

## II-414 - A INFLUÊNCIA DA SALINIDADE NOS PROCESSOS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES POR LODOS ATIVADOS

**Luciana Silva dos Santos<sup>(1)</sup>**

Técnica em Meio Ambiente pela Escola Técnica Federal de Química – ETFQ/RJ; Bióloga pela Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ; Mestre em Engenharia Sanitária e Ambiental, pelo Programa de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Estadual do Rio de Janeiro – UERJ; Funcionária da Gerência de Tratamento de Esgotos – GTE 6.1, da Companhia Estadual de Águas e Esgotos do Estado do Rio de Janeiro. CEDAE/ RJ.

**Gandhi Giordano**

Engenheiro Químico. D.Sc. Engenharia Metalúrgica e de Materiais pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, PUC – Rio; Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Sanitária e do Meio Ambiente (DESMA) e Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental (PEAMB) da Universidade do Estado do Rio de Janeiro - UERJ; Diretor Técnico da empresa Tecnologia do Meio Ambiente - TECMA.

**Olavo Barbosa Filho**

Graduação em Engenharia Química pela FAAP - São Paulo, bacharelado em Farmácia pela UNESA - Rio de Janeiro; Mestrado em Engenharia de Materiais e Processos Químicos e Metalúrgicos pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, e doutorado (PhD) pelo Imperial College of Science, Technology and Medicine, University of London, UK . Professor associado do Departamento de Engenharia Sanitária e do Meio Ambiente - DESMA e do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental - PEAMB da Universidade do Estado do Rio de Janeiro- UERJ.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Ernesto Vieira, 453 - Rio de Janeiro – Rio de Janeiro – CEP 21630-130 - Brasil - Tel: +55 (21) 2455-3445 - e-mail: [luciana.saneamento@gmail.com](mailto:luciana.saneamento@gmail.com).

### RESUMO

O processo de tratamento de efluentes por lodos ativados é um dos processos de tratamento mais difundidos em todo o mundo, devido principalmente a qualidade do efluente obtido. Entretanto, trata-se de um processo biológico dependente da atividade bacteriana para a estabilização da matéria orgânica proveniente dos esgotos. Com isso, se faz necessária a manutenção das condições ideais para a sobrevivência e proliferação das bactérias envolvidas neste processo. Efluentes salinos causam um grande distúrbio no processo de lodos ativados. A análise biológica do lodo e a taxa de consumo de oxigênio são testes rápidos, práticos, baratos e sem geração de resíduos químicos tornando-os excelentes ferramentas para acompanhar a eficiência do processo. Foram considerados neste trabalho dois parâmetros para avaliar a influência da salinidade nos processos de lodos ativados, parâmetros estes que são amplamente utilizados em pesquisas, porém ainda é pouco utilizado para efetivo monitoramento de ETEs. Os resultados apontam para a intoxicação dos lodos ativados em concentrações de sal a partir da concentração de 5 g/L de NaCl para choque de carga salino, não parecendo haver melhoria de eficiência mesmo após 96 horas, nas concentrações acima de 8,5 g/L de sal. Os resultados sugerem que os testes de taxa de consumo de oxigênio e os testes da qualidade biológica são eficientes e complementares para a avaliação da influência da salinidade no processo de lodos ativados.

**PALAVRAS-CHAVE:** Respirometria, Tratamento Biológico, Microbiologia, Taxa de Consumo de Oxigênio (TCO), Efluente Salino.

### INTRODUÇÃO

Tratamentos adequados aos efluentes domésticos e industriais tornam-se fundamentais para controlar e prevenir a proliferação de inúmeras doenças; evitar a poluição dos solos e de mananciais, principalmente os de abastecimentos domésticos; promover o conforto e atender ao senso estético de rios e córregos; reduzir custos no tratamento de água, assim como diminuir a quantidade de produtos químicos necessários a desinfecção da água de abastecimento doméstico; controlar a poluição de praias e dos locais de recreação, com o objetivo de promover o turismo e preservação da flora e fauna aquática, entre outros (FUNASA, 2006). Aproximadamente 80% das doenças de veiculação hídrica e mais de um terço das mortes em países em desenvolvimento, são causados por consumo de água contaminada (REBOUÇAS *et al.*, 2006). No Brasil, as regiões Norte e

Nordeste são as que apresentaram em 2011 as maiores taxas de internações por doenças de veiculação hídrica correspondendo às regiões que tem menos acesso aos serviços de saneamento; enquanto que a região Sudeste, em especial o Estado de São Paulo, possui altos índices de coleta e tratamento de esgotos, assim como menores taxas de internações. As ações de saneamento reduzem a ocorrência de doenças e evitam danos ao ambiente e a saúde pública, promovendo bem estar e salubridade para população. O acesso universal a água de boa qualidade, a coleta e o tratamento das águas residuais são essenciais à qualidade de vida da população e à manutenção de um ambiente saudável (IBGE, 2011).

Os esgotos domésticos são formados preponderantemente de material orgânico como proteínas, carboidratos, gorduras e óleos, uréia, surfactantes e micro-organismos. Além dos produtos orgânicos, muitas Estações de Tratamento de Esgotos (ETE) recebem materiais inorgânicos indesejáveis, como: areia e/ou excesso de restos minerais dissolvidos em forma de sais. A areia é retirada por uma unidade própria, chamada de Caixa de Areia, que faz parte do tratamento preliminar. Os constituintes inorgânicos que podem conter nos esgotos incluem nutrientes, íons não metálicos, íons metálicos e gases. Os materiais orgânicos podem ser retirados do efluente no tratamento primário, por sedimentação e/ou no tratamento secundário por transformação química ou bioquímica. Os materiais inorgânicos, por sua vez, não são removidos do sistema de tratamento de esgotos tão facilmente e influencia de forma negativa na eficiência do processo em diversas plantas de tratamentos de efluentes. O cloreto de sódio, íon inorgânico que é alvo de estudo neste trabalho, apresenta o potencial de desagregar os constituintes do floco biológico, além de elevar a força iônica do meio causando alterações fisiológicas nos microrganismos presentes no processo de tratamento. Os efluentes domésticos, no geral, apresentam baixa concentração de cloretos. Uma pessoa libera aproximadamente 6 g de cloretos por dia, entretanto, indústrias de processamento de peixe, podem gerar efluentes com concentrações de 30 g/L de NaCl, enquanto que indústrias de couro podem chegar a ter efluentes com 80 g/L de NaCl. Além da contribuição dos efluentes industriais, os efluentes salinos podem ser gerados através de infiltrações da água do mar nas redes coletoras de esgotos, e esses chegam a ETE com elevada concentração de cloretos (JORDÃO; PESSÔA, 2005; METCALF & EDDY, 2003; LEFEBVRE *et al.*, 2006). Os cloretos são inconvenientes no processo biológico por lodos ativados por diversos motivos, entretanto, o aumento da força iônica, parece ser o fator que tem maior relação com os prejuízos ocasionados pelo excesso de sal nos efluentes. Os micro-organismos característicos do processo de lodos ativados normalmente são sensíveis às bruscas mudanças na concentração de sal. Além da mortandade de bactérias e protozoários, o excesso de sal também está relacionado com a formação de flocos frágeis e quebradiços, aumentando a concentração de sólidos em suspensão do efluente final.

## MICROBIOLOGIA DE LODOS ATIVADOS

Entre as diversas formas existentes para tratamento de efluentes, o processo biológico por lodos ativados, torna-se cada vez mais utilizado no tratamento de efluentes domésticos e industriais (GRAY, 2004; JORDÃO; PESSÔA, 2005; CETESB, 1985; VON SPERLING, 1997). O processo por lodos ativados baseia-se na capacidade decompositora de vários micro-organismos, que quando em ambiente aerado, degradam a matéria orgânica em compostos mais simples como CO<sub>2</sub> (gás carbônico) e água. A possibilidade de bactérias, protozoários, material orgânico dissolvido, colóides, pequenos particulados e material inorgânico de se aglomerarem quando supridos de oxigênio e homogeneização, formando flocos em suspensão no reator, facilita o processo de degradação do material orgânico biodegradável presente nos esgotos. A conservação dessa biomassa em forma de flocos é essencial para obtenção de um efluente final clarificado (BITTON, 2005). A formação dos flocos e a clarificação do efluente são baseados na agregação bacteriana e mecanismos de adesão das mesmas, através da excreção de substâncias poliméricas, em inglês conhecida como *extracellular polymeric substance* (EPS). A agregação das superfícies bacterianas deve-se principalmente às interações hidrofóbicas das estruturas de superfície da membrana, como proteínas e íons. Os cátions divalentes como Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> são considerados um dos fatores para estabilidade e compressão dos flocos biológicos pois eles agem como pontes entre as substâncias poliméricas extracelulares (EPS) e as bactérias, porém quando a concentração deles é muito elevada pode ocorrer processo de desestabilização do lodo, por dois motivos: pela plasmólise celular das espécies bióticas contidas no lodo ativado, e por mudança de cargas das superfícies dos flocos (ZITA; HERMANSSON, 1994).

Embora seja colonizado por numerosos micro-organismos, a agitação constante e a elevada turbidez tornam o ecossistema artificial dos lodos ativados um ambiente aquático de características singulares, inóspito para

macrofauna aquática e algas (GOMES, 2009). Sendo assim, os componentes bióticos dos lodos ativados são representados por micro-organismos decompositores como bactérias e fungos, e por micro-organismos consumidores, como protozoários e micrometazoários, que se alimentam de bactérias dispersas e outros organismos (MADONI, 1994). Essa microfauna presente nos processos de lodos ativados constitui-se de variada composição, principalmente o diversificado e abundante grupo das bactérias; porém sua análise qualitativa é demorada e dispendiosa. Levando em consideração a praticidade e facilidade de identificação, a análise dos grupos de protozoários, torna-se uma excelente ferramenta como parâmetro biológico nas plantas de tratamento de esgotos por lodos ativados (CETESB, 1985). Os protozoários são organismos eucarióticos unicelulares, altamente especializados, onde uma única célula possui diferentes funções que sustentam a vida, tais como a locomoção, aquisição de alimento, transporte interno e a reprodução. As organelas locomotoras dos protozoários podem ser flagelos, cílios ou pseudópodes (BARNES, 1996). A estrutura da comunidade, distribuição e frequência dos organismos estão relacionadas com as condições operacionais de tratamento, com a quantidade e qualidade do esgoto que alimenta o sistema e a uma série de fatores atribuídos a cada processo de tratamento (CUTOLO; ROCHA, 2000). De acordo com Madoni (1994), uma ETE eficiente possui um lodo ativado com alto número de células da microfauna, superior a  $10^6$  organismos/L; possui uma microfauna de protozoários composta em sua maioria por ciliados livres e pedunculados, quase nenhum flagelado; e grupos de ciliados livres altamente diversificados.

## ÍNDICES BIOLÓGICOS DO LODO

O metabolismo de lodos ativados envolve processos catabólicos e anabólicos e entre seus resultados estão o crescimento da biomassa dos lodos ativados e o consumo de oxigênio (FERNANDES, 2001). A respiração aeróbia é um processo metabólico formado por dezenas de reações químicas que objetiva a formação de energia na forma de ATP, que mais tarde serão utilizadas em outras reações metabólicas celulares. O processo de quebra das moléculas orgânicas até a formação de ATP possui diversas reações, como ciclo de Krebs e cadeia transportadora de elétrons (BROWN, 2005). O processo de catabolismo, também conhecido como respiração exógena, envolve reações de oxidação de matéria orgânica, gerando ATP através da movimentação de elétrons e tendo o oxigênio comoceptor final de elétrons. O processo de anabolismo ou respiração endógena envolve reações que consomem energia, que resultam em novas células, ou seja, reações de biossíntese. A maioria da energia utilizada nessas reações é utilizada para síntese proteica. As células utilizam a energia gerada no catabolismo para sintetizar “blocos de construção”, macromoléculas, reparação de danos às células e manter o transporte ativo através da membrana celular. A maioria dos precursores das macromoléculas são derivados dos intermediários gerados no catabolismo (BROWN, 2005). O processo de lodos ativados pode ser afetado por várias maneiras: por bloqueio em alguma etapa das reações, inativação em alguma organela específica das células bacterianas, seja por desarranjo da membrana celular dos micro-organismos, pela desfloculação dos flocos biológicos (ZITA; HERMANSSON, 1996) ou pela plasmólise de células bacterianas ocasionada por elevada pressão osmótica, este causado principalmente por excesso de sais nos efluentes (MEDEIROS, 2005). É necessária a verificação de diversos fatores condicionantes para o desenvolvimento de uma microfauna saudável e metabolicamente ativa para formação de flocos biológicos e degradação da matéria orgânica presente no efluente.

As condições de operação de uma planta de tratamento de esgotos determinam quais micro-organismos suportam tais adversidades em um ambiente tão hostil quanto os esgotos. Espera-se que mudanças populacionais ocorram tão logo haja mudanças nas características preliminares do esgoto a ser tratado, ou mudanças nas condições operacionais da ETE. Há diversos trabalhos na literatura relacionando os parâmetros operacionais com a análise microscópica da microfauna e da forma dos flocos formados durante o processo. O ciclo de vida, a taxa de crescimento, taxas ótimas de oxigênio, de matéria orgânica e de cargas tóxicas, são alguns parâmetros indicativos de adaptação de cada micro-organismo às condições de sobrevivência e crescimento nesse ecossistema artificial que é o tanque de aeração (BENTO *et al.* 2005; FERREIRA, 2008; MADONI, 1993; ARAÚJO, 2010). Alguns autores trabalharam para descrever modelos aplicados ao diagnóstico da operação através de parâmetros biológicos. Madoni (1994) sugere a utilização do Índice biológico do lodo (IBL) que define a qualidade biológica utilizando valores numéricos em 4 classes. A partir das características singulares dos diversos grupos de protozoário, criou grupos chaves e correlacionou-os como positivos e negativos no sistema. O IBL foi criado com base nos resultados obtidos por uma pesquisa conduzida por 20 anos, em 45 diferentes plantas de lodos ativados, sobre micro-organismos de lodo ativado. O método proposto leva em consideração parâmetros físico-químicos, as condições de operação das plantas, a

abundância e a diversidade da microfauna. Madoni (1994) dividiu grupos de acordo com comportamento, com as relações de predação, competição e com os resultados de colonização e sucessão populacional dos lodos ativados. Dentre os grupos mais conhecidos e importantes são os grupos de ciliados, ao qual inclui ciliados livres e sésseis.

## RESPIROMETRIA

O oxigênio dissolvido juntamente com a matéria orgânica são elementos preponderantes no processo de tratamento por lodos ativados, a concentração de OD deve ser suficiente para fornecer oxigênio aos microrganismos, possibilitando-os oxidar a matéria orgânica biodegradável e converter amônia em nitrato (nitrificação biológica). Testes fáceis e rápidos chamados testes de respirometria tem sido ótimas ferramentas para analisar o metabolismo de lodos ativados e verificar o quanto de oxigênio que está sendo consumido pela comunidade microbiana aeróbia. Os testes consistem em analisar a taxa de consumo de oxigênio em determinada quantidade de amostra de lodos ativados, ou em tempo real com sondas e monitoramento automático. Os respirogramas têm sido cada vez mais utilizados em projetos de pesquisa, pois permitem obter importantes indicativos sobre a atividade metabólica da biomassa, no instante que alguma mudança operacional e/ou ambiental ocorra e que afete a microbiota. Com a implantação dos testes de respirometria de maneira rotineira, o acréscimo de cargas tóxicas, a biodegradabilidade do substrato ou de outros influentes, o decaimento no suprimento de oxigênio, entre outras variações que frequentemente as ETEs estão propensas, podem ser rapidamente identificadas e reparadas, de modo que não haja tempo para haver perda da microfauna presente nos tanques de aeração. Uma diminuição no valor da taxa de consumo de oxigênio (TCO), quando não há redução do *input* de carga orgânica, pode representar algum incremento de agente intoxicante; falta de OD, temperatura inadequada ou algum outro fator que proporcione a inabilidade da biomassa frente à geração de energia (SPANJERS; KESSMAN, 1998; VANROLLENGHEN *et al.* 1999; BROUWER *et al.* 1997; FERREIRA *et al.* 2002; ANDREOTOLLA *et al.* 2004). Os respirogramas representam a taxa de consumo de oxigênio da parte efetivamente ativa do processo, pois a parte inativa não participa das reações exógenas (FERNANDES, 2001). Diversos autores atentam para a utilização dos testes de respirometria como alternativa e/ou complemento para o acompanhamento do crescimento da biomassa, efeitos metabólicos do meio, eficiência da biomassa para degradação da matéria orgânica do meio (COSTA, 2009; FERNANDES, 2001)

## METODOLOGIA

Para realização deste trabalho foi utilizado lodo ativado do tanque de aeração da ETE Penha (ETEP), pertencente à Companhia Estadual de Águas e Esgotos do Rio de Janeiro (CEDAE). As amostras de lodo ativado foram coletadas em diferentes semanas ao longo dos meses de Janeiro a Abril, no período matutino, e sempre no mesmo ponto do tanque de aeração da ETEP. As amostras coletadas eram armazenadas em frascos de 5 litros de polietileno e levadas às dependências da empresa Tecnologia em Meio Ambiente LTDA (TECMA), onde foram realizados os experimentos deste trabalho. Localizada no município do Rio de Janeiro, a TECMA possui laboratórios credenciados pelo INEA – Instituto Estadual do Ambiente sob certificado CCL nº IN002298 e acreditados pelo INMETRO sob o certificado CRL 0200. O presente estudo consistiu em verificar a influência da salinidade nos processos de lodos ativados através de análises de respirometria e análise microscópica dos lodos. Foram realizados dois diferentes tipos de experimentos para verificar a influência nos parâmetros supracitados. No experimento A foi avaliada a influência nos lodos ativados no momento que era adicionado sal e no experimento B foi avaliada essa influência ao longo de 5 dias.

## PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

O lodo ativado era acondicionado nos reatores de bancada assim que chegavam às dependências da TECMA. Os reatores de bancada eram de material de polipropileno, possuíam um volume útil de 10 litros, com altura e largura de 35 e 20 centímetros, respectivamente. O fundo do reator possuía uma pequena declividade que garantia a homogeneização do lodo juntamente com a bomba de aeração acoplada a uma mangueira, na ponta da mangueira uma pedra porosa era conectada, para ocorrer a difusão do ar em toda amostra. Os reatores eram alimentados com efluente sintético, de composição de acordo com Papadimitriou *et al.* (2007), numa relação A/M=0,15, e os testes iniciavam quando as análises de microscopia do lodo ativado demonstravam uma constância na biodiversidade e densidade populacional dos protozoários. Normalmente essa estabilidade era



conseguida com aproximadamente 3 a 4 dias de aclimação do lodo nos reatores de bancada. Não foi realizado descarte de lodo e nem retirada de decantado em nenhum reator durante o experimento. Todos os experimentos foram realizados em triplicatas amostrais e triplicatas experimentais. O lodo ativado era intoxicado com uma solução salina mãe de concentração 0,4 g/mL de sal marinho em água destilada, armazenada em geladeira a aproximadamente 4°C até a conclusão dos experimentos. No início de cada teste eram verificadas a salinidade e a condutividade desta solução para verificar uma possível mudança de concentração.

#### **EXPERIMENTO A:**

O experimento A consistiu em avaliar a influência da salinidade, no momento em que o lodo ativado recebia choques de carga salina. Foram realizados na ordem crescente de concentração de sal: Controle, 5, 10, 15, 20, 25, 30 e 35 g/L de NaCl. Essas concentrações foram estabelecidas de forma a atender o maior número possível, concomitantemente, sem comprometer a viabilidade técnica para execução dos testes. A concentração última, de 35 g/L, foi escolhida por ser a concentração salina aproximada da água do litoral brasileiro. Através de testes de respirometria foi determinada a taxa de consumo de oxigênio (TCO) e, posteriormente, a taxa de consumo de oxigênio específica (TCOe mg/mg.h). A TCOe é obtida através da divisão da TCO pela concentração de sólidos em suspensão voláteis (SSV). Para complementar essa análise as amostras foram submetidas à microscopia óptica, para obtenção do índice biológico de lodo, de acordo com Madoni (1994). Os testes do experimento A foram repetidos por 3 vezes no mesmo dia (triplicata da amostra) e depois foram novamente repetidos por mais 2 dias diferentes. A cada dia de experimento, um “novo” lodo era coletado na ETEP e todo o esquema experimental era repetido.

#### **EXPERIMENTO B:**

O experimento B consistiu em verificar a influência da salinidade e a possível adaptação do lodo ativado por cinco dias consecutivos, submetido a diferentes concentrações de efluente salino (Controle, 8,5 g/L e 17 g/L de NaCl), através dos testes de respirometria e qualidade biológica do lodo. As concentrações de sal foram escolhidas supondo a situação em uma ETE que tem influência da maré e recebe água do mar, onde 50% do efluente é doméstico e 50% é água do mar, assegurando assim uma concentração aproximada de 17 g/L. A concentração de 8,5 g/L foi escolhida para poder se obter uma curva com um ponto intermediário entre o 17 g/L e o controle (sem sal). O ensaio consistiu de três reatores: onde no qual era acondicionado lodo para teste controle, ou seja, sem adição de intoxicante; o segundo com salinidade de 8,5 g/L de NaCl; e o terceiro com salinidade de 17 g/L de NaCl.

Os reatores foram mantidos em temperatura ambiente, variando na faixa de valor de 21,0° a 25,0°, alimentados com a mesma solução e concentração de efluente sintético e aerados, com o mesmo fluxo de ar. A alimentação foi realizada respeitando a relação A/M de 0,15 do reator controle. A partir dessa estimativa, alimentava-se os outros dois reatores com a mesma quantidade de efluente sintético que era utilizado para alimentação do reator controle, para todos tivessem a mesma concentração de entrada de substrato, permitindo assim a análise comparativa dos dados obtidos e as devidas discussões dos resultados. As medições de pH e condutividade foram realizadas por sonda multiparamétrica, de marca YSI, modelo 63. Tais medições eram realizadas após a devida calibração do aparelho. As análises de alcalinidade de bicarbonatos e SSV foram executadas de acordo com protocolo preconizado pelo livro “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater” de autoria da APHA, AWWA e WEF (2005), cuja norma/procedimento foram 2320 B e 3111 D, respectivamente.

#### **TESTES DE RESPIROMETRIA**

Os testes respirométricos são simplificados e empregam equipamentos rotineiros e menos sofisticados em ETEs e laboratórios de pesquisa, como os oxímetros, placa de metal com agitador magnético e frasco de DBO. Os testes de respirometria foram realizados de acordo com a metodologia descrita por Ferreira *et al.* (2002); Beranger (2009); Costa (2007) e Araújo (2010). Uma amostra de 300 mL de lodo ativado do reator foi colocado em béquer de 500 mL e adicionados 1,5 mL de solução de sacarose na concentração de 30 g/L, solução salina na concentração pretendida e deixado em aeração por 15 minutos. A solução de sacarose é adicionada por ser um substrato facilmente degradável, e nesta etapa pretende-se realizar a estimulação do lodo

ativado. O teste controle era realizado sem adição de solução salina. Após os 15 minutos sob aeração, essa mistura (lodo ativado + sacarose + intoxicante) era colocada em frasco de DBO, de maneira cuidadosa para que não houvesse produção de bolhas de ar no interior de frasco, e essas pudessem ser dissolvidas durante o teste e comprometer o resultado. O frasco por sua vez era colocado sob a placa de metal com agitador magnético e acoplado ao oxímetro. O bocal do frasco de DBO é na medida exata para o encaixe do eletrodo do oxímetro de maneira que não ocorra troca de gases do interior do frasco com a atmosfera. A agitação é realizada para haver a constante homogeneização da mistura. Feito isso, foi anotado a concentração de OD no tempo 0 minuto e a cada 30 segundos, por 5 minutos e então calculadas as taxas de consumo de oxigênio e as taxas de consumo de oxigênio específico para cada amostra.

## QUALIDADE BIOLÓGICA DO LODO:

A qualidade biológica do lodo foi verificada através de análises microscópicas e enumerando valores de acordo com índice de Madoni (1994). Após os testes respirométricos foram coletados um volume de 10 mL da amostra, armazenados em frascos com tampas de 50 mL e observados em microscopia óptica. O manual técnico da CETESB (1985) atenta para o preenchimento do frasco, que não deve exceder a metade do seu volume de modo a manter oxigênio em sua parte superior, necessário à sobrevivência da microfauna até o período de análise. A observação em microscopia foi realizada imediatamente após a batelada dos testes respirométricos, aproximadamente 60 minutos após a mistura do lodo ativado com o intoxicante (sal).

Foi retirada uma alíquota de 0,05 mL de amostra dos frascos de 50 mL e colocada em lâmina de tamanho 25,4 x 76,2 mm e coberto por uma lamínula. Madoni (1994) adverte que 0,025 mL de sub-amostras de lodos ativados, repetidos por uma ou duas vezes são suficientes. Não foi adicionado nenhum tipo de conservante ou preservativo químico, já que é de fundamental importância a observação “*in vivo*” para serem percebidas as mudanças na estrutura e comportamento dos protozoários. A observação foi realizada em microscópio óptico de Marca Nikon, Modelo Eclipse E200MVR. As observações foram realizadas em aumento das lentes objetivas de 4x, 10x e 40x.

O procedimento proposto por Madoni (1994) é baseado na diversidade e densidade de protozoários que estão entre os grupos chaves da microfauna dos lodos ativados; logo, deve ser dada atenção especial na identificação dos grupos chave e na enumeração desses organismos. Os organismos incluídos nos grupos chaves são: pequenos e grandes flagelados, ciliados sésseis, ciliados predadores de floco e ciliados livres natantes e tecamebas. O índice a ser atribuído ao lodo ativado é obtido pela Tabela 1, como segue abaixo.

**Tabela 1: Tabela para determinação do IBL**

Grupo dominante	Densidade (ind./L)	NÚMEROS TAXONÔMICOS							
		>10		8 – 10		5 - 7		<5	
		F < 10	10 < F < 100	F < 10	10 < F < 100	F < 10	10 < F < 100	F < 10	10 < F < 100
Ciliados livres + Sésseis e/ou Tecamebas	$\geq 10^6$	10	8	9	7	8	6	7	5
	$< 10^6$	9	7	8	6	7	5	6	4
Ciliados sésseis >80%	$\geq 10^6$	9	7	8	6	7	5	6	4
	$< 10^6$	8	6	7	5	6	4	5	5
<i>Opercularias</i> spp	$\geq 10^6$	7	5	6	4	5	3	4	2
	$< 10^6$	6	4	5	3	4	2	3	1
<i>Vorticella</i>	$\geq 10^6$	6	4	5	3	4	2	3	1
	$< 10^6$	5	3	4	2	3	1	2	0
Ciliados livres natantes	$\geq 10^6$	5	3	4	2	3	1	2	0
	$< 10^6$	4	2	3	1	2	0	1	0
Pequenos flagelados	$\geq 10^6$	4		3		2		1	
	$< 10^6$	3		2		1		0	

Adaptado de Madoni (1994).

Os grupos chaves são correlacionados um abaixo do outro da parte superior para parte inferior da tabela e indicam uma qualidade cada vez pior do lodo. No cabeçalho da tabela contem quatro faixas de enumeração, que indicam a quantidade de números taxonômicos presentes na amostra. Os micrometazoários contribuem com apenas uma unidade sistemática, dada dificuldade de identificação das espécies. Ainda no cabeçalho, há consideração da quantidade de flagelados,  $F < 10$  e  $10 < F < 100$ . Além disso, a Tabela 1 considera a densidade total da microfauna (segunda coluna). Para determinar o IBL é necessário então, primeiramente selecionar a linha que indica o grupo dominante que se tem na amostra, juntamente com a densidade ( $\geq 106$  ou  $< 106$  ind/L), depois é necessário atribuir a quantidade de unidades taxonômicas e posteriormente a densidade de pequenos flagelados ( $F < 10$  ou  $10 < F < 100$ ). O IBL é então atribuído no ponto de interseção entre a linha e a coluna. Os valores do IBL podem então ser agrupados dentro das 4 classes de qualidade do lodo, numerados por algarismos romanos, como apresentado na Tabela 2.

**Tabela 2: Conversão do IBL para classificação em classes**

Valor do IBL	Classe	Características
8-10	I	Lodo muito bem colonizado e estável, excelente atividade biológica, muito boa performance
6-7	II	Lodo bem colonizado e estável, atividade biológica decrescendo, boa performance
4-5	III	Insuficiente depuração biológica no tanque de aeração, performance pobre
0-3	IV	Pobre depuração biológica no tanque de aeração, performance muito baixa

## RESULTADOS E DISCUSSÃO:

Foram calculados a média, o desvio padrão e os limites mínimo e máximo aceitáveis para cada grupo de amostra, através da Equação 1 dentro de um intervalo de confiança de 97,5%. Os resultados que ficaram fora desse intervalo de valores foram retirados do grupo amostral. Os valores apresentados nos gráficos são as médias das réplicas.

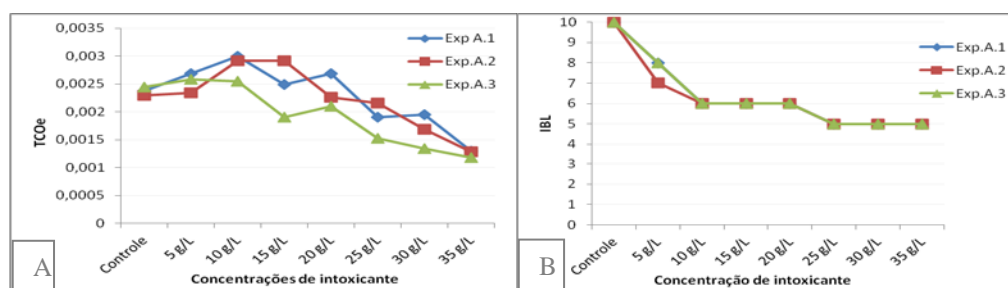
**Intervalo de confiança 97,5% = Média  $\pm$  2x desvio padrão**

equação (1)

As análises dos testes de respirometria geram um valor que é a variação de oxigênio dissolvido, dividindo essa variação pelo tempo, a taxa de oxigênio consumido (TCO) pela comunidade bacteriana presente na amostra é obtida. O valor bruto da TCO não leva em consideração a concentração da microbiota presente, apenas a quantidade que fora consumido. Sendo assim, os resultados de TCO foram divididos pela concentração de SSV e apresentados como TCOe (taxa de consumo de oxigênio específica), que indica o quanto de oxigênio em miligramas foi consumido por uma sabida população de bactérias e protozoários por tempo. Com esse valor pode-se comparar a atividade microbiana deste trabalho, com outros trabalhos que também utilizaram essa taxa para expressar os resultados. O índice biológico do lodo (IBL) foi realizado levando em consideração diversos itens que compõem a Tabela 1, como descrita na metodologia deste trabalho. Após o preenchimento desta tabela os valores são convertidos para a Tabela 2, onde o lodo é classificado por classes. Para melhor visualização dos resultados, optou-se neste presente trabalho apresentar os resultados gráficos somente na forma do IBL, onde os valores variam de 0 a 10.

## RESULTADOS DO EXPERIMENTO A

A Figura 1 representa os gráficos gerados a partir dos resultados encontrados nos experimentos de choque de carga salina, onde o gráfico A demonstra a queda da Taxa de Consumo de Oxigênio (TCOe) e o gráfico B, a perda da qualidade biológica do lodo à medida em que é aumentada a concentração de salinidade nos testes.



**Figura 1 – Gráficos com os resultados do experimento A. A) TCOe x [NaCl] e B) IBL x [NaCl]**

Observando o gráfico A da Figura 1, percebemos que nas concentrações de 5 e 10 g/L de NaCl houve um aumento na taxa de consumo de oxigênio específica (TCOe) comparado com a amostra controle (0 g/L de NaCl), indicando um estímulo na respiração (aumento do consumo de OD). Esse estímulo poderia ser explicado como uma melhoria no processo de degradação do substrato, entretanto para essa afirmação ser válida, a concentração de NaCl do efluente utilizado para alimentação deveria estar abaixo da faixa ideal e a adição de sal explicaria o estímulo, no entanto a alimentação dos reatores testes foi feita com efluente sintético de composição ideal à microbiota, refutando assim a ideia de ‘melhoria’ do processo. O estímulo pode ser explicado pelo aumento do metabolismo da microbiota, e consequentemente da absorção de oxigênio como uma tentativa de reagir à situação de estresse.

Elela *et al.* (2010) encontraram resultados semelhantes, quando adicionaram diferentes concentrações de NaCl em lodos ativados com diferentes culturas bacterianas e em todas as culturas eles obtiveram melhores resultados de eficiência nas amostras dos reatores operados com 5 g/L de sal. Os autores explicam que essa concentração de sal pode ser estimulante para o lodo ativado. Berenger (2009) ao trabalhar com variações de pH em lodos ativados, obteve maiores resultados dos testes da TCO nas amostras que o pH estava fora dos valores de origem, exceto nos valores extremos (maiores que 9 e menores que 5), sugerindo que a alteração ambiental para valores não críticos, pode levar o lodo ativado a uma maior atividade metabólica como defesa ou resistência às modificações do meio, e dessa forma levar a um maior consumo de OD.

Além dos testes de respirometria que avaliaram a atividade metabólica dos lodos ativados, foram feitos testes da análise do lodo a fim de verificar a qualidade biológica deste, frente à intoxicação com solução salina, como demonstra o gráfico B da Figura 1. As amostras são comparadas com a qualidade biológica do controle, no qual os protozoários encontravam-se em grande diversidade. Na concentração de 5 g/L já é percebida a degradação da qualidade do lodo. Foi observada diminuição do número de táxons, a quantidade de ciliados livres e predadores de flocos, assim como a diminuição dos micrometazoários. Foi evidente a lenta movimentação dos micrometazoários que se mantiveram vivos. Já nas amostras com concentração de 10 g/L de NaCl não foi encontrado nenhum micrometazoário em movimento, os ciliados predadores de flocos já não eram mais encontrados, assim como houve a drástica diminuição de ciliados sésseis. Os resultados sugerem que o choque de carga salina no processo de lodos ativados leva a uma rápida resposta da população de protozoários, e consequentemente na qualidade biológica do lodo, levando a mortalidade e/ou encistamento dos protozoários. Observando o gráfico B da Figura 2 percebemos que a partir das concentrações de 25 g/L de NaCl a qualidade biológica se manteve estável, com o índice biológico do lodo no valor 5. Percebemos que houve apenas uma única unidade taxonômica nos testes do IBL nas concentrações de 25 g/L até 35 g/L, cujo representante são os ciliados sésseis. As particularidades estruturais dos subgrupos, que compõem o grupo dos protozoários, os permitem sobreviver em diversas condições ambientais. Os ciliados sésseis formam um grupo conhecido por sua versatilidade nos mais diversos ambientes, ou seja, são capazes rapidamente de se adaptarem em condições adversas, como é o caso do ambiente salino reproduzido nos experimentos deste trabalho. Observamos que quanto menor a taxa de respiração, menor é a qualidade biológica do lodo, levando-nos a crer numa diminuição no metabolismo dos lodos ativados, e consequentemente numa desaceleração no processo de degradação da matéria orgânica, podendo ocasionar momentaneamente uma situação indesejada no processo.



## RESULTADOS DO EXPERIMENTO B

O experimento B foi realizado para tentar esclarecer melhor a influência do sal nos sistemas de lodos ativados nas horas seguintes após o choque de carga salino. Foi avaliada, através das taxas de consumo de oxigênio e da qualidade biológica do lodo, a influência que a salinidade exerceu ao longo de 96 horas nos reatores de estudo. Foram operados simultaneamente três reatores, o reator controle (0 g/L de NaCl), o reator com 8,5 g/L e o reator com 17 g/L de NaCl. O gráfico A, da Figura 2, apresenta a média das triplicatas das taxas de consumo de oxigênio específico dos três reatores do experimento B.1., e analisando-o percebe-se a diferença da atividade metabólica dos reatores à medida que há acréscimo de sal. O reator operado com 17 g/L manteve as taxas de consumo relativamente estáveis durante todo o período, enquanto que os outros dois reatores, apresentaram uma repentina queda entre 24 e 48 horas de experimento, entretanto, após 72 horas de intoxicação salina, já haviam se recuperado. Apesar da instabilidade das curvas, os reatores apresentaram o comportamento esperado, no qual as taxas de consumo de oxigênio do reator controle mantiveram-se sempre mais altas que os reatores operados com NaCl.

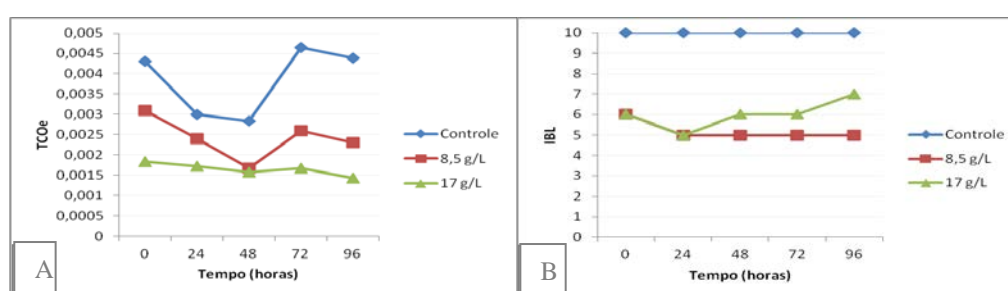


Figura 2 – Gráficos com resultados do experimento B.1 - A)TCOe x [NaCl] e B) IBL x [NaCl]

O reator controle manteve-se estável em todo o experimento B.1, no qual a população de protozoários conservou-se diversificada e populosa, como era esperado. Os reatores operados com sal apresentaram queda logo a partir da primeira análise por microscopia. O experimento B.1 indica que há perda na diversidade da comunidade de protozoários presentes nos lodos ativados, e predominância dos protozoários que são conhecidos por se adaptarem facilmente em ambientes com condições precárias, como é o caso do ambiente salino nas concentrações pesquisadas.

A Figura 3 apresenta os resultados dos experimentos B.2, em forma de gráficos A e B, onde A apresenta os resultados da TCOe, e o gráfico B o IBL. As TCOe do reator controle, como esperado, foram maiores quando comparados com as taxas dos reatores operados com sal. Assim como no experimento B.1, o reator operado com 8,5 g/L de NaCl terminou o experimento com TCOe mais baixas que no início do experimento, corroborando a idéia que ETEs operadas com efluentes nessa faixa de salinidade tem perda na eficiência do tratamento. O reator operado com 8,5 g/L de NaCl apresentou um crescente aumento de inibição da TCOe ao longo das 96 horas que o experimento foi realizado, indicando que não há adaptação no processo. O reator operado com 17 g/L de NaCl iniciou o experimento com TCOe mais inibidas que no final, indicando que, apesar de baixa, houve melhoria na degradação da matéria orgânica.

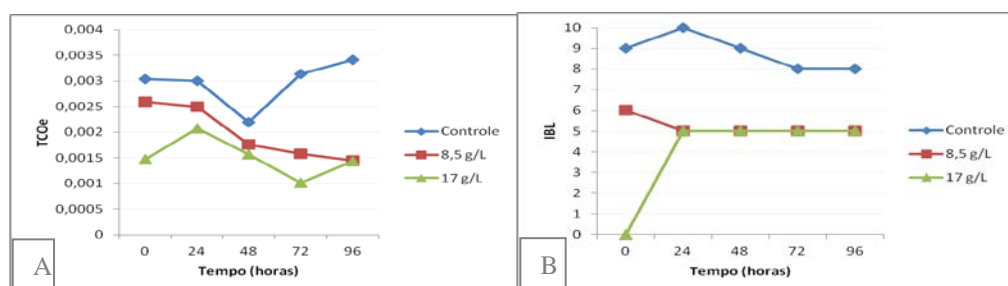
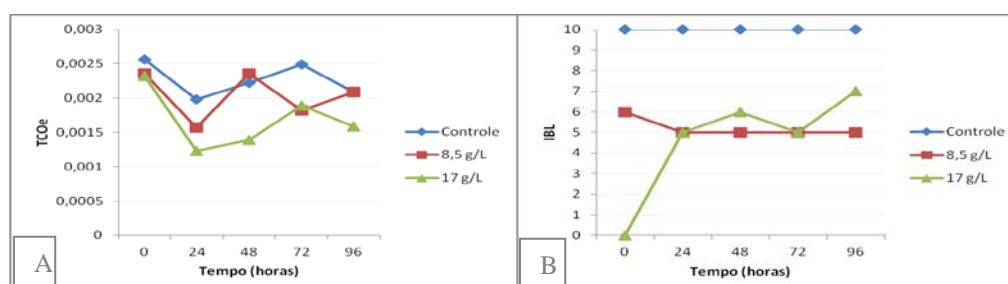


Figura 3 – Gráficos com resultados do experimento B.2 - A)TCOe x [NaCl] e B) IBL x [NaCl]

O reator controle no experimento B.2 apresentou uma leve diminuição no IBL quando comparado com experimento B.1, e deve-se a presença predominante de ciliados livres ao invés de ciliados predadores de flocos, como ocorreu no experimento B.1. O reator operado com 8,5 g/L de NaCl manteve-se relativamente constante, já que o IBL manteve-se entre 5 e 6 em todo período experimental. O reator operado com 17 g/L apresentou um IBL muito baixo na primeira observação em microscopia, em todas as amostras do experimento B.2, entretanto após 24 horas já apresentava melhoria, e com a presença de ciliados sésseis, ajudando assim a elevar o índice da qualidade biológica até o fim das 96 horas de experimento.

O experimento B.3 foi o que obteve menores taxas de consumo tanto no reator controle quanto nos reatores operados com cloreto de sódio, que mantiveram suas taxas de consumo baixas. O reator operado com 8,5 g/L de cloreto de sódio, teve um ápice de respiração entre 24 e 72 horas e não foi encontrado razão justificável para tal fenômeno. Em termos de inibição, onde a TCOe do reator controle era considerada como 100% e assim encontrava-se a porcentagem de inibição da TCOe dos reatores intoxicados com cloreto de sódio, o experimento B.3 apresentou perfil bastante diferente dos outros gráficos apresentados acima. Assim como o reator operado com 8,5 g/L de cloreto de sódio, o reator operado com 17 g/L também manteve-se instável durante o experimento. Entretanto, como o esperado, demonstrou ao longo das 96 horas que não houve adaptação do lodo ativado frente à carga salina na concentração trabalhada, como demonstrada na Figura 4, representando os gráficos A e B.

Foi evidente que os reatores administrados com 17 g/L de NaCl obtiveram respostas quase que imediatas na comunidade de protozoários, no qual nota-se que os resultados de 0 hora, a qualidade do lodo é “0” para os dois experimentos (B.2 e B.3) e classificada como Classe IV, no índice de Madoni - “pobre depuração biológica e baixa performance”. Após no máximo 48 horas, nos três experimentos provenientes do reator com 17 g/L de NaCl (B.1; B.2 e B.3), o lodo ativado parece ter uma resposta positiva e sobe para classe III, onde permanece até o final dos experimentos. Os reatores administrados com 8,5 g/L de sal, iniciam o experimento com lodo Classe II - “lodo bem colonizado, estável, boa performance, atividade decrescente”, mas em menos de 48 horas ele já encontra-se como lodo Classe III - “insuficiente depuração biológica, baixa performance”, indicando sua deterioração, podendo sugerir que a variação das concentrações de sal escolhidas para esses testes, não pareceu ser o fator mais importante, mas sim a própria presença do sal, já que a concentração mais baixa dos reatores foi significativamente letal para a maioria dos protozoários e micrometazoários.

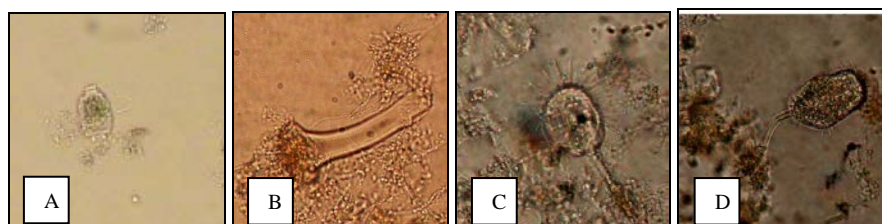


**Figura 4 – Gráficos com resultados do experimento B.3 - A)TCOe x [NaCl] e B) IBL x [NaCl]**

No geral (experimentos B.1, B.2 e B.3) os reatores operados com 8,5 g/L de sal iniciaram os experimentos com uma inibição entre 8% a 27% comparados com os lodos dos reatores controles. Após 96 horas os experimentos B.1 e B.2 alcançaram resultados muito próximos sendo inibidos 43% e 42% respectivamente, em relação ao controle, indicando que seu metabolismo continuou sendo afetado negativamente pelo sal, nos levando a crer que a concentração de 8,5 g/L de NaCl são prejudiciais em reatores de bancada, e que em escala mais ampla, como ETEs pode ter o mesmo efeito inibitório. Quando comparamos os resultados somente entre os reatores operados com intoxicante, percebemos que os reatores com 17 g/L sofrem uma queda na sua atividade maior que os reatores com 8,5 g/L de sal. O experimento B.1, o reator de 17 g/L apresentou uma inibição de 40% quando comparado ao reator administrado com 8,5 g/L de NaCl, resultado muito próximo ao encontrado no experimento B.2 que apresentou uma inibição de 44%. Os lodos ativados com 8,5 g/L de NaCl apresentaram curvas similares as curvas do controle, no aspecto de variação dentro do próprio experimento, ao contrário das curvas dos reatores com lodos ativados com 17 g/L de sal que mantiveram-se mais ou menos com a mesma variação entre todo o tempo (de 0 a 96 horas) assim como entre as diferentes amostras (B.1; B.2 e

B.3), como vimos nos gráficos A das Figuras 2, 3 e 4. A literatura demonstra a sensibilidade do processo de lodos ativados frente à carga salina presente em efluentes domésticos com influência da costa marinha, efluentes de plataformas, além de inúmeros trabalhos com efluentes industriais ativados (KARGI; DINCER, 2000; ELELA *et al.*, 2010; LEFEBVRE; MOLETTA, 2006; DAN *et al.*, 2003; CHU; LEE, 2001). Todos esses autores, assim como o presente estudo, apresentam resultados que confirmam a deterioração do efluente que recebe choques de cargas salinas nos processos de lodos ativados.

As análises microscópicas demonstraram que os protozoários dominantes nos reatores com os controles dos lodos ativados são diferentes dos protozoários dominantes dos lodos ativados com carga salina. Os reatores controle mantiveram-se estáveis e bem colonizados durante todo o experimento, enquanto que os reatores aos quais foi adicionado sal mudaram bastante sua composição e biodiversidade, demonstrando a sensibilidade de muitas espécies frente à carga salina. Smurov; Fokin (1999) advertem que ciliados e micrometazoários de água doce regulam sua composição iônica interna e seus limites de sal normalmente até 5 g/L. Em salinidades maiores que 5 g/L é necessário uma prévia aclimação, porém esta é limitada. O vacúolo contrátil é a estrutura responsável pelo controle osmótico desses organismos, que trabalham em conjunto com outras estruturas que expõem sal do organismo. Em alguns grupos de protozoários, este mecanismo funciona mais rapidamente do que em outros, diferindo assim suas osmorregulações, esclarecendo a habilidade de alguns organismos tolerarem ambientes salinos mais eficientemente que outros, explicando assim a mudança da comunidade de protozoários. Nas observações em microscópio foi muito marcante a presença dos micrometazoários em todas as amostras dos lodos controles, por outro lado, esses organismos sofriam rapidamente a ação do sal, sendo muito perceptível sua dificuldade de locomoção e a deficiência na sua atividade metabólica, ocorrendo provavelmente devido a grande proporção superfície x volume. Durante as observações em microscópio, percebeu-se claramente o efeito do sal nos protozoários. Foi observado nas amostras de lodos ativados, provenientes dos reatores controles, o intenso movimento dos feixes contráteis assim como o batimento dos cílios da cavidade oral. Nas amostras dos lodos ativados advindos dos reatores com sal, os pedúnculos encontravam-se muitas vezes sem o zooide como podemos observar na Figura 5, onde A é a foto de um zooide desprendido e B um pedúnculo sem o zooide; além disso, a movimentação lenta dos batimentos dos cílios é bastante notória na observação microscópica. Diversos ciliados do grupo “*Suctorina*” foram encontrados com seus “tentáculos suctórios” encurtados, o que provavelmente se deve a uma tentativa de defesa, diminuindo sua superfície de contato com a amostra salina, como se pode ver na Figura 5, onde C é um indivíduo normal e D um suctório com seus cílios encurtados.



**Figura 5:** Fotos dos protozoários encontrados nos reatores testes. A) Zooide desprendido; B) Pedúnculo sem o zooide; C) Um suctório em condições normais e D) Suctório encontrado no reator com 8,5 g/L de NaCl.

Salvadó *et al* (2001) estudaram o efeito do sal na comunidade dos protozoários ao longo de 96 horas, e seus resultados confirmaram os resultados encontrados neste trabalho. Os ciliados livres e as tecamebas são de fato os protozoários mais sensíveis às mudanças ambientais, e o estresse salino afetam rapidamente sua sobrevivência. Após 48 horas outros grupos tornaram-se dominantes, como os ciliados sésseis, demonstrando sua resistência em habitar ambientes com condições de estresse salino. Foi observado um gênero dentro do grupo de predador de floco que diminui drasticamente sua população nas primeiras horas de estudo e após 48/72 horas proliferou tornando-se a espécie dominante. Salvadó *et al* (2001) notam essa mesma tendência em seu trabalho, no qual após 48 horas eles observaram um grande aumento na abundância dos gêneros *Euplotes* e *Vorticella*, esta última não encontrada neste presente trabalho. De fato, quando há aclimação do lodo ativado numa situação hostil, como é o acréscimo de sal, a tendência é que as espécies adaptadas rapidamente aumentem sua densidade, já que possuem a vantagem de não haver competidores no sistema. O aumento de sal levou a um decréscimo considerável na atividade metabólica dos lodos ativados, tal afirmação pode ser consolidada com os resultados da respirometria em consonância com os resultados do IBL. A plasmólise celular tanto das bactérias quanto dos protozoários é o principal contribuinte para a perda da eficiência dos

lodos ativados quando operados com efluente salino. Alguns autores discutem a possibilidade de aclimação do lodo ativado, porém essa aclimação é limitada e depende do uso de culturas halofílicas ou um consórcio de cultura halofílica e lodo ativado, como estudado por Elele *et al* (2010); Woolard; Irvine (1995), entre outros. Além da plasmólise celular ocasionada pelo aumento excessivo da força iônica do meio, existe a questão da desaglomeração dos flocos biológicos, ocasionado pela alta concentração de íons no sistema. Essa desaglomeração é explicada pela perda dos íons de  $\text{Ca}^{+2}$  do floco biológico. O  $\text{Ca}^{+2}$  parece ser um dos íons mais importantes no processo de adesão celular e dos outros constituintes do floco, logo quando é retirado da estrutura, o floco apresenta maior fragilidade e maior tendência a dispersar e desflocular, aumentando a chance de ser perdido no efluente final. Durante os experimentos foi perceptível a formação de espuma do lodo ativado nos reatores operados com sal. Diversos autores discutem sobre a desfloculação, formação de espuma e a perda de material em suspensão no efluente na condição de aumento da condutividade e de força iônica. Sendo assim, mesmo que haja a adaptação das bactérias para um meio salino, de forma que elas aceitem a condição de alta condutividade, são necessários estudos para tomar conhecimento e esclarecer se essas culturas halofílicas são em sua maioria formadoras de floco, ou seja, se essas têm capacidade de se aglomerarem, para então haver além da degradação da matéria orgânica, a formação de flocos estáveis, condição preponderante para o funcionamento pleno do processo de tratamento de efluentes por lodos ativados.

## CONCLUSÕES

- A atividade metabólica dos organismos consumidores de OD no processo de lodos ativados é afetada imediatamente quando condicionados às concentrações de NaCl acima de 15 g/L; os testes de choque que foram realizados com concentrações inferiores a 15 g/L apresentaram um aumento da taxa de consumo de oxigênio, não ficando claro exatamente em qual rota metabólica esse oxigênio estava sendo utilizado;
- O IBL é afetado imediatamente em concentrações a partir de 5 g/L de NaCl, demonstrando ser um parâmetro mais sensível que os testes de respirometria para avaliação da salinidade; deve-se ao fato desse teste levar em consideração apenas os micro-organismos do reino Protista, que são micro-organismos extremamente sensíveis a mudanças ambientais abruptas, enquanto que os testes respirométricos levam em consideração todos os organismos aeróbios;
- Os experimentos confirmaram que a salinidade influencia negativamente o processo de lodos ativados mesmo após 96 horas de intoxicação, induzindo-nos a acreditar que não há adaptação da microfauna decompositora de matéria orgânica em concentrações  $\geq 8,5$  g/L, necessitando de experimentos com tempo de exposição maior que 96 horas;
- Foi verificado nos experimentos de 96 horas que a adição de sal compromete drasticamente a população de protozoários, entretanto existe uma sucessão ecológica que alcança um estágio com diferentes grupos dominantes. Esses novos grupos dominantes são grupos que conseguem se adaptar a condição de estresse salino, entretanto são relacionáveis com baixas taxas de depuração da matéria orgânica encontrada nos esgotos, concluindo que um lodo ativado populoso e diversificado não pode ser classificado necessariamente como um lodo 'saúdável';
- Levando em consideração as afirmações acima conclui-se que os testes de respirometria e o IBL utilizados em consonância, são excelentes ferramentas para monitorar ETes que recebem ou que possam vir a receber cargas de efluentes salinos, já que levam em consideração a taxa de consumo de oxigênio, fator preponderante para haver a oxidação da matéria orgânica, e a qualidade biológica do lodo, responsável pela aglomeração e formação dos flocos biológicos estáveis, essenciais a boa eficiência das Estações de Tratamento de Efluentes por lodos ativados.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA), AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION, WATER ENVIRONMENT FEDERATION. Standard Methods for the examination of water and wastewater. 19 ed., Washington – D.C.:APHA, 1995. 1108 p.
2. ANDRETOLLA, G., OLIVEIRA, E.L., FOLADORI, P., DALLAGO, F., PETERLINI, R., CADONA, M. Método respirométrico para monitoramento de processos biológicos. Engenharia Sanitária e Ambiental, [S.I.], v.10, n.1, p.14-23, jan./ mar. 2005.
3. ARAÚJO, L.G.B.R. Avaliação da influência dos nutrientes metálicos nos processos de lodos ativados. Rio de Janeiro, 2010 . Dissertação de Mestrado- Faculdade de Engenharia Ambiental - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2010.



4. BENTO, A.P., SEZERINO, P.H., PHILIPPI, L.S., REGINATTO, V., LAPOLLI, F.R. Caracterização da microfauna em estações de tratamento de esgotos do tipo lodos ativados: um instrumento de avaliação e controle do processo. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, [S.I.], v.10, n.4, p. 329-338, out./dez. 2005.
5. BENTO, A.P., SEZERINO, P.H., BARBOSA, T.C., PHILIPPI, L.S. Comparação entre modelos aplicados ao diagnóstico do tratamento de esgotos por sistema de lodo ativado, baseados em parâmetros biológicos. In: VI SIMPÓSIO ÍTALO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 2002, Vitória. Trabalho Completo. Vitória: [s.n.], p.1-8, 2002.
6. BERANGER, M.A. Avaliação da influência do pH na respiração de lodos ativados. Rio de Janeiro, 2009. Dissertação de Mestrado em Engenharia Ambiental – Faculdade de engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2009.
7. BITTON, G. *Wastewater Microbiology*. 3a ed. Nova Iorque: Department Environmental Engineering Sciences. University of Florida, Gainesville. 2005.
8. BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. Manual de saneamento. 3ª. Ed. rev.1ª Reimpressão – Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2006.
9. BROWN, T. *Química: A ciência central*. 9. Ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.
10. BROUWER, H., KLAPWIJK A., KEESMAN K.J. Identification of activated sludge and wastewater characteristics using respirometric batch- experiments. *Water research*.V.32, n. 4, 1998, p. 1240- 1254.
11. CETESB – Microbiologia de lodos ativados – Norma Técnica, L1025. São Paulo: CETESB, 1985.
12. CHU, C.P.; LEE, D.J. Effects os sodium perchlorate on the waste activated sludge floc characteristics. *Journal of the Chinese Institute of Environmental Engineering*, v. 11, n. 3, p. 215-220, 2001.
13. COSTA, A.G., FERREIRA, A.F., HAANDEL, A.V. Monitoramento da atividade bacteriana de um sistema de lodos ativados Bardenpho por meio da respirometria. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v.12, n.1, p.17-23, 2007.
14. CURDS, C.R. The Role of Protozoa in the Activated – Sludge Process. *American Zoologist*, London, 13, 1973, 161-169, 1973.
15. CUTOLO, S.A.; ROCHA, A.A. Correlação entre microfauna e as condições operacionais de um processo de lodos ativados. In: XXVII CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITARIA E AMBIENTAL, 2000, Porto Alegre. Trabalho completo. Porto Alegre: [s.n.], 2000. p. 1-7.
16. DAN, N.P., VISVANATHAN, C., BASU, B. Comparative evaluation of yeast and bacterial treatment of high salinity wastewater based on biokinetic coefficients, *Bioresource technology*, [S.I.], v. 87, [s.n.], p.51- 56, 2003.
17. ELELA, S.I.A., KAMEL, M.M., FAWZY, M.E. Biological treatment of saline wastewater using a salt-tolerant microorganism. *Desalination* n° 250, pag 1–5, 2010.
18. FERREIRA, E.D.S., SOARES, S.R.A., BERNARDO R.S. Uso da respirometria para a caracterização de esgotos domésticos: aplicação, limites e apresentação de método simplificado. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL, 28, 2002, Cancún. Trabalho Completo. Cancún: [s.n.], p. 1-8, 2002.
19. GOMES, K. *Wastewater Management*. Índia: Oxford Book Company, 2009. p. 301.
20. GRAY, N.F. *Biology of wastewater treatment*. 2a ed. Londres: Imperial College Press, 2004, v.4. p. 91.
21. IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – Atlas do saneamento 2011. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Vários autores. Rio de Janeiro, 2011.
22. JORDÃO, E.P.; PESSOA, C.A. Tratamento de Esgotos Domésticos. 4. ed., Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária – ABES, 2005. 932p.
23. KARGI, F.; DINCER, A.R. Effect of salt concentration on biological treatment of saline wastewater by fed-batch operation. *Enzyme and Microbial Technology*, Nova Iorque, v.19, p.529- 537, 1996. 92
24. LEFEBVRE, O.; MOLETTA, R. Treatment of organic pollution in industrial saline wastewater: A literature review, *Water Research*, [S.I.], v.40, [s.n.], p. 3671- 3682, 2006.
25. LIAO, B., ALLEN, D.G., DROPO, IG., LEPPARD, G.G., LISS, S.N. Surface properties of sludge and their role in bioflocculation and settleability, *Water research*, v. 35,n.2,p. 339 – 350, 2001.
26. MADONI, P.A. Sludge biotic index (SBI) for the evaluation of the biological performance of activated sludge plants based on the microfauna analyses. *WaterResearch*, Grã – Bretanha, v.28, n.1, p.67-75, 1994.
27. MESQUITA, D.P.; COELHO, M.A.Z.; FERREIRA, E.C. Efeito do sal no desempenho de um reator batelada sequencial. In: XVI CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA, 2006, Santos. Trabalho Completo. Santos: [s.n.], 2006. p. 1-7.
28. METCALF; EDDY, INC. *Wastewater Engineering – Treatment and Reuse*. New York: McGraw-Hill, 2003. 1819p. 93



29. PORTO, A.L. Uso da respirometria para caracterização da atividade metabólica de bactérias heterotróficas. 2007. 77f. Dissertação Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental . Universidade Federal de Campina Grande, 2007.
30. REBOUÇAS, A.C., BRAGA, B. & TUNDISI, J. G. (Organizadores). Águas doces no Brasil. 3a ed. São Paulo: Ed. Escrituras, 2006.
31. RUPPERT, E.E.; BARNER, R.D. Zoologia dos invertebrados. 6. ed. São Paulo: Roca, 1996. p.1029.
32. SALVADÓ, H., GRACIA M. P., AMIGO, J. M. Capability of ciliated protozoa as indicators of effluent quality in activated sludge plants. Water Research, Grã- Bretanha, v.29, n.4, p.1041-1050, 1995.
33. SALVADÓ, H., MAS, M., MENENDEZ, S., GRACIA, M.P. Effects of Shock Load of Salt on Protozoan Communities of Activated Sludge, ActaProtozoologica, [S.I.], v.40, [s.n.], p.177-185, 2001.
34. SPANJERS, H., TAKÁCS, I., BROUWER, H. Direct parameter extraction from respirograms for wastewater and biomass characterization. Water Science & Technology, v.39, n.4, 1999. p.137-145.
35. SMUROV, A., FOKIN, S. Resistance of Paramecium Species (Ciliophora, Peniculia) to Salinity of Environment, Protistology 1, 43-53, 1999.
36. VANROLLEGHEM, P.A.; SPANJERS, H.; PETERSEN, B. Estimating (combinations of) activated sludge model n° 1 parameters and components by respirometry. Water science tech., [S.I.], v.39, n. 1, 1999. p. 195-214.
37. VON SPERLING, M. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: Lodos Ativados. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG, 1997. 415 p. 95
38. WOOLARD, C.R.; IRVINE, R.L. Treatment of hypersaline wastewater in the sequencing batch reactor, Water Research, Grã-Bretanha, v. 29, n.4, p.1159-1168.
39. ZITA, A.; HERMANSSON, M. Effects of bacterial cell surface structures and hydrophobicity on attachment to activated sludge flocs, Applied and environmental Microbiology v.63(3), p. 1168 – 1170, 1997.
40. ZITA, A.; HERMANSSON, M. Effects of ionic strength on bacterial adhesion and stability of flocs in a wastewater activated sludge system. Applied and environmental Microbiology, v.60(9), p.3041 – 3048, 1994.