

II-250 - AVALIAÇÃO DE DIFERENTES SISTEMAS DE TRATAMENTO DA ÁGUA RECIRCULANTE EM TANQUES DE CULTIVO DE TILÁPIA DO NILO**Paulo Cezar Caliarí⁽¹⁾**

Químico pela Universidade Federal do Espírito Santo/UFES (1997). Mestre em Engenharia Ambiental pelo Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo/CT-UFES (2004). Professor do Instituto Federal do Espírito Santo (IFES).

Ana Lúcia Salaro

Bióloga – UNESP (1986), Mestrado em Ciências Biológicas - UNESP (1992), Doutorado em Ciências Biológicas – UNESP (1996), Professor Associado I da UFV, Coordenadora do Setor de Piscicultura e dos Laboratórios de Nutrição e Reprodução de Peixes do Departamento de Biologia Animal da UFV e integrante do corpo de docentes e orientadores do Programa de Pós-Graduação em Biologia Animal, do Departamento de Biologia Animal da UFV.

Ricardo Franci Gonçalves

Engenheiro Civil e Sanitarista - UERJ (1984), pós-graduado em Enga de Saúde Pública - ENSP/RJ (1985), DEA Ciências do Meio Ambiente - Universidade Paris XII, ENGREF, ENPC, Paris (1990), Doutor em Engenharia do Tratamento e Depuração de Águas - INSA de Toulouse, França (1993), Prof. Adjunto do DEA/UFES.

Endereço⁽¹⁾: Av. Vitória, 1729 – Jucutuquara – Vitória – ES – CEP: 29.040-780 – Brasil – Tel: +55 (27) 3331-2228 e-mail: caliari@ifes.edu.br

RESUMO

A população mundial atual é estimada em 6,5 bilhões de pessoas, sendo projetada para nove bilhões em 2050. Assim, a busca de alimentos de usando formas ambientalmente sustentáveis com vistas a suprir essa demanda tornam-se evidente. Nesse contexto, a aquíicultura, em especial a piscicultura, tem sido amplamente desenvolvida como forma de gerar alimento, além de renda. Entretanto essa atividade requer grandes recursos de água, extensas áreas, além de produzir efluente poluído que tende a impactar adversamente o meio ambiente, o que pode levar à perda da biodiversidade vegetal e animal. Desta forma, o desenvolvimento de tecnologias que levem à diminuição dos impactos decorrentes desta atividade torna-se evidente. Uma das alternativas vem a ser a recirculação de água em tanques de cultivo, com atenção à sua qualidade, pois a água em condições inadequadas compromete o desenvolvimento do pescado. Ressalta-se que restos de alimentos e excretas diversas comprometem a qualidade da água. Oxigênio dissolvido, pH, sólidos suspensos, resíduos orgânicos, fosfato, alcalinidade e compostos de nitrogênio, principalmente amônia e nitrato são fatores limitantes da qualidade da água. A manutenção de um ambiente adequado pode ser obtido a partir da combinação de técnicas adequadas de filtração mecânica e biológica, sendo a biofiltração o principal processo empregado no tratamento de resíduos metabólicos de peixes em sistemas de recirculação de água com base no sistema intensivo. Contudo, infecções por patógenos passaram a ser mais frequentes nas espécies cultivadas desta maneira. No sentido de se melhorar a qualidade da água recirculante, tem-se verificado que a radiação ultravioleta (UV) apresenta-se com um grande potencial, pois ela pode controlar muitas formas de bactérias, algas, e alguns vírus. Esta forma se destaca pelo baixo custo e a não geração de resíduos tóxicos. O presente trabalho teve como objetivo principal a avaliação do desempenho da biofiltração aerada e da radiação UV no tratamento da água recirculante em tanques de cultivo da tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). Os resultados mostraram ser promissor o uso do biofiltro aerado, no que diz respeito ao controle das características físico-químicas da água, além de propiciar satisfatória conversão alimentar e um bom desenvolvimento da espécie cultivada. Já o UV, exerceu forte influência na mortalidade de peixes, apesar de ser eficiente no controle de algas.

PALAVRAS-CHAVE: Piscicultura, Tilápia, Recirculação, Biofiltro Aerado Submerso, Ultravioleta.

INTRODUÇÃO

Segundo UN (2007) a população mundial é estimada em 6,5 bilhões de pessoas e projetada para nove bilhões em 2050. Peixoto (2007) destaca que para a alimentação dessa massa populacional, a sociedade busca formas ambientalmente sustentáveis para suprir uma demanda crescente, pois juntamente com a mudança cultural, uma melhora da qualidade de vida se relaciona com a fonte de proteína que será suprida.

De acordo com Lin e Yi (2003), a aquíicultura tem sido amplamente desenvolvida em recentes anos objetivando o atendimento de dois principais propósitos, quais sejam a segurança alimentar e a geração de renda.

Entre os ramos da aquíicultura destaca-se a piscicultura, que requer grandes recursos de água e extensas áreas, além de produzir efluente poluído que tende a impactar adversamente o meio ambiente, o que pode levar à perda da biodiversidade vegetal e animal.

A impactação adversa do meio ambiente compõe um dos focos da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA (2002), visto que, atualmente uma das maiores preocupações do setor aquícola vem a ser qualidade da água e dos efluentes, e também das condições sanitárias dos sistemas de cultivo, aliado ao fato de a indústria da aquíicultura, no Brasil, estar crescendo a uma taxa superior a 15% ao ano. Há de se destacar, também, o uso de água subterrânea e superficial no enchimento dos tanques de cultivo, fato que gera conflitos entre usuários dos recursos hídricos. Assim, o desenvolvimento de tecnologias que levem à diminuição dos impactos decorrentes desta atividade, como a minimização da carga poluidora incrementada nos cursos d'água e a redução do consumo de água tornam-se evidentes.

Uma das alternativas que proporcionam a diminuição do consumo de água é a partir da sua recirculação. Entretanto, conforme Lin et al. (2003), o acúmulo de resíduos de alimentos não consumidos pelos peixes e os resíduos derivados de suas excreções promovem, freqüentemente, a deterioração da qualidade da água em viveiros de peixes. De acordo com Kubitzka (2000), a água em condições inadequadas pode prejudicar o crescimento, reprodução, saúde e sobrevivência do pescado. Losordo et al. (1999) destacam que, embora a má qualidade da água não seja letal, pode causar estresse e aumentar a incidência da doença.

Conforme a literatura, pH, oxigênio dissolvido, sólidos suspensos, resíduos orgânicos, fosfato, alcalinidade e compostos de nitrogênio, principalmente amônia e nitrito são fatores limitantes da qualidade da água utilizada na aquíicultura e devem ser reduzidos para a manutenção de um ambiente adequado.

A manutenção de um ambiente adequado de recirculação de água requer a combinação de técnicas adequadas de filtração mecânica e biológica, segundo Hall (1999). De acordo com Losordo et al. (1992), os componentes de um sistema de tratamento de água devem ser concebidos de forma a eliminar os efeitos adversos dos resíduos deterioradores da qualidade da água.

De acordo com Libey e Miller (1985), a biofiltração é o principal processo empregado no tratamento de resíduos metabólicos de peixes em sistemas de recirculação de água na aquíicultura intensiva.

A remoção de resíduos dissolvidos nos biofiltros, de acordo com Hall (1999) e Golz (1995), se dá a partir de reações bioquímicas que ocorrem durante o metabolismo celular com a conversão de compostos orgânicos dissolvidos e compostos nitrogenados tóxicos em biomassa bacteriana.

Segundo a literatura, infecções por patógenos passaram a ser mais freqüentes nas espécies cultivadas com a implantação da aquíicultura intensiva, em especial aquela que apresenta sistema de recirculação. Desta forma, verifica-se a necessidade da implantação de sistema de desinfecção nos tanques de cultivo.

Segundo Golz (1995), a eficiência de um sistema de recirculação pode ser aumentada pela adição de processos adicionais como desinfecção a partir do uso de radiação ultravioleta (UV), que pode ser usada para controlar muitas formas de bactérias, algas, e alguns vírus. Summerfelt (2003) destaca que a radiação UV está sendo aplicada extensamente em sistemas de aquíicultura. Entre as vantagens desta forma de desinfecção estão o baixo custo e a não geração de resíduos tóxicos, que poderiam por em risco os organismos aquáticos.

Em face do exposto percebe-se a necessidade da realização de estudos que propiciem o desenvolvimento de técnicas economicamente viáveis e efetivas para o tratamento dos efluentes com o objetivo de controlar a poluição do meio ambiente aquático e reduzir o seu possível impacto ambiental, aliado à redução do consumo de água.

Neste contexto, o presente trabalho teve como objetivo principal a avaliação do desempenho da biofiltração aerada e da radiação UV no controle das características físico-químicas e biológicas da água de tanques de cultivo da tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*), em circuito fechado.

MATERIAIS E MÉTODOS

1 – Sistemas de tratamento da água circulante

a – Filtro Biológico Aerado Submerso com desinfecção por UV (S1)

O biofiltro, de fluxo ascendente, era constituído por um tubo de PVC tendo 2,0m de altura e 0,25m de diâmetro, apresentando tempo de detenção hidráulico de 5,8 minutos. O leito filtrante tinha 1,6m de altura, sendo preenchido por *pellets* de plástico reciclado. Neste sistema a taxa de aeração era de 10L/min.

O sistema de desinfecção por UV era formado por um tubo de PVC de 0,1m de diâmetro na posição horizontal, com lâmina d'água de 0,05m. O TDH era de 0,85 minutos. A fonte da radiação, constituída por lâmpada de baixa pressão com 0,9m de comprimento e potência de 30W, estava localizada ao longo do tubo. Desta forma, a dose de radiação aplicada foi de 15,26mW.s/cm².

b – Filtro Biológico Aerado Submerso (S2)

Esse tratamento tinha a mesma constituição do Tratamento 1, a não ser a ausência do sistema de desinfecção por UV. Neste sistema a taxa de aeração aplicada também era de 10L/min.

c – Aeração forçada (S3)

Neste sistema, a água proveniente dos tanques era direcionada para um reservatório fechado com capacidade volumétrica de 1,5m³, (TDH= 360 minutos) onde era aerada por injeção de ar atmosférico a uma taxa de aeração de 6L/min.

Para os três sistemas descritos anteriormente, o ar era proveniente de um compressor com reservatório de 200L de capacidade, acionado por um motor elétrico com potência de 1.500W. O ciclo de funcionamento do motor do compressor era composto de 5 minutos de funcionamento (enchimento do reservatório) e 25 minutos de pausa (esvaziamento do reservatório) até que o pressostato ativasse novamente o motor para novo enchimento.

2 – Tanques de cultivo

Para cada um dos tratamentos propostos existia um sistema de cultivo, formado por 3 (três) caixas d'água com capacidade volumétrica de 2m³, cada uma. O princípio de funcionamento estava baseado na captação da água extravasada dos tanques com posterior recalque dessa água por uma bomba submersa, com potência de 80W e funcionamento contínuo, fornecendo uma vazão de 250L/h até o tratamento proposto. Daí a água retornava por gravidade aos tanques de cultivo, fechando o circuito. A partida do sistema ocorreu no dia 18 de junho de 2007 com o enchimento das caixas com água do Rio Santa Maria da Vitória, localizado no entorno do município de Vitória/ES.

Foram adotadas 3 (três) caixas d'água em cada sistema de cultivo com vistas à realização simultânea de triplicatas do desenvolvimento da espécie cultivada

3 – Densidade de Estocagem – DE e Arraçamento

A DE adotada neste experimento foi de 3,5peixes/m³, com peso e tamanho, iniciais de 30g e 10cm, respectivamente. Os peixes foram colocados nos tanques no dia 20 de junho de 2007. A alimentação dos indivíduos foi composta, unicamente, por ração de engorda de peixes com 35% de proteína bruta. O arraçamento foi realizado a partir do fornecimento de porções diárias, tendo sido considerada consumida toda a ração fornecida.

4 – Reposição de água

Considerando a perda de água por evaporação e que as análises levariam ao consumo da água do sistema, a reposição da água era realizada tão logo a superfície da água presente na caixa de recalque atingisse a parte superior da bomba. A reposição foi feita usando-se água proveniente da mesma estação de tratamento de água. A reposição foi feita usando-se a água fornecida pela concessionária da região, no caso a Companhia Espírito Santense de Saneamento – CESAN.

4 – Amostragens e análises

a – Parâmetros de qualidade da água

Os dados de qualidade da água foram monitorados a partir de análises realizadas em amostras coletadas na saída de cada tanque (pré-tratamento) e imediatamente após a passagem pelo sistema de tratamento aplicado (pós-tratamento).

Os parâmetros temperatura, turbidez, pH, alcalinidade e oxigênio dissolvido (OD) foram acompanhados diariamente. Já a demanda bioquímica de oxigênio (DBO₅), demanda química de oxigênio (DQO), sólidos suspensos (SS), nitrato (NO₃¹⁻), nitrito (NO₂¹⁻), amônia (NH₃) e fosfato (PO₄³⁻) foram acompanhados semanalmente. As análises dos parâmetros de qualidade da água foram iniciadas a partir de 3 de julho de 2007 e finalizadas em 20 de novembro de 2007. O período de 13 dias entre a introdução dos peixes e o início das análises de água foi necessário para a aclimação dos peixes.

Em relação às análises, ressalta-se que as amostras de água eram coletadas sempre às 8:00h, sendo imediatamente encaminhadas ao laboratório para os devidos procedimentos analíticos. Todas as variáveis de qualidade da água foram analisadas conforme APHA (1995).

b - Desempenho produtivo da espécie

O desempenho foi medido através da determinação da Conversão Alimentar (CA), que corresponde à relação entre o ganho de peso e o consumo de ração no período. Para tanto os indivíduos foram submetidos a biometrias mensais, as quais avaliaram o ganho de peso. Os valores usuais de CA para a tilápia do Nilo estão entre 1,3 e 1,5, ou seja, de 1,3 a 1,5kg de ração para cada 1kg de carne.

RESULTADOS

Dados de Qualidade da Água

Temperatura: os valores máximo e mínimo observados no período foram de 29,6 e 18,2°C, respectivamente, com valor médio de 24,7°C. Durante a maior parte do tempo, a temperatura apresentou valores fora da faixa recomendada com ideal, segundo Kubitza (2000), que está entre 27 e 32°C, conforme pode ser visto na figura 1-a. Apesar disso, não foram verificadas significativas alterações comportamentais nos indivíduos.

Alcalinidade: a alcalinidade refere-se à concentração de compostos presentes na água e está relacionada com a capacidade do meio em resistir às reduções de pH. Na maioria das águas, os carbonatos (CO₃²⁻) e os bicarbonatos (HCO₃¹⁻) são os compostos predominantes, estando em equilíbrio com o CO₂, em função do pH da água.

Os resultados mostraram redução acentuada da alcalinidade ao final do término da primeira metade do período experimental, conforme pode ser visualizado na figura 1-b, que trás o comportamento da alcalinidade para os três sistemas. Ainda assim, não se verificou valores que comprometessem a qualidade do ambiente para os peixes, pois segundo Ono e Kubitza (2003), os níveis ótimos de alcalinidade encontram-se acima de 30mg/L.

A redução da alcalinidade parece estar associada com a proliferação de algas, pois com o aumento do número de algas, há maior remoção de CO₂, que por sua vez promove a redução nas concentrações de CO₃²⁻ e HCO₃¹⁻, durante as atividades fotossintetizantes.

OD: os valores de OD mostraram comportamentos similares, nos três sistemas propostos, até a sexta semana do experimento, conforme pode ser visto na figuras 1-c, que ilustra o comportamento do parâmetro OD ao longo do experimento.

A partir daquele momento, verificou-se redução do OD em S3, tal situação parece estar associado à proliferação acentuada de algas, pois desta maneira maiores níveis de matéria orgânica tendem a estar presentes, o que compromete a disponibilidade de oxigênio no sistema. Já para S1 e S2, verificou-se um pequeno aumento do OD até por volta da décima quarta semana, a partir da qual verificou-se ocorreu redução do OD tanto em S1 quanto em S2. Enquanto o aumento parece estar associado ao aumento da concentração de algas, a redução subsequente esta associada ao acúmulo de matéria orgânica nos sistemas, proveniente da falência destes organismos. pois segundo Salero et al. (2006), a decomposição da matéria orgânica orgânica particulada está entre as causas da redução do oxigênio dissolvido na água.

pH: as análises mostraram que o pH apresentou, usualmente, maiores valores em S2, frente a S1 e S3, conforme pode ser visto na figura 1-d, que mostra os valores deste parâmetro ao longo do experimento. Tal situação foi derivada da elevada proliferação de algas nesses sistemas, o que acentuou a remoção de gás carbônico (CO₂) pelo incremento das atividades fotossintetizantes.

Segundo Masser et al. (1999), os peixes, geralmente, toleram pH entre 6 e 9,5. Apesar de, em muitas ocasiões, terem sido verificados valores acima de 9,5 para os sistemas 2 e 3, não foram detectados comportamentos anormais deles.

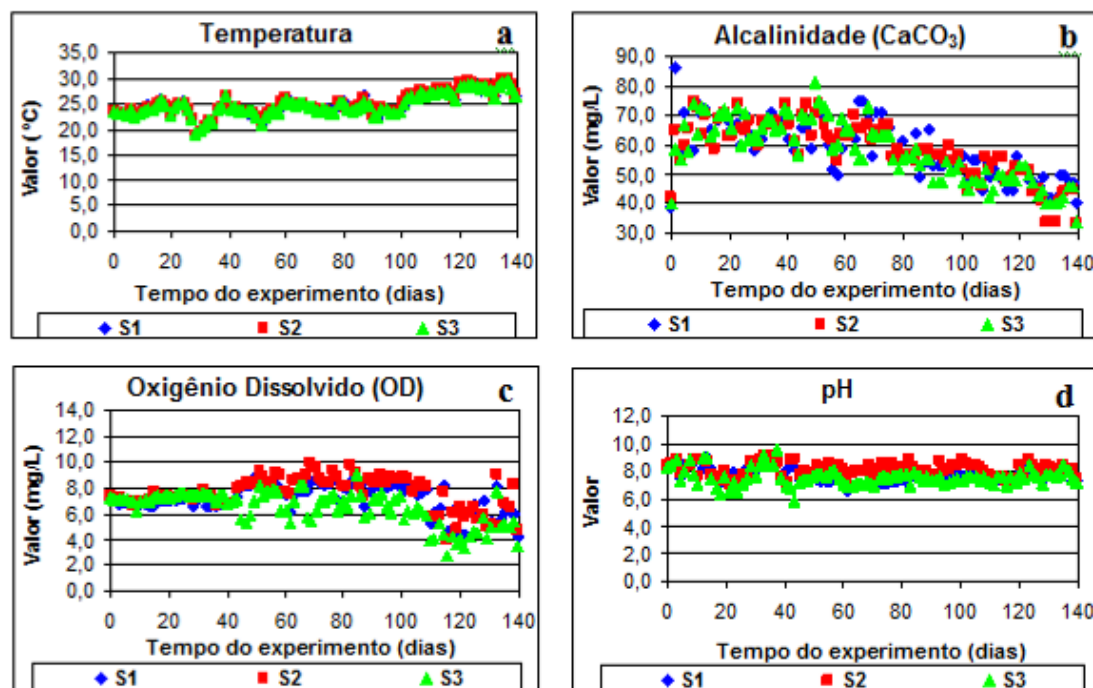


Figura 1: valores de a) Temperatura, b) Alcalinidade, c) OD e d) pH ao longo do experimento.

SS: a concentração de SS (CSS) apresentou maior tendência de aumento nos sistemas 2 e 3, frente ao sistema 1, que apresentou menores valores desse parâmetro, segundo pode ser visualizado na figura 2-a que relaciona os dados desse parâmetro, pré-tratamento, ao longo do experimento. Tal comportamento está relacionado com a elevada proliferação de algas observada nos sistemas 2 e 3, dado que análises posteriores evidenciaram que a maior parte dos SS presentes é proveniente das algas existentes nos sistemas. Destaca-se o valor reduzido observado no sistema 1, frente aos outros dois sistemas, derivado da eliminação contínua das algas imposta pelo sistema de ultravioleta, o que o caracteriza como um sistema eficiente no controle desse parâmetro.

Turbidez: a turbidez apresentou comportamentos similares aos da CSS, segundo pode ser visto na figura 2-b, que ilustra os dados desse parâmetro distintos em função do tratamento aplicado, ao longo do experimento. Como ela é um parâmetro dependente dos sólidos em suspensão, era de se esperar que o aumento da CSS fosse acompanhado pelo aumento da turbidez.

Amônia (N-NH₃): os resultados das análises mostraram que este parâmetro apresentou valores reduzidos nos três sistemas analisados, conforme pode ser visualizado na figura 3-c, que trás as concentrações de amônia ao longo do tempo do experimento.

De um modo geral, percebe-se que os valores de concentração de amônia são maiores em S3, frente a S1 e S2, em especial a partir do início da segunda metade do experimento. Isso parece indicar que o conjunto de aeração proposto para S3, de alguma maneira, promover a formação de NH₃ durante a decomposição da matéria orgânica acumulada no interior da caixa de aeração. Já os dados obtidos para S1 e S2 parecem indicar a necessidade de aumento da taxa de aeração aplicada, pois a biofiltração aerada é reconhecidamente uma ferramenta de controle da amônia.

Por se tratar de um parâmetro que compromete o desempenho produtivo, ocasionando a mortalidade dos peixes, o ideal é que a amônia liberada no sistema de cultivo seja imediatamente eliminada dele. Apesar de os dados terem demonstrado que a sua concentração apresentou-se, em geral, com valores entre 0 e 0,300mg/L, os peixes não apresentaram reações adversas, como hábitos alimentares fora do esperado e movimentos anormais. Tal situação parece estar relacionada com a reduzida concentração verificada.

Nitrito (N-NO_2^{1-}): os dados obtidos nas análises indicaram que este constituinte apresentou concentrações reduzidas, em geral entre 0 e 0,100mg/L, segundo pode ser contemplado na figura 2-d, que exibe os valores de N-NO_2^{1-} ao longo do experimento. Tal situação evidencia o bom desempenho do sistema proposto, como forma de manutenção de níveis reduzidos desse constituinte.

Observa-se que para S1, a concentração de nitrito apresentou elevada no início do experimento com posterior redução a partir do final do primeiro mês. Tal situação está relacionada com a formação e fixação do biofilme nitrificante no leito filtrante do biofiltro. Comportamento similar ocorreu em S2, porém com valores de concentração menores daqueles verificados em S1.

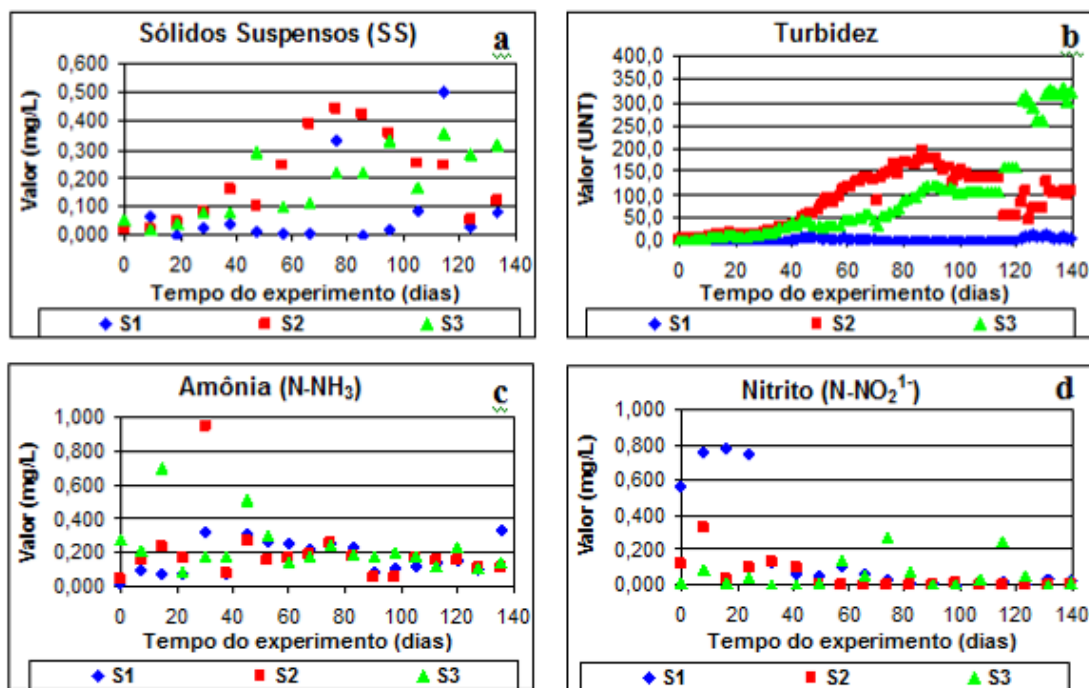


Figura 2: valores de a) CSS, b) Turbidez, c) Amônia e d) Nitrito, ao longo do experimento.

Nitrato (N-NO_3^{1-}): os valores de concentração desses parâmetros apresentaram-se substancialmente maiores em S1, em comparação com S2 e S3, segundo pode ser visto na figura 3-a, que relaciona as concentrações desse parâmetro nos sistemas, antes do tratamento da água recirculante. A explicação está no fato de a radiação ultravioleta presente em S1 eliminar as algas, o que impede que haja assimilação do nitrato, fazendo com que ele acumule-se no sistema, o que não aconteceu nos sistemas 2 e 3.

Segundo Colt (2006), a toxicidade do nitrato para peixes de água doce é muito baixa, apresentando concentração letal para 50% da população, valores maiores que 1.000mg/L como N ($\text{CL}_{50} > 1.000\text{mg/L}$) para ensaios de 96 horas. Conforme pode ser visto na figura 3-a, os valores de nitrato não chegaram a atingir esse valor, tendo sido verificado o máximo de 0,474mg/L como N.

Fosfato (P-PO_4^{3-}): os valores de concentração deste parâmetro apresentaram-se substancialmente maiores em S1, em comparação com os sistemas 2 e 3, segundo pode ser visto na figura 3-b, que relaciona a concentração de P-PO_4^{3-} na água recirculante. A explicação para tal comportamento, assim como descrito para o constituinte nitrato, está no fato de a radiação UV, aplicada no sistema 1, eliminar as algas que poderiam assimilar esse constituinte, levando a uma acumulação dele no sistema 1, fato não ocorrido nos sistemas 2 e 3.

Em relação à contenção da concentração de fosfato nos sistemas de cultivo, os dados caracterizaram a biofiltração aerada como método não eficaz na remoção de fósforo.

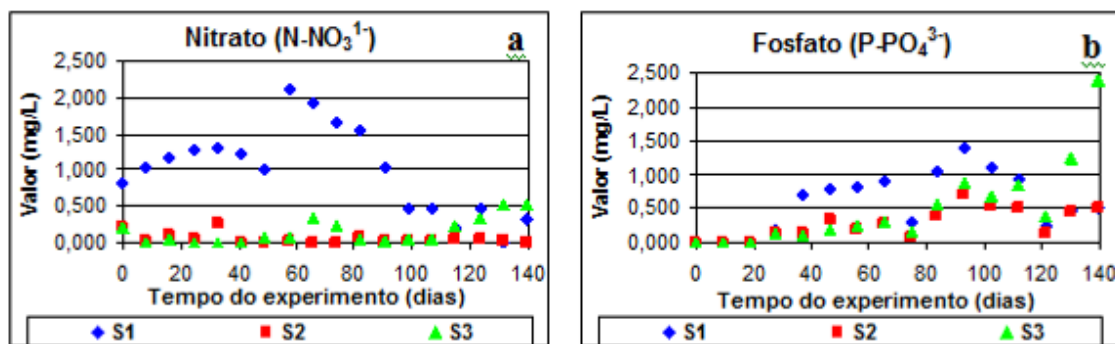


Figura 3: valores das concentrações de a) Nitrato e b) Fosfato ao longo do experimento.

Demanda Química de Oxigênio: a DQO apresentou tendências de maiores valores em S2 e S3, em relação a S1, segundo pode ser observado na figura 4-a. Tal situação foi resultado, em parte, da elevada concentração de algas verificada naqueles sistemas, fato este não verificado em S1, dada a ação do UV no controle das algas. As algas, por serem matéria orgânica degradável, acabam por consumir oxigênio ao longo da realização das análises durante sua decomposição, ou seja, trata-se quase que exclusivamente de DQO particulada. Em relação aos valores apurados em S2 e S3, destaca-se que este último apresentou menores para esse parâmetro pois a caixa de aeração acabou por funcionar como decantador. Desta forma parte da matéria orgânica acabou por ser contida nela. Além das informações anteriores, existiu o fato de ter sido verificada a maior taxa de mortalidade exatamente em S1, conforme será discutido em seção adiante, ou seja, havendo menor número de peixes, menor será a quantidade de resíduos presentes no sistema, o que tende a conferir menor DQO.

De um modo geral, verifica-se que a DQO não apresentou tendência de crescimento contínuo, tanto em S1 quanto em S2. Tal situação evidencia que a biofiltração aerada têm bom desempenho na remoção da DQO, em especial, a particulada. Ressalta-se a necessidade de análises que caracterizem o seu desempenho em relação à DQO solúvel.

Demanda Bioquímica de Oxigênio: este parâmetro apresentou tendência de maiores valores nos sistemas 2 e 3, frente ao 1, segundo pode ser observado na figura 4-b, que relaciona os valores de DBO para cada sistema, ao longo do desenvolvimento do experimento. Assim como foi considerado para a DQO, tal situação advém, em parte, do consumo de oxigênio durante a realização das análises, pelas algas existentes, em maior quantidade, nas águas dos sistemas 2 e 3.

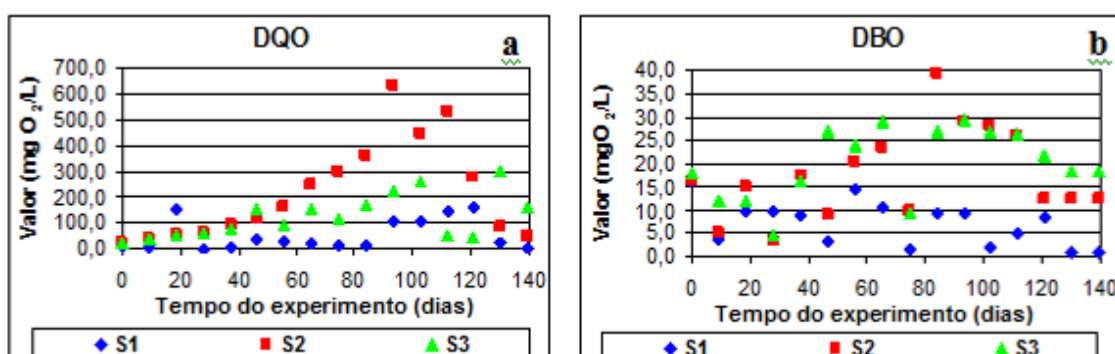


Figura 4: valores de a) DQO e b) DBO durante o experimento.

Insumos consumidos

A tabela 1, a seguir, exibe os gastos elétricos necessários para o desenvolvimento do experimento. As quantidades são expressas em função do consumo energético - kWh (quilowatt-hora), associado ao funcionamento do compressor de ar, da lâmpada de radiação UV e das bombas de recalque da água. Já a tabela 2 relaciona as quantidades de ração (kg), por sistema, consumida ao longo do experimento.

Tabela 1: relação do consumo energético durante o experimento.

Item	Consumo (kWh)
Compressor de ar	1.026,00
Lâmpada UV	123,12
Bombas	984,96
Ração	30,745

Tabela 2: consumo de ração, por sistema.

Sistema	Consumo (kg)
1	9,125
2	10,205
3	11,325

Os resultados demonstram um consumo total de 2.134,08kWh durante o período de realização do experimento, o que dá uma relação de 69,41kWh por kg de ração consumida.

Produtividade

Conversão Alimentar (CA): os resultados da CA mostraram que o desempenho produtivo apresentou diferenças relacionadas com o tipo de tratamento aplicado à água. Verificou-se que o melhor resultado foi observado para S3 (CA= 2,3), seguido por S1 (CA= 2,5) e S2 (CA= 2,8), conforme pode ser visto na tabela 3, coluna **A**, que relaciona a conversão alimentar considerando todo o período de execução do experimento que foi de 141 dias.

Buscou-se identificar qual seria a melhor situação para cada um dos sistemas, ou seja, em qual momento a CA atinge o menor valor. Os resultados mudaram para 2,0 (S1), 2,0 (S2) e 1,7 (S3) decorridos 127, 84 e 110 dias, respectivamente, conforme identificado na tabela 3, coluna **B**. Tais resultados corroboram com a fala anterior, que indica a dependência entre o desempenho da espécie e o tratamento de água aplicado no sistema de cultivo.

Tabela 3: Conversão Alimentar para os sistemas analisados

Sistema	Todo o período (141 dias) (A)	Melhor situação (B)
1	2,5	2,0 (127 dias)
2	2,8	2,0 (84 dias)
3	2,3	1,7 (110 dias)

Pretendendo-se alcançar melhor entendimento acerca do desempenho produtivo proporcionado por cada sistema estruturado, determinaram-se os ganhos de peso vivo para cada um deles. Para tanto, subtraiu-se o peso vivo total adicionado em cada sistema no início do experimento (0,63kg), do peso vivo total verificado ao final do período experimental, no respectivo sistema. Os resultados obtidos estão relacionados na tabela 4.

Tabela 4: Peso vivo final e ganho de peso vivo para todos os sistemas.

Sistema	Peso vivo final (kg)	Ganho de peso vivo (kg)
1	4,35	3,72
2	4,30	3,67
3	5,65	5,02

A tabela 5 exhibe o consumo energético (kWh) aproximado, por cada sistema, bem como a necessidade energética por cada quilo de peso vivo ganho (kWh/kg). Os resultados mostram que o sistema que apresentou melhor eficiência foi o 3, seguido por 2 e 1. Esses resultados confirmam aqueles verificados e discutidos acerca na das conversões alimentares.

Tabela 5: Consumo energético aproximado por sistema e relação consumo/ganho de peso.

Sistema	Consumo aproximado (kWh)	Consumo (kWh)/ganho de peso (kg)
1	793,44	213,29
2	670,32	182,65
3	670,32	133,53

Algas

A tabela 6, a seguir, relaciona os diversos tipos de algas que ocorreram nos tanques de cultivo, em função do tipo de tratamento aplicado. Destaca-se que o sistema que propiciou a menor variedade de algas foi exatamente aquele que impunha a radiação ultravioleta como uma das etapas de tratamento, sistema 1. Já o sistema que favoreceu o aparecimento de uma maior variedade de algas foi o sistema no qual era simplesmente feita a aeração forçada.

Tabela 3: Espécies de algas e respectivas classes, por sistema de tratamento de água

Sistema	Classe	Táxon
1	Chlorophyceae	<i>Coelastrum</i> sp
		<i>Scenedesmus</i> sp1
		<i>Scenedesmus</i> sp 2
2	Cyanophyceae	<i>Synechocystis</i> sp
	Chlorophyceae	<i>Golenkinia</i> sp
		<i>Scenedesmus</i> sp 3
	Cyanophyceae	<i>Aphanocapsa</i> sp
		<i>Microcystis</i> sp
	Euglenophyceae	<i>Euglena</i> sp
3	Chlorophyceae	<i>Golenkinia</i> sp
		<i>Monoraphidium</i> sp
		<i>Pediastrum</i> sp
		<i>Scenedesmus</i> sp 1
		<i>Scenedesmus</i> sp 3
		<i>Scenedesmus</i> sp 4
		<i>Kirchneriella</i> sp.
	Cyanophyceae	<i>Cianobactéria filamentosa</i> 1
		<i>Cianobactéria filamentosa</i> 2
		<i>Microcystis</i> sp
		<i>Synechocystis</i> sp
	Euglenophyceae	<i>Euglena</i> sp 2
	Zygnemaphyceae	<i>Staurostrum</i> sp

A análise dos dados da tabela 6 evidencia o efeito da radiação UV no que diz respeito ao controle de algas nos sistemas de cultivo, demonstrando bastante eficácia, apesar de, aparentemente, provocar algum desequilíbrio com conseqüente aumento do número de mortes entre os peixes. Tal situação parece ser derivada do uso de água natural no enchimento dos tanques, pois experimentos posteriores nos quais usou-se água potável para o enchimento dos tanques não forneceram os mesmos resultados.

Em relação ao biofiltro aerado, há de se destacar a sua eficiência, também no controle das espécies de algas, quando são comparados os dados dos sistemas 2 e 3, visto que o sistema 2 apresentou menor variedade de espécies.

Mortalidade: a mortalidade foi determinada com base no número de indivíduos colocados em cada sistema de produção e aqueles que foram levados a óbito durante o tempo de desenvolvimento do experimento. Era considerado como morto, todo indivíduo que não apresentasse qualquer tipo de movimentação durante um período observação de 5 minutos. Verificou-se que o sistema dotado de UV (S1) apresentou maior índice de mortalidade, 47,6%, seguido por S2 com 19,0%, por fim S3, com 9,5%. Tais resultados estão de acordo com o consumo de ração discutido em seção anterior, que indicam maior consumo aonde permaneceu a maior quantidade de peixes (S3) e menor consumo para o sistema com a menor quantidade (S1).

Análises foram conduzidas com vistas à identificação do agente causador das mortes, tendo sido verificado que em quase 100% os peixes levados a óbito estavam infestados do fungo da espécie *saprolegnia* sp., que impõe a formação de tufo, conforme pode ser visto nas fotos 13-a e b, que exibem dois peixes que morreram no período. Avaliações realizadas nos sistemas de cultivo mostraram que as mortes observadas no sistema 1 estavam relacionadas diretamente com grande infestação de fungos neste sistema, provavelmente por algum desequilíbrio causado pelo UV.

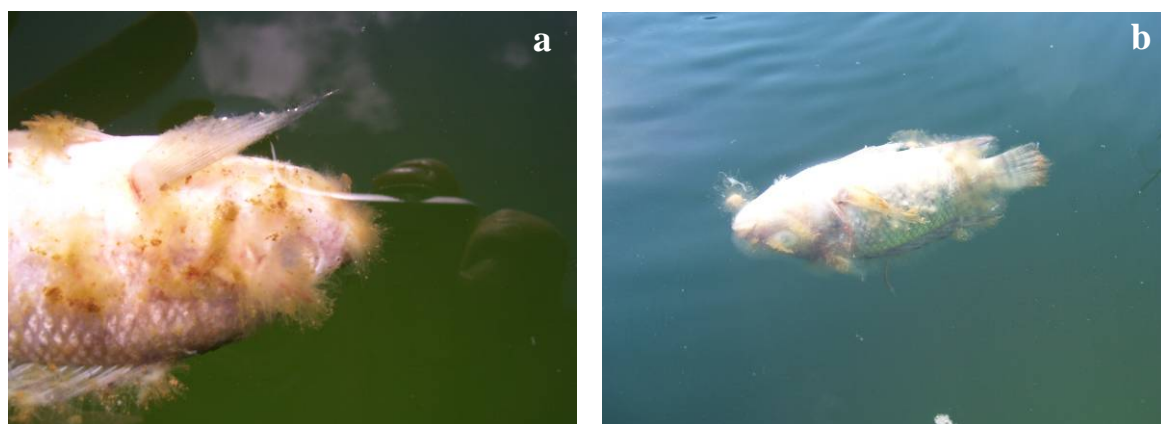


Figura 5: presença de fungos em peixes mortos durante o experimento

CONCLUSÕES

Com base no trabalho realizado, concluiu-se que:

O biofiltro aerado submerso mostrou ser eficiente no controle do pH, OD, NH_3 , NO_2^{1-} , DBO, DQO embora não seja eficiente para NO_3^{1-} e PO_4^{3-} .

O UV tem papel fundamental no controle de algas apesar de provavelmente ocasionar aumento da mortalidade da espécie cultivada.

O biofiltro aerado submerso mostrou ser eficiente no controle de algas em tanques de cultivo.

As taxas de conversão verificadas indicam ser promissor o tratamento de água recirculante em projetos de piscicultura, com base em processos biológicos.

O tipo de tratamento de água aplicado interfere no desempenho produtivo da espécie cultivada.

RECOMENDAÇÕES

Recomendam-se estudos com vistas ao:

Desenvolvimento de sistemas dotados de biofiltração que alcancem melhores resultados no ganho de peso vivo em relação ao consumo energético.

Controle da mortalidade de peixes em sistemas dotados de UV.

Aumento da eficiência do controle de algas em sistemas dotados de biofiltros aerados submersos.

Desenvolvimento de sistemas para remoção de fosfato e nitrato.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Fundação de Apoio à Ciência e Tecnologia do Espírito Santo - FAPES pelo apoio financeiro necessário à execução do projeto, e a M.Sc. em Biologia Vegetal, Fabíola Chrystian Oliveira Martins pela análise qualitativa das espécies de algas existentes nos sistemas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Al-Hafedh, Y.S., Alam, A. e Alam, M.A. Performance of plastic biofilter media with different configuration in a water recirculation system for the culture of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquacultural Engineering* 29 (2003) 139–154.
2. American Public Health Association – APHA. *Standard Methods for the Exam of Water and Wastewater*. 19 ed. 1995.
3. Colt, J. Water quality requirements for reuse systems. *Aquacultural Engineering* 34 (2006) 143–156.
4. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. *A Embrapa e a Aqüicultura. Demandas e prioridades de pesquisa / editores técnicos Júlio Ferraz de Queiroz ; José Nestor de Paula Lourenço ; Paulo Choji Kitamura*. – Brasília : Embrapa Informação Tecnológica, 2002. 35 p.
5. United Nations – UN. Population Division of the Department of Economic and Social Affairs of the United Nations Secretariat, *World Population Prospects: The 2006 Revision and World Urbanization Prospects: The 2005 Revision*. Disponível em < <http://esa.un.org/unpp> >. Acesso em 30 nov. 2007.
6. Golz, W.J. Biological Treatment in Recirculating Aquaculture Systems. In *Recirculating aquaculture in the classroom: a training workshop for agricultural science teachers, a proceedings of a workshop sponsored by the Louisiana Sea Grant College Program, Louisiana State University, and the Louisiana Department of Education*, 1995.
7. Hall, A.G. A comparative analysis of three biofilter types treating wastewater produced in recirculating aquaculture systems. Dissertação de Mestrado submetida ao Instituto Politécnico e Universidade Estadual da Virgínia. 1999.
8. Kubitza, F. Tilápia: tecnologia e planejamento na produção comercial. Jundiaí: KUBTIZA, F., 2000. 285p.
9. Libey, G.S. and G.E. Miller. 1985. Evaluation of three biological filters suitable for aquacultural applications. *Journal of the World Mariculture Society* 16: 158 – 168.
10. Lin, C.K., e Yi, Y. Minimizing environmental impacts of freshwater aquaculture and reuse of pond effluents and mud. *Aquaculture* 226 (2003) 57–68.
11. Lin, Y.F., Jing, S.R. e Lee, D.Y. The potential use of constructed wetlands in a recirculating aquaculture system for shrimp culture. *Environmental Pollution* 123 (2003) 107–113.
12. Losordo, T.M., Rakocy, J.E. e Masser, M.P. Recirculating aquaculture tank production systems: Component options. Southern Regional Aquaculture Center - SRAC. Publication nº 453. 1992.
13. Losordo, T.M., Masser, M.P. e Rakocy, J.E. Recirculating aquaculture tank production systems: A review of component options. Southern Regional Aquaculture Center - SRAC. Publication nº 453. Revisado em 1999.
14. Ono, E.A. e Kubitza, F. Cultivo de peixes em tanques-rede. 3ª ed., Jundiaí, S.P: 2003. p.111.
15. Masser, M.P., Rakocy, J. e Losordo, T.M. Recirculating aquaculture tank production systems management of recirculating systems. Southern Regional Aquaculture Center-SRAC. Publication nº 452. Revisado em 1999.
16. Salaro, A.L., Okano, W.Y., Zuanon, J.A.S. e Lambertucci, D.M. Qualidade da água na criação de peixes. *Cadernos Técnicos de Veterinária e Zootecnia*, nº 50, p.1–8, 2006.
17. Summerfelt, S.T. Ozonation and UV irradiation - an introduction and examples of current applications. *Aquacultural Engineering* 28 (2003) 21 – 36.