto, nitrito, condutividade e pH não apresentaram diferenças significativas. Em relação ao exame microscópico não houve influências negativas no licor misto das lagoas de aeração. O lodo formado nas lagoas de sedimentação piloto apresentou-se em maior quantidade na lagoa que recebeu resíduo da ETA-Fonte. Neste lodo a resistência específica a filtração foi menor em comparação ao lodo da lagoa que não recebeu resíduo da ETA-Fonte. A desidratação deste lodo por centrifugação necessitou menor quantidade de polieletrólito. Baseado neste estudo não foi verificado interferências que possa impedir o lançamento do resíduo da ETA-Fonte na ETE-Araraquara.

PALAVRAS-CHAVE: resíduos de ETA, tratabilidade de lodos, lodo de ETA, lodo de ETE.

1. INTRODUÇÃO

Apesar de existirem métodos para tratamento e disposição dos resíduos gerados em ETAs, é envolvidos nos processos e operações.

Um método de disposição alternativo que tem sido considerado em alguns países da Europa e nos Estados Unidos, é o lançamento dos resíduos de ETAs em estações de tratamento de esgoto (ETEs), via rede coletora de esgoto ou transporte. Tal procedimento surge como uma proposta atraente, visto que elimina a implantação de sistemas de tratamento de resíduos nas ETAs.

Entretanto, algumas interferências podem ocorrer nas unidades da ETE, de maneira que tal procedimento deve ser criteriosamente analisado, destacando-se os digestores de lodo anaeróbios e aeróbios e os decantadores primários, já que, devido às características físicas dos resíduos da ETA, estas unidades receberão a maior parte das impurezas contidas nesses resíduos segundo CORNWELL & KOPPERS (1990).

Para evitar possíveis interferências no desempenho das ETEs e disposição de seu lodo, devem ser avaliados alguns fatores, tais como: sobrecargas hidráulicas, orgânicas, de sólidos e tóxicos; separação sólido-líquido; processos biológicos de tratamento; espessamento, desidratação e disposição final do lodo de ETEs.

Segundo CARVALHO (2000), os resíduos de ETA, provavelmente, só poderão ser lançados em uma rede coletora de esgotos provida de tratamento, após sua equalização prévia, visto que a maior parte dos sólidos contidos nos decantadores e filtros é eliminada na forma de pulsos.

O presente trabalho técnico teve como objetivo simular, em escala piloto, o lançamento dos resíduos de uma Estação de Tratamento de Água (ETA-Fonte), que utiliza cloreto férrico como coagulante primário, em uma Estação de Tratamento de Esgotos (ETE-Araraquara), verificando as possíveis interferências.

2. METODOLOGIA

O sistema de tratamento de esgoto em escala piloto, utilizado no experimento, foi composto por dois conjuntos de lagoas (ver figura 1), sendo constituído por uma Lagoa de Aeração e uma de Sedimentação, alimentado constantemente, por uma bomba dosadora, com esgoto sanitário coletado diretamente da chegada do esgoto bruto na ETE-Araraquara.

Após operar as ETEs-piloto por alguns dias apenas recebendo esgoto sanitário, iniciou-se a adição de resíduo da ETA-Fonte em um dos conjuntos. A adição de resíduo foi realizada 6 vezes ao dia. O tempo total das ETEs-pilotos foi de 90 dias.



Figura 1 – Foto dos conjuntos de lagoas utilizadas no trabalho.

Rotineiramente foram realizadas leituras de OD no início, meio e final das lagoas de aeração, mantendo um teor superior a 1,5 mg/L. Durante os 3 meses de operação da ETE-Piloto, após começar a receber resíduo da ETA-Fonte, foram realizadas caracterizações dos afluentes às ETEs-piloto e dos efluentes na saída das lagoas de sedimentação. No início e final da operação das ETEs-pilotos foram realizados exames microscópicos e determinado a TCO_a no licor misto das lagoas de aeração.

No final da operação a alimentação foi interrompida e todo lodo das lagoas de sedimentação foram removidos e caracterizados. Posteriormente, foram realizados ensaios de centrifugação e as tortas resultantes foram submetidas a ensaios de lixiviação e solubilização.

3. RESULTADO E DISCUSSÃO

Visando avaliar as interferências ou vantagens que poderia advir com o lançamento do resíduo da ETA-Fonte foram realizadas caracterizações do efluente final das lagoas de sedimentação durante os 90 dias de operação das ETEs-piloto. Para avaliar a eficiência do tratamento foram realizadas, simultaneamente à caracterização do efluente, caracterizações do afluente às ETEs-piloto.

Os resultados obtidos deixam claro que os parâmetros pesquisados no efluente da lagoa de sedimentação 1, proveniente da ETE-piloto que recebeu resíduo da ETA-Fonte, não sofreram interferências negativas, gerando um efluente de melhor qualidade.

3.1. Taxa de Consumo de Oxigênio e Caracterização do Licor das Lagoas de Aeração

Foram realizados dois ensaios para determinação das taxas de consumo de oxigênio (TCO) nos licores mistos das lagoas de aeração, sendo que os valores de OD foram medidos, com auxílio de um oxímetro, em intervalos de 1 minuto. As correlações das retas aos pontos experimentais foram boas, atingindo valores superiores a 99,6 %, e as TCO, que são determinadas pelos coeficientes angulares das retas, foram maiores na lagoa de aeração 2, que não recebeu resíduo da ETA-Fonte.

O menor consumo de oxigênio foi observado na lagoa de aeração 1, estando associado a presença do resíduo da ETA-Fonte, que interferiu de alguma forma, seja por inibição ou por diminuição da quantidade de microorganismos.

A menor TCO_a e a menor relação $TCO_a/SSTV$ na lagoa de aeração 1, indica que o resíduo da ETA-Fonte promoveu redução tanto na quantidade de microrganismos como na TCO.



Os sólidos sedimentáveis presentes na lagoa que recebeu resíduo da ETA-Fonte foram superiores aos encontrados na lagoa de aeração que não recebeu o resíduo. No entanto, os ST, representados em são maior totalidade pelos SDT, foram superiores na lagoa 2.

Em relação aos SST a lagoa 1 apresentou maior concentração na forma de SSTF, ao contrário da lagoa 2 que apresentou maior concentração de SSTV.

Pode ser observado na tabela 1, que dentre os metais pesquisados no licor misto das lagoas de aeração, o Ferro foi o que apresentou maior divergência entre as duas lagoas, sendo encontrado em maior concentração na lagoa 1. Isto ocorreu devido ao resíduo da ETA-Fonte, adicionado ao sistema, apresentar concentração de 340,8 mg de Fe/L_{resíduo}. Em relação aos demais metais houve diferenças, mas nenhuma tão expressiva.

Tabela 1 – Nesta tabela estão contidos os resultados da TCO_a nos licores mistos das lagoas de aeração e as relações TCO_a/SSTV, juntamente com o resultado de alguns parâmetros pesquisados.

Parâmetros	Licor misto da Lagoa de Aeração que recebeu resíduo da ETA-Fonte.		Licor misto da Lagoa de Aeração que não recebeu resíduo da ETA-Fonte.	
	02/05/03	14/05/03	02/05/03	14/05/03
TCO _a (TCO _a mg/L.h)	1,61	1,70	2,32	2,64
TCO _a / SSTV (mgO ₂ /L.h) / (mgSSTV/L _{licor})	8,9 x 10 ⁻³	9,3 x 10 ⁻³	10,8 x 10 ⁻³	11,2 x 10 ⁻³
DQO (mg/L)	361,4	387,9	526,2	571,5
pH	7,1	7,2	7,1	7,3
OD (mg/L)	3,10	3,20	2,75	2,90
Condutividade (µs/cm)	525	545	540	536
Sólidos Totais (mg/L)	790,0	856,0	950	1046,0
Sólidos Totais Fixos (mg/L)	-	484,0	-	520,0
Sólidos Totais Voláteis (mg/L)	-	372,0	-	526,0
Sólidos Suspensos Totais (mg/L)	374,2	393,1	401,5	396,5
Sólidos Suspensos Totais Fixos (mg/L)	-	209,8	-	161,1
Sólidos Suspensos Totais Voláteis (mg/L)	-	183,3	-	235,4
Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L)	415,8	462,9	548,5	649,5
Sólidos Dissolvidos Totais Fixos (mg/L)	-	274,2	-	358,9
Sólidos Dissolvidos Totais Voláteis (mg/L)	-	188,7	-	290,6
Sol. Sed. em Cone Imhoff (mL/L) - 1 hora	15,5	16,0	13,0	13,5
Mn (mg Mn/g SST)	-	1,376	-	0,931
Fe (mg Fe/g SST)	-	99,568	-	35,914
Ni (mg Ni/g SST)	-	1,068	-	1,354
Zn (mg Zn/g SST)	-	1,068	-	1,077
Pb (mg Pb/g SST)	-	0,483	-	0,641
Cd (mg Cd/g SST)	-	< 0,001	-	< 0,001
Cu (mg Cu/g SST)	-	0,333	-	0,390
Cr (mg Cr/g SST)	-	1,913	-	2,087
Co (mg Co/g SST)	-	0,168	-	0,128

3.2. Ensaio de Sedimentabilidade

Devido a pouca concentração de sólidos no licor misto das lagoas de aeração foi necessário a utilização do Cone Imhoff para poder avaliar a sedimentabilidade do lodo. Pode ser observado na Figura 2 que o volume de sólidos sedimentáveis atingiu seu pico após 7 minutos de sedimentação no licor misto da lagoa de aeração 1 e após 10 minutos no licor da lagoa 2. Após este tempo o material começou a sofrer adensamento, atingindo, no final do ensaio, 15,5 mL e 13,0 mL, respectivamente. Portanto, o volume de sólidos sedimentáveis,

decorridos 60 minutos, foi maior para o material que recebeu resíduo da ETA-Fonte, representando 19,2% mais lodo que a lagoa 2.

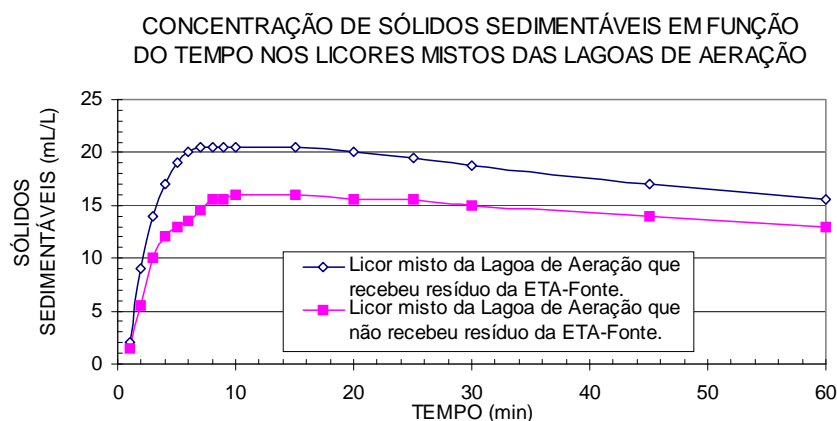


Figura 2 – Ensaio de Sedimentabilidade dos licores mistos das lagoas de aeração realizado em Cone Imhoff em função do tempo.

3.3. Exame Microscópico

Após 90 dias de operação, antes de interromper o tratamento, foi realizado exame microscópico nos licores mistos presentes nas lagoas de aeração.

O licor da lagoa de aeração 1, que recebeu resíduo da ETA-Fonte, aparentemente, não apresentou interferências negativas na sua microfauna. O aspecto deste material ao microscópio foi de flocos bem formados com presença de ciliados pedunculados e, nos espaços entre flocos, de ciliados livre-natantes e rotíferos, existindo também a presença de nematóides que são indicativos de boa depuração. Foram encontrados anelídeos do gênero *Aelosoma* que quando em predominância indicam excesso de oxigênio dissolvido. Uma característica deste material foi a ausência de bactérias filamentosas e bactérias do gênero *Spirillum* que estavam presentes no licor misto da lagoa de aeração 2 que não recebeu resíduo da ETA-Fonte.

A quantidade de microorganismos presentes no licor misto da lagoa 1 que recebeu resíduo da ETA-Fonte foi ligeiramente superior que os presentes no licor misto da lagoa de aeração 2 que não recebeu este resíduo.

Foram encontradas algumas algas verdes, diatomáceas e hifas de fungos no licor misto da lagoa que não recebeu resíduo da ETA-Fonte.

As fotografias das figuras 3 e 4 ilustram alguns dos microorganismos encontrados na microfauna do licor misto da lagoa de aeração que recebeu resíduo da ETA-Fonte.

As fotografias das figuras 5 e 6 ilustram alguns dos microorganismos encontrados na microfauna do licor misto da lagoa de aeração que não recebeu resíduo da ETA-Fonte.

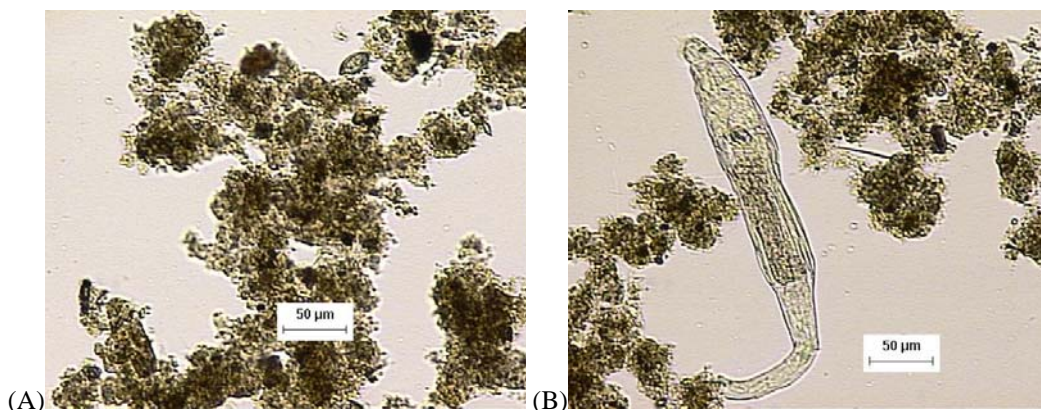


Figura 3 - *Aspidisca spp* no licor da lagoa de aeração que recebeu resíduo de ETA. É um ciliado livre rastejante, predador de flocos. Indicativo de Nitrificação. (B) Presença de rotífero do gênero *Philodina* no licor da lagoa de aeração que recebeu resíduo de ETA.

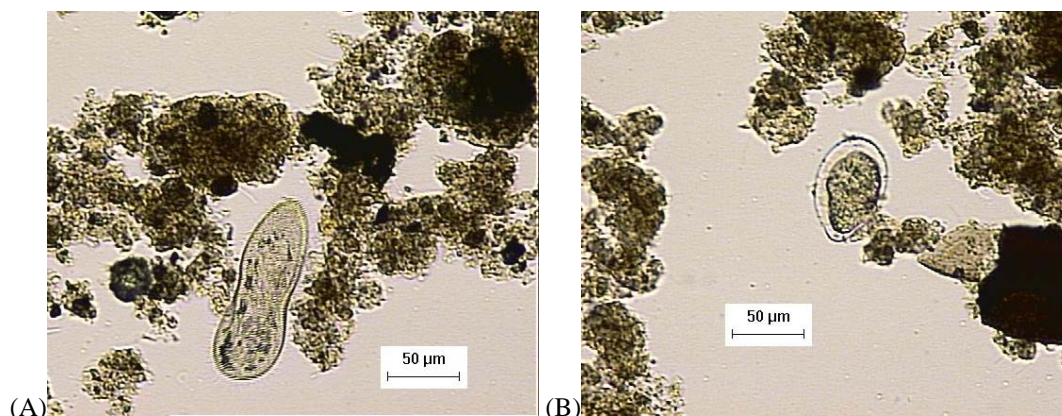


Figura 4 - (A) Presença de ciliado livre-natante do gênero *Paramecium* no licor da lagoa de aeração que recebeu resíduo de ETA. (B) Presença de cisto de ovo ou cisto de rotífero no licor da lagoa de aeração que recebeu resíduo de ETA.

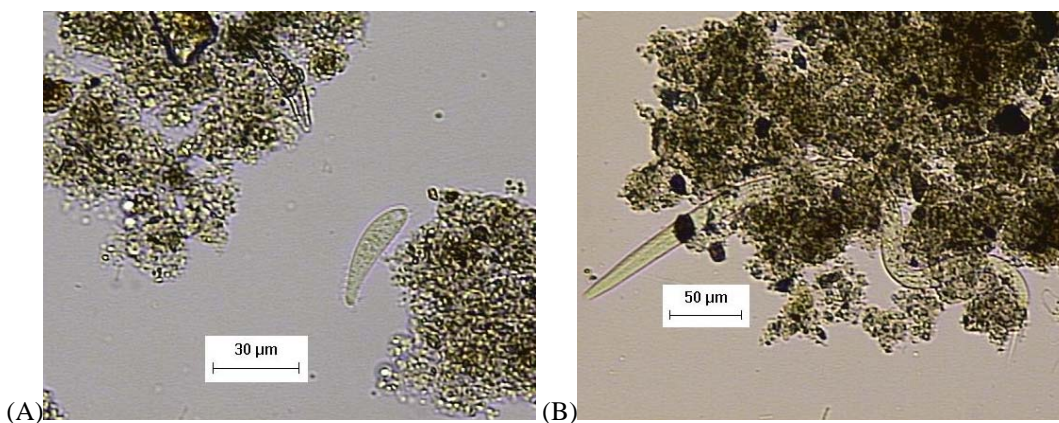


Figura 5 - (A) Presença de ciliado livre no licor da lagoa de aeração que não recebeu resíduo de ETA. (B) Presença de nematóide no licor da lagoa de aeração que não recebeu resíduo de ETA.

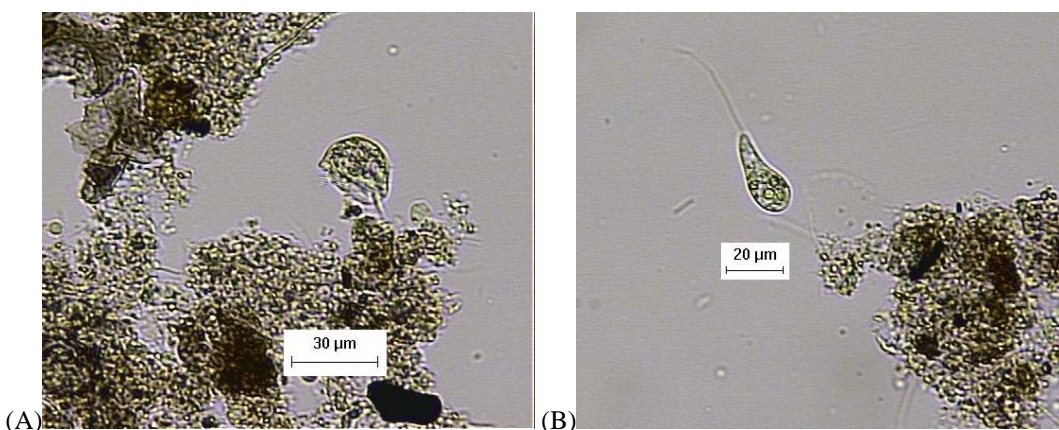


Figura 6 - (A) Presença de ciliado semelhante ao gênero *Aspidisca* no licor da lagoa de aeração que não recebeu resíduo de ETA. (B) Organismo semelhante a cloroflagelado presente no licor da lagoa de aeração que não recebeu resíduo de ETA

3.4. Caracterização do Lodo das Lagoas de Sedimentação

Visando a caracterização e o conhecimento do volume de lodo gerado nas ETES-piloto foram realizadas caracterizações dos lodos obtidos no final da operação dos sistemas. Após, retirada de todo sobrenadante com auxílio de uma bomba de sucção, os lodos foram retirados e caracterizados (ver tabela 2).

A DQO total encontrada no lodo foi de 37,14 g na lagoa 1 e 37,7 g na lagoa 2, sendo praticamente iguais.



Devido a forma com que foram removidos os sobrenadantes das lagoas de sedimentação 1 e 2, os ST do lodo da lagoa 1 apresentou-se em menor concentração, mas em maior volume. A massa total de sólidos foi de 49,47 g e 43,05 g, respectivamente, ou seja a lagoa de sedimentação 1, proveniente da ETE-piloto que recebeu resíduo da ETA-Fonte, apresentou uma maior quantidade de ST. Estes, foram representados por 49,81% (24,64g) de STF e 50,19% (24,83g) de STV ao contrário do lodo da lagoa 2, proveniente da ETE-piloto que não recebeu resíduo da ETA-Fonte, onde 41,17% (17,73 g) foram na forma de STF e 58,83% (25,33g) na forma de STV.

Observa-se, na tabela 2 que em relação aos metais pesquisados o Fe e o Mn foram os que apresentaram maiores divergências. A concentração do Fe no lodo da lagoa 1 foi de 4504 mg (2815,0 mg/L x 1,6 L lodo), contra 1407 mg (1153,0 mg/L x 1,22 L lodo), representando 220,11% a mais deste metal. Com relação ao Mn este aumento foi de 189,51%.

Tabela 2 – Caracterização dos lodos obtidos nas lagoas de sedimentação após término da operação das ETES-piloto.

PARÂMETROS	LAGOA 1	LAGOA 2
DQO (g/L)	23,21	30,90
pH	7,1	7,0
Sólidos Totais (g/L)	30,92	35,29
Sólidos Totais Fixos (g/L)	15,40	14,53
Sólidos Totais Voláteis (g/L)	15,52	20,76
Sólidos Suspensos Totais (g/L)	28,20	32,00
Sólidos Suspensos Totais Fixos (g/L)	13,00	11,60
Sólidos Suspensos Totais Voláteis (g/L)	15,20	20,40
Sólidos Dissolvidos Totais (g/L)	2,72	3,29
Sólidos Dissolvidos Totais Fixos (g/L)	2,40	2,93
Sólidos Dissolvidos Totais Voláteis (g/L)	0,32	0,36
Resistência Específica (x 10 ¹³ m/Kg)	1,42	4,40
Volume total de Lodo (L/15L)	1,60	1,22
Massa total de sólidos (g)	49,47	43,5
Ensaio de Centrifugação: Manganês (mg Mn / Kg SST)	924,1	368,9
Ferro (mg Fe / Kg SST)	99822,7	36040,6
Níquel (mg Ni / Kg SST)	221,3	442,2
Zinco (mg Zn / Kg SST)	1236,9	1786,4
Chumbo (mg Pb / Kg SST)	128,1	142,9
Cádmio (mg Cd / Kg SST)	5,1	5,3
Cobre (mg Cu / Kg SST)	292,2	342,2
Cromo (mg Cr / Kg SST)	1168,8	2394,7
Cobalto (mg Co / Kg SST)	21,2	19,7

Obs.: Lagoa de Sedimentação 1 – proveniente da ETE-piloto que recebeu resíduo da ETA-Fonte.
Lagoa de sedimentação 2 – proveniente da ETE-piloto que não recebeu resíduo da ETA-Fonte.

3.4.1. Resistência Específica do lodo

Os ensaios para determinação da resistência específica foram realizados nos lodos das lagoas de sedimentação das ETES-piloto que receberam ou não resíduo da ETA-Fonte apresentando, respectivamente, SST_i = 28,2 g/L e 32,0 e, os resultados dos volumes filtrados em função do tempo encontram-se na tabela 3.

Os valores de resistência específica obtidos estão contidos na tabela 4, constatando que o lodo da lagoa de sedimentação 1 apresentou 1,42 x 10¹³ m/Kg, sendo 67,73% menor que a resistência específica do lodo da



lagoa de sedimentação 2, que foi de $4,40 \times 10^{13}$ m/Kg. Provavelmente, isto se deve a presença do coagulante, cloreto férrico, presente no lodo do resíduo da ETA-Fonte adicionado a ETE-piloto, funcionando como um condicionante, favorecendo a filtração em tempos menores, resultando em uma resistência específica menor.

Tabela 3 - Tempo de filtração dos lodos obtidos nas lagoas de sedimentação das ETEs-piloto, em função do volume, utilizado no teste da resistência específica.

Volume (mL)	Tempo (s)	
	Lodo da lagoa de sedimentação 1	Lodo da lagoa de sedimentação 2
3	4,42	14,77
5	18,2	58,02
7	39,25	126,43
9	70,55	243,12
11	109,93	380,77
13	165,58	558,27
15	230,55	803,55
17	318,71	1085,22
19	481,93	1637,87
21	939,02	5534,02

Obs.: Lodo da lagoa de Sedimentação 1 – proveniente da ETE-piloto que recebeu resíduo da ETA-Fonte.
Lodo da lagoa de sedimentação 2 – proveniente da ETE-piloto que não recebeu resíduo da ETA-Fonte.

Tabela 4 - Valores de resistência específica nos lodos das lagoas de sedimentação.

Lodo da lagoa de sedimentação 1	Lodo da lagoa de sedimentação 2
$1,42 \times 10^{13}$ m/Kg	$4,40 \times 10^{13}$ m/Kg

Obs.: Lodo da lagoa de Sedimentação 1 – proveniente da ETE-piloto que recebeu resíduo da ETA-Fonte.
Lodo da lagoa de sedimentação 2 – proveniente da ETE-piloto que não recebeu resíduo da ETA-Fonte.

3.4.2. Desidratação do lodo por centrifugação

Os valores de SST_r no centrifugado após 30 minutos de centrifugação foram de 128,2 g/L e 128,0 g/L, para os lodos da lagoa 1 e 2, respectivamente, sendo que para atingir esta concentração foram necessários 2,0 g de polieletrólito / Kg de SST para o lodo da lagoa 1 que recebeu resíduo da ETA-Fonte e, de 3,5 g de polieletrólito / Kg de SST para o lodo da lagoa 2 que não recebeu resíduo da ETA, evidenciando novamente que o resíduo da ETA favoreceu a desidratação de forma mecânica, ou seja centrifugação.

Nota-se, na tabela 5, que os parâmetros pesquisados foram menores para os sobrenadantes dos centrifugados provenientes da lagoa de sedimentação que recebeu resíduo da ETA-Fonte, apresentando uma melhor qualidade

Tabela 5 – Caracterização dos sobrenadantes obtidos dos melhores resultados no ensaio de centrifugação.

PARÂMETROS	Sobrenadantes do centrifugado									
	Sobrenadante do centrifugado do lodo proveniente da lagoa de sedimentação que recebeu resíduo da ETA-Fonte					Sobrenadante do centrifugado do lodo proveniente da lagoa de sedimentação que não recebeu resíduo da ETA-Fonte				
g poli/Kg SST	0,0	1,0	1,5	2,0	2,5	0,0	2,0	3,0	3,5	4,0
Turbidez (NTU)	64	36	22	21	27	124	72	60	51	60
Cor (uC)	332	202	130	110	164	688	352	270	152	280
DQO (mg/L)	233,7	292,3	269,4	186,7	248,3	400,6	397,7	420,6	224,9	261,1



4. CONCLUSÕES

O trabalho técnico permitiu concluir que:

- O efluente final produzido pela ETE-piloto que recebeu resíduo da ETA-Fonte mostrou-se melhor qualidade em termos de DQO, DBO, SST, Turbidez, Cor, Amônio, Nitrato, NTK e fósforo Total. Os parâmetros ST, SDT, cloreto, nitrito, condutividade e pH não apresentaram diferenças significativas.
- No exame microscópico não houve influências negativas no licor misto da lagoa de aeração que recebeu resíduo da ETA-Fonte. Neste material não foram encontradas bactérias filamentosas, sendo encontradas no licor misto da lagoa de aeração que não recebeu resíduo da ETA-Fonte. Portanto, provavelmente o resíduo da ETA-Fonte inibiu o aparecimento de bactérias filamentosas.
- Apesar da TCO_a ter sido menor na lagoa de aeração 1, que recebeu resíduo da ETA-Fonte, torna-se atrativo a sua disposição na ETE, pois além de reduzir a quantidade de bactérias filamentosas no licor misto, houve uma maior eficiência na remoção de quase todos os parâmetros físico-químicos pesquisados no efluente final, melhorando sua qualidade.
- Houve uma maior geração de lodo na lagoa de sedimentação da ETE-piloto que recebeu resíduo da ETA-Fonte e a quantidade de sólidos sedimentáveis presentes na lagoa de aeração 1 foi na média 5,3% maior que na lagoa 2, sendo que esta quantidade não pode ser considerada como fator negativo.
- Os valores de resistência específica e os ensaios de centrifugação evidenciaram uma melhor eficiência de desidratação para este lodo, gerando uma economia no consumo de polieletrólito e obtendo uma torta final com a mesma concentração de sólidos.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CORNWELL, D.A.; KOPPERS, H.M.N. (1990). *Slib, schlam, sludge*. American Water Works Association, Research Foundation, KIWA. Research Foundation, Denver.
2. CARVALHO, E.H. (2000). *Disposição dos resíduos gerados nas estações de tratamento de água em estações de tratamento de esgoto com decantação primária*. São Carlos, 2000, 224p. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
3. SCALIZE, P.S. (2003). *Disposição de resíduos gerados em estações de tratamento de água em estações de tratamento de esgotos*. São Carlos, 2003, 146 p. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.