

MICROBIOLOGIA DO LODO ATIVADO E SUA RELAÇÃO COM O TRATAMENTO DE EFLUENTES INDUSTRIAIS – A EXPERIÊNCIA DA CETREL

Gisele Santos Silva de Oliveira*
Cristiano Venícius de Matos Araújo*
José Gilson Santos Fernandes*

RESUMO: *Este trabalho teve como objetivo caracterizar a comunidade microbiana de lodos ativados dos tanques de aeração da estação de tratamento de efluentes (ETE) da CETREL e verificar a existência de possíveis correlações entre a qualidade do efluente tratado final (ETF) e a comunidade do lodo, para identificar algum grupo biológico que pudesse ser usado como bioindicador da eficiência da ETE. Adicionalmente, buscou-se avaliar a eficiência da ETE comparando a performance dos três tanques de aeração estudados. Dentre os grupos encontrados no sistema de lodo ativado destacam-se os ciliados (livre natantes, de vida livre e pedunculados) e flagelados, sendo que os ciliados foram os melhores indicadores da elevada eficiência da ETE. A ETE da CETREL apresentou elevada remoção de DBO, DQO e toxicidade, sendo o TA-2 o mais eficiente.*

Palavras-chave: Ecologia; Estação de Tratamento de Efluentes; Pólo Industrial de Camaçari.

INTRODUÇÃO

Um tratamento de efluente adequado exige rigoroso controle do sistema utilizado, entendimento sobre a influência dos compostos tóxicos no processo e eficiência na remoção da carga tóxica, medida, muitas vezes, quanto à redução de DQO (demanda química de oxigênio), DBO (demanda bioquímica de oxigênio), ecotoxicidade, ou dos compostos cuja remoção é indispensável para disposição final (PATOINE *et al.*, 1997; UBAY ÇOKGÖR *et al.*, 1998; COSTA *et al.*, 2003; ARAÚJO *et al.*, 2005; SANTOS *et al.*, 2006).

Para efluentes complexos, o processo de tratamento mais amplamente usado é o tratamento biológico por lodos ativados (PUJOL & CANLER, 1992), que consiste de uma complexa assembléia de microrganismos composta por bactérias, protozoários, fungos e micrometazoários, que oxidam os compostos orgânicos e inorgânicos presentes nos efluentes (BENTO *et al.*, 2005; DAVIES, 2005). A estrutura da comunidade tem forte relação com as condições operacionais do sistema de tratamento, de modo que a avaliação microbiológica do lodo é capaz de fornecer informações sobre a performance da estação (POOLE, 1984).

Este estudo objetivou caracterizar a comunidade microbiana do lodo ativado da ETE da CETREL, identificando os principais grupos de microrganismos (protozoários e micrometazoários) encontrados nos TA, e verificar a existência de possíveis correlações com a qualidade do ETF, na busca de identificar algum grupo que pudesse ser usado como bioindicador da qualidade do efluente tratado e da eficiência da ETE. Com base nesta caracterização, avaliou-se a performance dos tanques de aeração que compõem esta ETE.

* Estudante de Biologia da UCSal; Pesquisadora da CETREL S.A. E-mail: biogisele@yahoo.com.br – Autora.

* Biólogo egresso (UCSal). Mestre em Ecologia e Biomonitoramento (UFBA). Biólogo da CETREL S.A. E-mail: cvmaraujo@yahoo.com.br – co-autor.

* Químico Industrial (UEPB). Mestre em Engenharia Civil (UFPB). Engenheiro da CETREL S.A. E-mail: fernandes@cetrel.com.br – co-autor.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de Estudo

A ETE da CETREL S.A., localizada na área do Pólo Industrial de Camaçari (PIC), trata efluentes de mais de 50 empresas, com um sistema de tratamento conforme descrito por Araújo *et al.* (2005), simplificado na Figura 1.

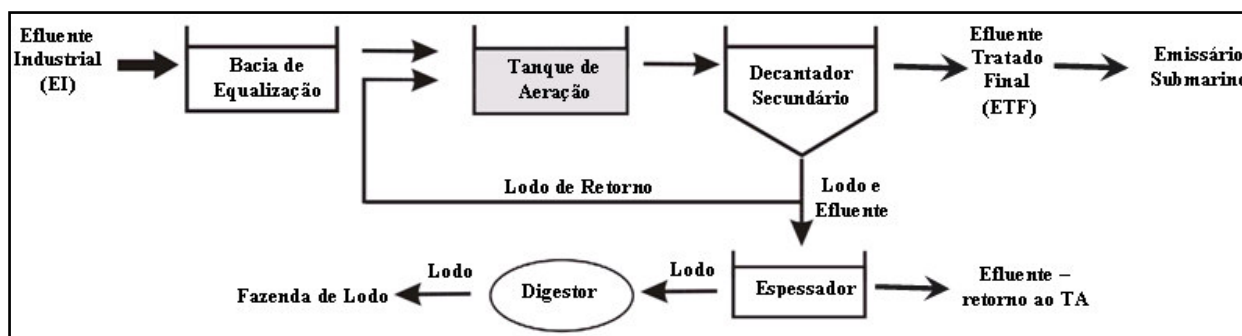


Figura 1. Esquema simplificado da ETE (modificado de ARAÚJO *et al.*, 2005).

Tanques de Aeração

Foram estudados três tanques de aeração (TA-2, TA-3 e TA-4), que operam simultaneamente. O TA-02 tem capacidade de 39.600 m³ e com capacidade para uma vazão máxima de 1.485 m³/h, com mistura do tipo carrossel, do qual é gerado o efluente tratado chamado ETF-1. O TA-03 opera com um sistema de mistura completa (convencional), tem capacidade de 48.000 m³, com uma vazão de 2.000 m³/h, sendo que o efluente daí gerado, misturado ao proveniente do TA-4, compõe o ETF-2. O TA-04 possui capacidade de 50.000 m³ e uma vazão máxima de 2.167 m³/h, sendo a mistura similar à do TA-2, tipo carrossel. O efluente gerado neste TA, juntamente com o do TA-3, compõe o ETF-2.

Amostragem

A amostragem do lodo dos três TA foi realizada em frascos de vidro tipo âmbar, não preenchidos completamente, a fim de manter oxigênio suficiente para os organismos até o momento da avaliação microbiológica, que ocorreu logo após a coleta. As amostras do ETF foram realizadas em frascos de polietileno, tendo sido coletadas após os decantadores secundários. O período de amostragem do lodo e dos efluentes compreendeu os meses de maio a novembro de 2005 e de fevereiro a maio de 2006 (n=75).

Nas amostras de ETF-1 (provenientes do TA-2) e ETF-2 (provenientes dos TA-3 e TA-4) foram avaliados os teores de SS e DQO (APHA, 2005). As amostras dos ETF-1 e ETF-2 são relativas ao dia posterior à caracterização do lodo, devido ao tempo de retenção de 24 h do efluente desde a saída do TA, passagem pelo decantador e posterior coleta. Todas as análises para caracterização destas amostras foram realizadas no mesmo dia da coleta. Nos TA foram medidas as concentrações de OD.

Avaliação Biológica

Na avaliação biológica da comunidade do lodo buscou-se identificar, através de análises microscópicas, os ciliados de vida livre (CVL), ciliados livre natantes (CLN), ciliados

pedunculados (CP), suctórias, flagelados, amebas, nematóides e rotíferos. A identificação dos organismos foi baseada em Kudo *et al.* (1931), Westphal (1977) e Needham & Needham (1978), sendo realizada até nível de gênero. A avaliação consistiu na retirada de uma alíquota de 60 µL do sobrenadante do licor misto (mistura efluente e lodo), juntamente com 20 µL do lodo decantado, no qual se concentrava a maior parte dos organismos, para montagem de lâmina e posterior observação em microscópio óptico. A cada análise, os grupos foram classificados em ausentes, raros, freqüentes e abundantes (Tabela 1). Todas as análises foram realizadas em duplicata.

Tabela 1 – Valores atribuídos à freqüência dos organismos encontrados nos TA.

Classificação	Valores	Freqüência de observação
Ausente	0	Não observados
Raro	1	1 a 15 organismos
Freqüente	2	16 a 30 organismos
Abundante	3	Acima de 30 organismos

Análises Estatísticas

As correlações entre as variáveis biológicas (grupos) e as variáveis dos ETF-1 e ETF-2, foram verificadas pelo método de correlação não-paramétrica de *Spearman* (ZAR, 1996). As correlações foram consideradas significativas com $p < 0,05$. Os cálculos para remoção de DBO, DQO e toxicidade foram realizados conforme Araújo *et al.* (2005), sendo realizados nas amostras compostas do ETF, formadas pelo ETF-1 e ETF-2.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os grupos de organismos encontrados foram: flagelados, CP, CLN, CVL, suctórias, nematóides e amebas, sendo que os flagelados, CLN e CP foram os grupos mais freqüentes, tendo sido encontrados nos três TA. Dos grupos analisados, apenas os rotíferos não foram encontrados. O TA-2 apresentou todos os grupos de organismos identificados, e com maior abundância que nos demais tanques. Suctórias, nematóides e amebas somente foram encontrados no TA-2.

A análise do TA-4 mostrou ser este o menos diverso, contendo apenas CLN, CP e flagelados, sendo o último grupo o mais freqüente. O TA-3, embora não tenha apresentado diversidade similar à observada no TA-2, foi mais diverso que o TA-4.

As análises de correlação foram realizadas com os grupos cuja ocorrência foi significativa ao longo do estudo, desse modo, no TA-2 foram utilizados os dados dos CLN, CP, CVL, flagelados e amebas, e para os TA-3 e TA-4 utilizaram-se os dados dos grupos CP, CLN e flagelados.

A presença dos ciliados (CLN, CP e CVL) demonstrou ser um bom indicativo da qualidade do ETF-1, quanto à carga de DQO (Tabela 8). Maior abundância destes grupos indicou menor carga de DQO no ETF-1, e, conseqüentemente, melhor qualidade. Estes resultados estão em conformidade com os obtidos por Bento *et al.* (2005), quando os ciliados foram associados à elevada remoção de DQO. Os ciliados têm grande importância nos processos de purificação de efluentes, pois removem a matéria orgânica dissolvida, como bactérias formadoras de flocos e partículas em suspensão, e clarificam o efluente por filtração (SALVADÓ *et al.*, 1995; MADONI *et al.*, 1996; RATSACK *et al.*, 1996).

Os flagelados não apresentaram correlação significativa com a carga de DQO do ETF-1. Este grupo apresentou o mesmo comportamento registrado por Cutolo & Rocha (2000), quando observaram que os flagelados estão relacionados com o processo de recuperação do sistema de tratamento após um choque de carga. Madoni (1994) mostrou que os flagelados têm influência negativa sobre o índice de qualidade do lodo, indicando má depuração ou, ainda, transição biológica (Vazollér *et al.*, 1989; BENTO *et al.*, 2005).

Houve correlação negativa entre os CVL e o teor de SS no ETF-1, o que corrobora com os dados obtidos com a DQO, quando os CVL demonstraram ser bons indicadores da qualidade do tratamento, uma vez que o elevado teor de SS no efluente tratado implica em menor eficiência do sistema no tratamento. Curds (1982) também observou um aumento de ciliados, seguido de redução no teor de SS, tendo explicado tal relação devido à alimentação dos ciliados sobre as bactérias, que compreendem a maior parcela da biomassa do lodo ativado e dos sólidos liberados nos efluentes (DAVIES, 2005).

O grupo dos CP demonstrou ser um importante parâmetro de inferência sobre a qualidade do ETF-2 quanto à carga de DQO e SS. No TA-3, os flagelados e CLN também correlacionaram-se negativamente com a carga de DQO de ETF-2.

Tabela 2 – Coeficientes de correlação entre os grupos biológicos do TA-2 e os parâmetros do ETF-1.

Grupos	Parâmetros	
	SS	DQO
Ciliados livre natantes	-0,16	-0,33*
Ciliados de vida livre	-0,25*	-0,26*
Ciliados pedunculados	-0,12	-0,27*
Amebas	-0,01	-0,06
Flagelados	-0,21	-0,18

* $p < 0,05$.

Tabela 3 – Coeficientes de correlação entre os grupos biológicos dos TA-3 e TA-4 e os parâmetros do ETF-2.

Grupos	Parâmetros			
	SS		DQO	
	TA-3	TA-4	TA-3	TA-4
Ciliados livre natantes	-0,20	-0,01	-0,29*	-0,02
Ciliados pedunculados	-0,30*	-0,11	-0,32*	-0,02
Flagelados	-0,26	-0,23*	-0,32*	-0,14

* $p < 0,05$.

A eficiência da ETE, durante este estudo, quanto à remoção de DQO, DBO e toxicidade foi de 90,0 a 99,0%, 77,0 a 95,0% e 70,5 a 94,9%, respectivamente, indicando elevado potencial de depuração dos efluentes. Tal cálculo foi feito apenas para a amostra composta do ETF, resultante do ETF-1 e ETF-2, assim, pela melhor performance do TA-2, e melhor qualidade do ETF-1, a eficiência deste TA deve ter sido sub-estimada.

Os valores médios e os respectivos desvios-padrão dos parâmetros avaliados nos TA e nos ETF-1 e ETF-2 estão sumarizados na tabela 10.

Durante todo o período de análise, as concentrações de OD no TA-4 foram extremamente baixas, com média de 0,32 mg/L, enquanto que nos TA-2 e TA-3 foram 1,63 e 2,39 mg/L, respectivamente (Tabela 4). Quanto à diversidade biológica, o TA-4 também foi o menos diverso, caracterizando-o como de menor eficiência. Devido à estrutura deste TA se assemelhar à do TA-2, com mistura do tipo carrossel, acredita-se que um fator importante que refletiu em baixa eficiência do TA-4 foi o déficit de oxigênio, reduzindo sua capacidade de biodegradação. De acordo com Davies (2005), a concentração de oxigênio é um fator limitante para as bactérias do lodo ativado, sendo exigido um mínimo de 1,2 mg/L para as bactérias formadoras de flocos e 0,6 mg/L para as bactérias filamentosas dispersas. Para este autor, abaixo destes valores, a taxa de respiração das bactérias reduz acentuadamente e favorece à proliferação de bactérias do tipo filamentosas anaeróbias facultativas, que são mais tolerantes ao déficit de O₂. Durante o período estudado, a proliferação excessiva de bactérias filamentosas foi mais frequente no TA-4, gerando um efluente com pobre decantabilidade e elevada turbidez.

A eficiência do TA-3, provavelmente, deve ter sido subestimada devido à junção do seu efluente tratado com o do TA-4, formando o ETF-2, pois este último tanque teve desempenho inferior.

Tabela 4 – Valores médios seguidos dos respectivos desvios-padrão dos parâmetros do EI, do licor misto dos TA e dos ETF-1 e ETF-2.

Parâmetros	Amostras				
	TA-2	TA-3	TA-4	ETF-1	ETF-2
DQO (mg O ₂ /L)	-	-	-	294,60 (130,14)	331,68 (107,56)
SS (mg/L)	5995,90 (1138,92)	7134,28 (1797,67)	7268,42 (2259,24)	36,64 (43,36)	42,52 (50,81)
OD (mg/L)	1,62 (0,70)	2,39 (1,35)	0,32 (0,46)	-	-

Nas avaliações microscópicas do lodo ativado, deve-se levar em conta que as alterações biológicas não seguem um padrão imediato, de modo que mudanças acentuadas na carga do efluente de entrada podem ter um efeito tardio sobre a comunidade. Além disso, as relações ecológicas entre as espécies é um fator relevante na avaliação da comunidade do lodo ativado (SALVADÓ *et al.*, 1995).

CONCLUSÕES

A presença dos ciliados (CLN, CP e CVL) foi o melhor indicador da qualidade do tratamento dos efluentes do PIC, de modo que a presença dos organismos deste grupo indica boa depuração. Os CVL parecem indicar maior estabilidade e eficiência do lodo no tratamento do efluente.

A ETE da CETREL apresentou elevado potencial de depuração, sendo que o TA-2 demonstrou ser mais eficiente no tratamento de efluentes, devido à maior diversidade de organismos identificados. O TA-3 não demonstrou ser tão diverso quanto o TA-2, porém apresentou maior diversidade que o TA-4.

Levando-se em conta que não há diferença no efluente industrial que alimenta os tanques, a diferença no sistema de mistura do TA-3 (mistura completa) pode ser o ponto crucial para que, mesmo com elevada concentração de OD, a eficiência seja menor que a do TA-2. O sistema do tipo carrossel parece ser mais adequado, por proporcionar melhor mistura do efluente

e maior contato com a biota do tanque. Para o TA-4, o maior problema quanto à eficiência na depuração do efluente deve estar relacionado com o déficit de OD no lodo, impedindo um tratamento mais adequado.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, C. V. M.; NASCIMENTO, R. B.; OLIVEIRA, C. A.; STROTMANN, U. J.; DA SILVA, E. M. **The use of Microtox to assess toxicity removal of industrial effluents from the industrial district of Camaçari (BA, Brazil).** Chemosphere, v. 58, p. 1277–1281, 2005.

APHA. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.** 21 ed. Baltimore, Maryland. Port City Press, American Public Health Association, 2005.

BENTO, A. P.; SEZERINO, P. H.; PHILIPPI, L. S.; REGINATTO, V.; LAPOLLI, F. R. **Caracterização da microfauna em estação de tratamento de esgotos do tipo lodos ativados: um instrumento de avaliação e controle do processo.** Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 4, p. 329-338, 2005.

COSTA, F. C.; RODRIGUES, F. A. M.; FONTOURA, G. A. T.; CAMPOS, J. C.; SANT'ANNA JR., G. L.; DEZOTTI, M. **Tratamento do efluente de uma indústria química pelo processo de lodos ativados convencional e combinado com carvão ativado.** Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 8, n. 4, p. 274-284, 2003.

CURDS, C. R. **The Ecology and Role of Protozoa in Aerobic Sewage Treatment Processes.** Annual Review of Microbiology, v. 36, p. 27-28, 1982.

CUTOLO, S. A.; ROCHA, A. A. **Correlação entre a microfauna e as condições operacionais de um processo de lodos ativados.** XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. I- 089, p. 1-7, 2000.

DAVIES, P. S. **The biological basis of wastewater treatment.** Glasgow, UK, Strathkelvin Instrument Ltd, 20 p. 2005.

KUDO, R. R. **Handbook of protozoology.** Springfield, IL: C.C Thomas, 451 p. 1931.

MADONI, P. **A sludge biotic index (SBI) for the evaluation of the biological performance of activated sludge plants based on the microfauna analysis.** Water Research, v. 28, n. 1, p. 67-75, 1994.

MADONI, P.; DAVOLI, D.; GORBI, G.; VESCOVI, L. **Toxic effect of heavy metals on the activated sludge protozoan community.** Water Research, v. 30, p. 135-141, 1996.

NEEDHAM, J. G.; NEEDHAM, P. R. **Guia para el estudio de los seres vivos de las aguas dulces.** Reverte, Barcelona, 82 p. 1978.

PATOINE, A.; MANUEL, M. F.; HAWARI, J. A.; GUIOT, S. R. **Toxicity reduction and removal of dehydroabietic and abietic acids in a continuous anaerobic reactor.** Water Research, v. 31, n. 4, p.825-831, 1997.

POOLE, J. E. P. **A study of the relationship between the mixed liquor fauna and plant performance for a variety of activated sludge sewage treatment works.** Water Research, v. 18, n. 3, p. 281-287, 1984.

PUJOL, R.; CANLER, J. P. **Biosorption and dynamics of bacterial populations in activated sludge.** Water Research, v. 26, p. 209-212, 1992.

RATSAK, C. H.; MAARSEN, K. A.; KOOIJMAN, A. L. M. **Effects of protozoa on carbon mineralization in activated sludge.** Water Research, v. 30, p. 1-12, 1996.

SALVADÓ, H.; GRACIA, M. P.; AMIGÓ, J. M. **Capability of ciliated protozoa as indicators of effluent quality in activated sludge plants.** Water Research, v. 29, n. 4, p. 1041-1050, 1995.

SANTOS, E. M. A.; SAMPAIO, G. M. M. S.; LEITÃO, R. C.; FACÓ, A. M.; MENEZES, E. A.; SANTAELLA, S. T. **Influência do tempo de detenção hidráulica em um sistema UASB seguido de um reator biológico com fungos para tratar efluentes de indústria de castanha de caju.** Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 11, n. 1, p. 39-45, 2006.

UBAY ÇOKGÖR, E.; SÖZEN, S.; ORHON, D.; HENZE, M. **Respirometric analysis of activated sludge behaviour-I. Assessment of the readily biodegradable substrate.** Water Research, v. 32, n. 2, p. 461-475, 1998.

VAZOLLÉR, R. F.; GARCIA, M. A. R.; GARCIA JR., A. D.; CONCEIÇÃO NETO, J. **Microbiologia de Lodos Ativados.** São Paulo, Ed. CETESB, 1989.

WESTPHAL, A. **Zoología especial – Protozoos.** Barcelona. Ed. Omega, 1977.

ZAR, J. H. **Biostatistical Analysis.** 3 ed. Ed., N.J., USA, Ed. Prentice-Hall Int, Upper Saddle River, 1996.