

UMA NOVA ALTERNATIVA PARA A PISCICULTURA: O REÚSO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS

Raquel B. CASIMIRO(1); Martha M. S. MACIEL(2); F. Wilame S. A. JUNIOR(3); A. Olívio S. B. JUNIOR(4); Júlio César C. SILVA(5)

(1) Centro Federal de Educação Tecnológica do Ceará – CEFET-Ce, Instituto Tecnológico de Química e Meio Ambiente - ITQMA, Av. 13 de Maio, 2081, Cep: 60.040-531- Fortaleza, e-mail: raqueltecnoambiental@gmail.com

(2) CEFET-Ce, e-mail: marthamaciel@gmail.com

(3) CEFET-Ce, e-mail: franciscowilame@yahoo.com.br

(4) CEFET-Ce, e-mail: olivio@cefetce.br

(5) CEFET-Ce, e-mail: jcesar@cefetce.br

RESUMO

Devido ao grande problema de escassez de água potável, diversos estudos estão sendo feitos com o intuito de promover o reaproveitamento de águas residuárias, mostrando formas alternativas para redução de custos e a geração de uma nova oferta de recurso hídrico. Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo geral adequar o tratamento das águas residuárias tratadas para seu reúso em atividade piscícola de forma segura e eficiente, avaliar a viabilidade do tratamento biológico, analisando os principais parâmetros dos efluentes gerados a partir das lagoas de estabilização, seu nível de toxicidade e o monitoramento sistemático da água nos tanques da piscicultura. O trabalho está sendo realizado na área do Conjunto Habitacional Renascer situado no bairro Dias Macedo, a 10 km do centro de Fortaleza, abrangendo uma população de 3.500 habitantes que correspondem 470 unidades habitacionais. O tratamento biológico consiste em quatro lagoas de estabilização em série (uma facultativa e três de maturação) e três tanques de crescimento-engorda e um de desinfecção e depuração para a piscicultura. O peixe escolhido para o estudo foi a Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) por ser uma espécie que se adapta com facilidade a condições ambientais adversas e de largo consumo pela população.

Palavras-chave: Águas residuárias, Reúso, Toxicidade, Piscicultura .

1. INTRODUÇÃO

Com a crescente pressão demográfica, uma das alternativas para contornar este problema é, sem dúvida, o reúso de esgoto, sendo esta a política que deve ser seguida tanto no setor produtivo, para o qual se prevê sensível elevação do custo de água no futuro próximo, quanto pela população em geral (NBR 10520, 1997).

No setor urbano, o potencial de reúso de efluentes é muito amplo e diversificado. As aplicações que demandam água com qualidade elevada, entretanto requerem sistemas de tratamento e de controle avançadas, podendo levar a custos incompatíveis com os benefícios correspondentes (HESPANHOL, 2003).

A qualidade da água utilizada e o objeto específico do reúso estabelecerão os níveis de tratamento recomendados, os critérios de segurança a serem adotados e os custos de capital, operação e manutenção associados. As possibilidades e formas potenciais de reúso dependem, evidentemente, de características, condições e fatores locais, tais como decisão política, esquemas institucionais, disponibilidade técnica e fatores econômicos, sociais e culturais (HESPANHOL, 2003).

A importância do uso racional da água e a necessidade de controle de perdas e desperdícios incentivam a introdução definitiva do conceito de reúso de água, onde a piscicultura apresenta grande destaque devido aos atrativos gerado por ela, de ordem econômica, ambiental e social (GRADVOLL, 2006).

Várias são as técnicas de tratamento de esgoto existente, mas a abordagem de reúso para a piscicultura por intermédio das lagoas de estabilização, destaca-se pela sua eficiência no processamento dos resíduos orgânicos, sobretudo por utilizar basicamente, os fenômenos naturais de autodepuração que ocorrem nos cursos da água, o que possibilita a diminuição de custos para o tratamento de esgotos(SOUZA; SOUZA, 2003) e sua alta remoção de patógenos.

A parceria piscicultura e saneamento básico não é recente. É algo tão antigo quanto ao início dos povos europeus, a civilização Minóica (Grécia Antiga - 3000 a.C.) que antecedeu a Romana, ensinou à última o papel dos peixes como indicador biológico de qualidade da água (FELIZATTO; STARLING; SOUZA, 2000).

A OMS (1989) publicou diretrizes sobre os padrões de qualidade e concentrações-limite bacterianas no músculo de peixes, para a reutilização de águas residuais domésticas na aquíicultura (BANSAL, et. al., 2007 apud Pullin et al., 1992)

- Tempo mínimo de retenção de 8-10 dias para o esgoto bruto;
- Máxima densidade crítica total de 105 bactérias/ml na água residuária que abastece o viveiro;
- Ausência de ovos de trematódeos;
- Suspensão do abastecimento da água residuária 2 (duas) semanas antes da despeça;
- Ausência de Salmonella;
- <50 total de bactérias / g de no músculo do peixe;
- Boa higiene na manipulação e no processamento, incluindo a evisceração, lavar e cozinhar bem;
- Utilização como alimentos para animais de alta proteína se ao consumo direto do peixe é socialmente inaceitável;

A escolha da espécie a ser utilizada na piscicultura com efluentes deve ser criteriosa observando algumas características, tais como: hábitos reprodutivos, hábitos alimentares, sensibilidade com relação ao meio (GRADVOLL, 2006 apud KELLNER; PIRES, 1998), como adaptação climática e a qualidade da água, além da facilidade de manejo (GRADVOLL, 2006 apud BASTOS et al. 2003b).

Dentro dos limites de tolerância, as tilápias são reconhecidamente espécies de peixes que melhor se adaptam às diferentes condições de qualidade de água. São particularmente bastante tolerantes ao baixo teor de oxigênio dissolvido, convivem com uma faixa mais ampla de acidez e alcalinidade na água, crescem e até mesmo se reproduzem em águas salobras e salgadas e ainda toleram concentrações de amônia tóxica maiores, quando comparadas com a maioria dos peixes cultivados (RIEDEL et. al., 2005 apud KUBITZA, 2000).

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Avaliar a eficiência do sistema de tratamento de lagoas de estabilização do Conjunto Renascer no Bairro Dias Macedo, Fortaleza-CE, adequando o sistemas para a obtenção de águas residuárias tratadas que estejam de acordo com as normas da Organização Mundial de Saúde (OMS), para a implantação de um projeto de reuso na área de piscicultura.

2.2. Objetivo específico

- Monitorar a qualidade do efluente do tratamento de esgotos (ETE), por meio de análises físico-químicas e bacteriológico;
- Monitorar os parâmetros físico-químico e bacteriológico da água utilizada no tanque de piscicultura;
- Realizar análise ecotoxicológica com alevinos;

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.3. Ecotoxicidade

A avaliação de toxicidade é caracterizada por parâmetros essenciais como propriedades físico-químicas do agente tóxico, as vias de exposição, a duração e a frequência dessa exposição, as espécies testadas bem como as características individuais e natureza do *endpoint* do efeito adverso que esta sendo medido (MOTA; AQUINO; SANTOS, 2007 apud USEPA, 1989 apud ZEVEDO; CHASIN, 200).

A seleção do tipo de ensaio dependerá dos objetivos do ensaio, os recursos disponíveis, as exigências dos organismos de ensaio, e as características dos efluentes a serem avaliados. A toxicidade aguda geralmente é medida através de uma multi-concentração, ou teste definitivo, constituído por um controle e de no mínimo cinco concentrações de efluentes. Os testes são concebidos para proporcionar a dose-resposta. Informação essa, expressa como a concentração percentual de efluente que é letal para 50% dos organismos de ensaio (CL50) dentro do prazo de tempo (24-96 h), ou a mais elevada concentração no efluente que afeta a sobrevivência e que não é estatisticamente significativamente diferente do controle (USEPA, 2002).

Os testes de toxicidade com organismos aquáticos em condições de laboratório possibilitam a qualificação e a mensuração dos efeitos dos produtos tóxicos sobre a biota e a estimativa dos riscos de intoxicação ao ambiente. Para efeito de monitoramento de um corpo de água possivelmente contaminado, os testes mais utilizados são os de avaliação das toxicidades aguda e crônica. Nos testes de toxicidade aguda, os organismos são expostos aos agentes tóxicos durante curto período de tempo determinando-se a Concentração Letal Média (CL50). Nos testes de toxicidade crônica o tempo de exposição envolve períodos mais longos com concentrações sub-letais, no qual se avaliam os parâmetros de comportamento, alterações fisiológicas e morfológicas. Assim, o impacto dos poluentes sobre os organismos aquáticos pode ser estimado e monitorado por testes de toxicidade em condições de laboratório (ISHIKAWA, 2003 apud RAND; PETROCELLI, 1985).

E, conforme ISHIKAWA (2003), os estudos da relação dos componentes bióticos e abióticos do ecossistema é uma importante ferramenta para assegurar a qualidade do meio ambiente, da produção aquícola e principalmente da saúde pública.

4. MATERIAIS E METODOS

A pesquisa que foi realizada está vinculada ao Projeto Renascer, situado nas adjacências de uma Estação de Tratamento de Esgoto, localizada no conjunto Renascer, bairro Dias Macedo, Fortaleza-CE. No período de dezembro de 2007 a julho de 2008. O sistema de tratamento das águas residuárias (Figura 1), geradas a partir das 470 unidades habitacionais e uma população de 3.500 habitantes é composto por quatro lagoas de estabilização em série (uma facultativa e três de maturação).

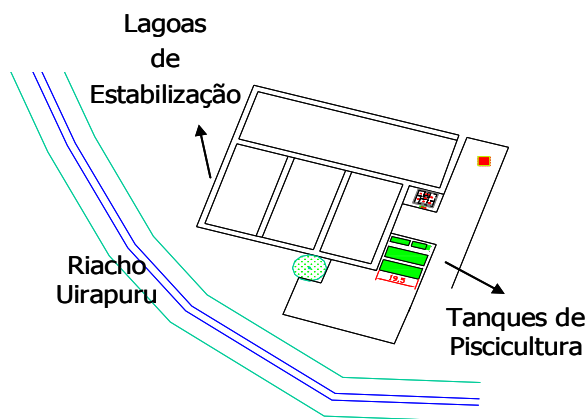


Figura 1 – Planta esquemática do projeto de pesquisa de reúso de água em Piscicultura

O monitoramento da qualidade da água dos tanques de piscicultura foi realizado trimestralmente através de uma caracterização físico-química e bacteriológica do afluente e do efluente do sistema de lagoas de estabilização. Os principais parâmetros analisados podem ser vistos na tabela abaixo:

Tabela 1 – Parâmetros físico-químicos e bacteriológicos

Físicos	Químicos	Microbiológicos	Metais Pesados
Condutividade elétrica	Demanda química de oxigênio (DQO)	Coliformes fecais	Cobre
Temperatura	Demanda bioquímica de oxigênio (DBO)	Ovos de helmintos	Zinco
pH	Amônia	Clorofila “a”	Manganês
Sólidos e Frações	Nitrogênio e frações		Mercúrio
Turbidez	Fósforo e frações		Chumbo
Óleos e Graxas	Cloretos		Prata
	Cálcio		Cromo
	Magnésio		Ferro
	Sulfato		
	Potássio		
	Sódio		

As amostras são processadas conforme metodologia APHA *Standard Methods* (1998) e os parâmetros são analisados de acordo com a Resolução CONAMA 357/2005 e de acordo com as diretrizes para reúso da Organização Mundial de Saúde (OMS).

Dentre os principais parâmetros de qualidade da água de interesse na piscicultura destacam-se: transparência, pH, alcalinidade, OD, condutividade elétrica, temperatura, nutrientes (N< P) e clorofila (BASTOS, 2003).

Na análise dos laudos para verificar o enquadramento aos padrões exigidos pela legislação em vigor, foi considerada a Resolução CONAMA 357/2005, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes e, adequação às diretrizes da WHO, que determina, devido os riscos associados a saúde (GRADVOLL, 2006 apud HWO, 1989):

- quantidade menor 10^3 CF/100mL na água no tanque de piscicultura;
- valores entre 10^3 e 10^4 CF/ mL na água afluenta ao tanque de piscicultura;
- ausência de ovos de helmintos;

4.1. Teste de toxicidade aguda para *Oreochromis niloticus*

O teste de toxicidade aguda do efluente foi baseado na NBR 15088/2004 da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) e na dissertação de mestrado “Avaliação dos Riscos Ambientais e Ecotoxicológicos do Reúso de Águas Residuárias em Piscicultura”. Foi utilizado o efluente da última lagoa de maturação no emprego do ensaio de toxicidade. Sendo os alevinos da espécie tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) escolhidos como bioindicadores devido à necessidade do ensaio reproduzir as condições ambientais que se aproximassem o máximo possível da realidade do projeto

De acordo com a norma a água de diluição deve apresentar pH entre 7,0 e 7,6 e dureza total entre 40mg CaCO_3/L e 48 CaCO_3/L . Com as soluções descritas na tabela 2. A norma ainda recomenda que a água deve ser aerada para a solubilização total dos sais , saturação do oxigênio dissolvido e estabilização do pH durante pelo menos 12h antes da sua utilização.

Tabela 2– Soluções para preparo de água de diluição

Solução	Reagentes	Quantidade (mg)	Preparo
1	Sulfato de cálcio diidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)	1.500	Dissolver e diluir a 1000 mL com água processada
	Cloreto de potássio (KCl)	200	
2	Bicarbonato de sódio (NaHCO_3)	4.800	Dissolver e diluir a 1.000 mL com água processada
	Sulfato de magnésio heptahidratado ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)	6.100	

Fonte: ABNT, 2004 p. 3.

As soluções-teste consistem na amostra não diluída e/ou em uma série de diluições preparadas em balões volumétricos ou em provetas e transferidas para os recipientes-teste. A tabela 3 apresenta um exemplo de preparação de solução teste.

Tabela 3- Preparo de soluções-teste para o ensaio com efluentes

Solução-teste (%)	Fator de diluição	Volume de amostra (ml)	Volume de água de diluição (ml)	Volume final (ml)
100	1	1.000	-	1.000
50	2	500	500	1.000
25	3	250	750	1.000
12,5	4	125	875	1.000
6,2	5	62	938	1.000

Os alevinos de tilápias (*Oreochromis niloticus*, da linhagem *chitralada*) utilizados no teste eram sexualmente revertidos (100% macho). A biometria foi realizada seguindo a recomendação de CALLAVINE (1991) que indica uma porcentagem variável entre 5% e 25%, assim, foi escolhida uma representatividade de 10% do total de alevinos a serem utilizados no teste. Os alevinos apresentaram comprimento médio de 4,2 cm e pesavam 17,5g em média. Foram adquiridos alevinos da mesma espécie e no mesmo fornecedor do primeiro povoamento, na sede do DNOCS na cidade de Pentecoste - CE, 89 Km distante de Fortaleza – CE. O período de aclimação foi de 24h, os peixes foram mantidos em um recipiente de plástico com capacidade máxima de 20L e não foram alimentados.

As coletas das amostras dos efluentes foram feitas com baldes de plásticos de 20L. Enquanto os recipientes utilizados nos testes foram 11 tanques com capacidade de 20L cada. Sendo 10 tanques com as amostras com fatores de diluição em duplicata e um tanque controle com o mesmo volume de água de diluição. E em cada tanque de diluição, foram adicionados 10 organismos.

Os parâmetros observados durante o experimento foram: mortalidade dos organismos, a concentração de oxigênio dissolvido (OD), o pH, a temperatura das amostras e a condutividade elétrica. Para leitura desses parâmetros foram utilizados o oxímetro LUTRON DO – 5510 (Oxygen Meter), para OD e temperatura, o pHmetro PHTEK PHS 3B (pH Meter Model), condutímetro PHTEK CD 203 e a balança semi-analítica BIOPRECISA (JA 3003N Eletronic Balance).

Seguiu-se o cronograma de análises sendo a primeira realizada antes de colocar os alevinos nos tanques, as próximas em 24h, 48h, 72h e 96h. Durante esse período os peixes não foram alimentados, para que não ocorresse interferência nos resultados devido à decomposição dos alimentos e porque na cultura que será estabelecida os peixes deveram se alimentar da microbiota constituinte do viveiro de criação.

5. RESULTADOS

Os principais resultados da ultima análise físico-químicas e microbiológicas do esgoto tratado utilizado para reúso na piscicultura demonstraram que para os parâmetros analisados, o efluente não atende plenamente aos padrões de lançamento estabelecidos pela legislação vigente devido ao resultado discordante para os seguintes parâmetros: coliformes termotolerantes, material flutuante, DQO e amônia total.

Tabela 4 – Caracterização microbiológica do efluente

	Horário	CTT	EC
1º Coleta	12:00	1,70E+03	2,70E+02
	18:00	5,00E+04	5,00E+04
2º Coleta	12:00	5,00E+02	2,30E+02
	18:00	1,30E+04	1,30E+04
3º Coleta	6:00	1,30E+03	1,30E+03
	12:00	1,30E+03	5,00E+02
	18:00	2,30E+03	8,00E+02
4º Coleta	12:00	0,80E+03	0,40E+03

CTT = Coliformes Termotolerantes

EC = *Escherichia Coli*

Tabela 5 – Resultado dos parâmetros físico-químicos do efluente que não atendem aos padrões de lançamento

Parâmetros	Resultados	Padrões
DQO (mg/L)	804,56	Até 200,0
Amônia total	15,22	Até 5,0
Material flutuante	Presença	Ausência

Na avaliação dos dados apresentados no último laudo da análise do efluente que abastece os viveiros, emitido pelo Laboratório de Processos e Análises Química – LCA do CEFETCE foi verificado que a concentração de Amônia Total apresentou 15,22 mg/L, valor considerado tóxico, pois os níveis de tolerância para a tilápia se encontram entre 0,6mg/L e 2,0 mg/L. O que se configura num fator limitante a sobrevivência dos peixes, sendo recomendado a correção da amônia no efluente do viveiro antes do povoamento deste. Sendo ainda necessário o providencias com relação aos coliformes termotolerantes, pois há risco de invasão dos músculos dos peixes quando a concentração de coliformes é de 10^4 a 10^5 /mL (GRADVOLL, 2006 apud HWO, 1989).

O teste de toxicidade aguda com efluente realizado com o alevino de tilápia do Nilo como bioindicador, foi observada a morte de dois organismos-teste, um no ensaio controle e um na diluição 12,5%.

No teste de toxicidade para alevinos de tilápia as variáveis físicas que foram mensuradas não apresentaram alterações que pudessem interferir nos resultados obtidos durante o período de bioensaio. Verificou-se que a porcentagem 1,81% de mortalidade dos peixes intoxicados é relativamente baixa.

Gráfico 1. OD - De acordo com BASTOS (2003) a faixa de concentração de OD ideal para piscicultura esta entre 4mg/L a 6mg/L, em todos os ensaios apresentou >4.0 mg/L, sendo que na maioria dos ensaios o OD foi superior a 6mg/L

Gráfico 1 – OD (mg/L) do Teste de Toxicidade

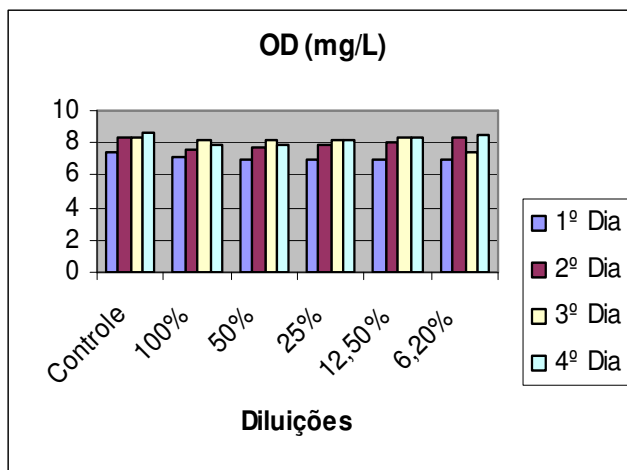


Gráfico 2. Temperatura (°C) – A faixa ideal para o desenvolvimento das tilápias é de 22-33°; embora consigam suportar temperaturas mais baixas, porém superiores a 15°C (BASTOS, 2003). Na maioria dos reservatórios temperatura se manteve entre 28°C e 32°C no 1º dia e, a partir do 2º dias os apresentaram temperatura constante aproximada de 26°C.

Gráfico 2 – Temperatura (°C) do Teste de Toxicidade

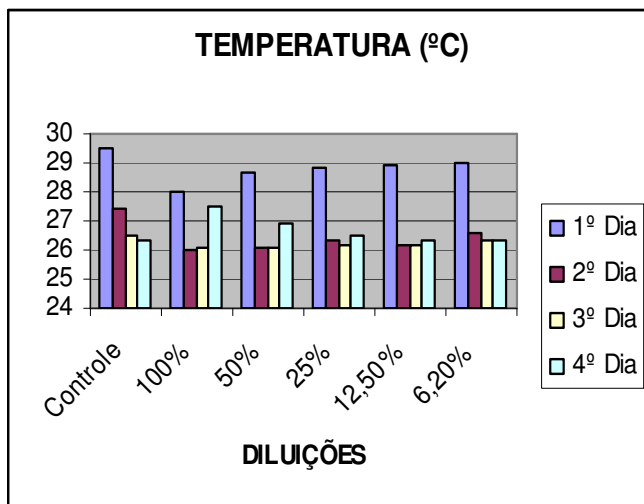


Gráfico 3. pH – A faixa entre 6,0 e 9,3 corresponde ao valor de pH em água doce onde, segundo Silva; Ferreira; Logato (2001) os peixes podem ter condições de sobreviver e crescer melhor (GRADVOLL, 2006 apud SILVA; FERREIRA; LOGATO 2001). A variação nos reservatórios se esteve entre 6.94 e 7.60, se apresentando dentro da faixa ideal para cultivo de peixes.

Gráfico 3 – pH do Teste de Toxicidade

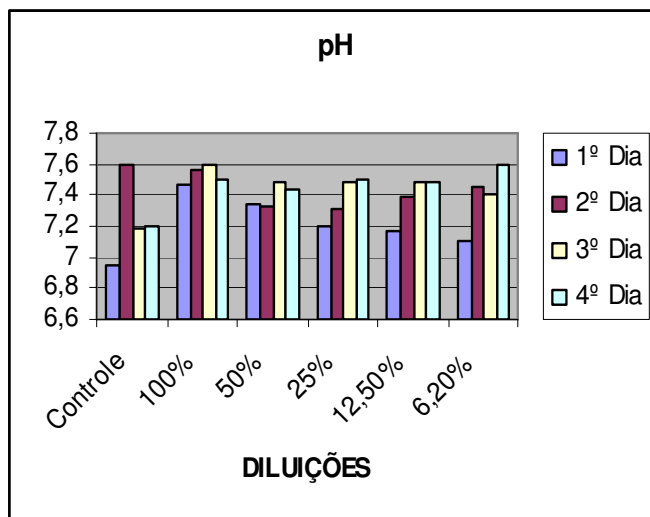
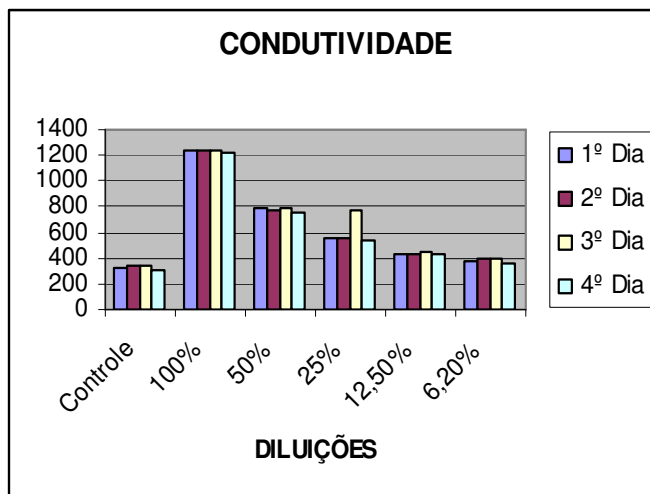


Gráfico 4. Condutividade – É a medida direta da quantidade de íons na água (teor de sais na água). Alto valor de condutividade significa altas taxas de decomposição de matéria orgânica (BASTOS, 2003). Os valores desejáveis para criação de peixes ficam entre 20 e 100 μ S/cm. A condutividade do ensaio variou de 316 μ S /cm a 793,5 μ S /cm.

Gráfico 4 – Condutividade (μ S /cm)



6. CONCLUSÕES

O efluente utilizado para abastecer o tanque de piscicultura ainda não atende em sua totalidade aos padrões exigidos pelo CONAMA. O que indica a necessidade de um estudo de viabilidade que viabilize a adequação do efluente final da ETE aos padrões exigidos pela atual legislação vigente para utilização no reuso. Outra sugestão seria a implementação do sistema com um pós-tratamento, adequando assim, os parâmetros.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15088: Ecotoxicologia aquática – Toxicidade aguda – Método de ensaio com peixes. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13969: Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação. Rio de Janeiro, 1997.

BANSAL, A. K. et. al. **Biological Treatment of Domestic Wastewater For Aquaculture.** Journal of Agricultural and Biological Science, v. 2, n. 1, jan. 2007

BASTOS, R. K. X. et al. **Utilização de Esgotos Sanitários em Piscicultura.** In: BASTOS, R. K. X. (Coordenador). Utilização de Esgotos Sanitários em Piscicultura. Rio de Janeiro: ABES, Rima, 2003. p.193-223.

BASTOS, R. K. X. et al. **Tratamento de Esgotos Sanitários e Usos Múltiplos de Efluentes.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.9, suplemento, p.164-170, 2005.

CAVALLINI, J. M.; MUÑOZ, A. F. **Reúso Em Acuicultura de Las Aguas Residuales Tratadas Em Las Lagunas de Estabilizacion de San Juan.** Lima: CEPIS, 1991.

EPA. **Methods for Measuring the Acute Toxicity of Effluents and Receiving Waters to Freshwater and Marine Organisms.** Washington, dez 2002.

FELIZATTO, M.; STARLING, F.; SOUZA, M. **Reúso de Água em Piscicultura: Análise da Possibilidade de Aplicação de Efluente de Lagoas de Estabilização em Série.** In: Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, 27, Porto Alegre, 2000.

GHEYI, H. R. et. al. (org.). **Uso e Reúso de Águas de Qualidade Inferior: Realidades e Perspectivas.** Campina Grande: UFCG, UEPB, 2005. 535p.

GRADVOHL, S. T. S. **Avaliação dos Riscos Ambientais e Ecotoxicológicos do reúso de Águas Residuárias em Piscicultura.** 2006. 163 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza. 2006.

HELPANHOL, I. **Potencial de reúso de água no Brasil: agricultura, indústria, municípios, recarga de aquíferos.** Salvador: BAHIA ANÁLISE & DADOS, v. 13, n. ESPECIAL, p. 411-437, 2003

MOTA, S.; AQUINO, M.D.; SANTOS, A.B. (Coordenação). **Reúso de Águas em Irrigação e Piscicultura.**In: AQUINO, M.D.; GRADVOHL, S. T. S.; SANTOS, E.S. Reúso em Piscicultura. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, p.149-172. 2007.

REIDEL, A. et.al. **Utilização de Efluente de Frigorífico, tratado com Macrófita Aquática, no Cultivo da Tilápia do Nilo.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.9, suplemento, p.181-185, 2005.

SANTOS, M.L.F.; BASTOS, R.K.X.; AISSE, M.M. (Coordenação). **Tratamento e Utilização de Esgotos Sanitários.** Rio de Janeiro: ABES, 2006. 427p.

USEPA. Guidelines for Water Reuse. Washington, set 2004.

WHO - World Health Organization. **Health guidelines for the use of wastewater in agriculture and aquaculture:** Geneva: WHO 1989, 74p. Report of a WHO Scientific Group. Technical report Series 778. Disponível em: <http://www.cagece.com.br/comunicacao/noticias/aquiraz>. Acessado em: 10/07/2007.