



Panorama da **AQUICULTURA**

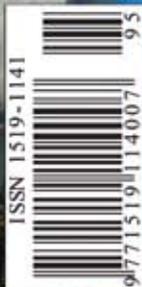
AS MARAVILHOSAS VIEIRAS DO RIO DE JANEIRO



Recirculação:
Tratamento e reuso da água

**O brasileiro
é um comedor
de pescados?**

**Tilápias que se
alimentam ao longo da noite**



Sistemas de Recirculação:

Sistemas fechados com tratamento e reuso da água

Por: **Fernando Kubitza**, Ph.D.
Acqua & Imagem - Jundiaí-SP
fernando@acquaimagem.com.br

Experientes ou não em piscicultura, a maioria dos investidores que optou pelos sistemas fechados tem dificuldade em encontrar informações sobre os componentes básicos e suas funções dentro dos sistemas de recirculação. Mesmo os mais experientes ainda desconhecem os fatores que afetam o desempenho e eficiência destes componentes, bem como ignoram os processos físicos, químicos e biológicos que determinam a qualidade da água, o bem estar, o desempenho e a sobrevivência dos peixes nestes sistemas. Neste artigo o leitor conhecerá um pouco mais sobre os componentes e o funcionamento dos sistemas de recirculação, as principais estratégias para manutenção da qualidade da água em sistemas de recirculação para o cultivo de peixes.

Sistemas fechados com tratamento e recirculação de água são comumente utilizados em laboratórios de pesquisa, no cultivo e manutenção de peixes ornamentais e em grandes aquários públicos e privados em todo o mundo. A partir da década de 80, os estudos visando o uso de sistemas de recirculação se intensificaram no Japão, Estados Unidos, Israel e diversos países europeus.

No Brasil, o interesse de investidores pelo cultivo de peixes em sistemas fechados é ainda muito recente. O uso destes sistemas em escala comercial ainda é restrito a alguns empreendimentos com peixes ornamentais, aos laboratórios de reprodução de tilápia e nas larviculturas de camarão. Sistemas pioneiros visando a recria e engorda de tilápias foram implementados no final da década de 90. Grande parte destes empreendimentos enfrentou problemas operacionais ou de viabilidade econômica que inviabilizaram a produção. No quadro 1 são relacionadas algumas razões do insucesso operacional ou econômico em sistemas de recirculação.

Quadro 1 – Razões do insucesso operacional ou econômico de sistemas de recirculação

- O alto custo envolvido na implantação;
- O desconhecimento dos princípios básicos que regem o funcionamento do sistema;
- A falta de capacitação dos operadores e gerentes para compreender e atuar sobre as interações físicas, químicas e biológicas que determinam a saúde dos componentes do sistema;
- O uso de rações de baixa qualidade;
- O inadequado design do sistema e/ou a tentativa de operar com componentes inadequados;
- Incorreto dimensionamento, ou até mesmo a ausência de importantes componentes (filtros, biofiltros e sistemas de “backup”);
- A criação de espécies com preços de mercado que muitas vezes não conseguem remunerar o custo operacional e/ou sequer são capazes de retornar o capital investido;
- Inadequado manejo sanitário e falta de conhecimento sobre boas práticas de manejo e de medidas profiláticas para evitar problemas com doenças.

Sistemas de recirculação em cultivos aquáticos demandam considerável investimento e capital operacional. Assim, o cultivo deve ser focado em espécies de bom valor de mercado e conduzido de forma a otimizar o uso das instalações e a produção. Com isso é possível diluir importantes componentes de custo do empreendimento (salários e encargos dos funcionários operacionais e administrativos; depreciação e manutenção das instalações e equipamentos, despesas fixas com energia elétrica), reduzindo os custos de produção e melhorando o retorno do capital investido.

Os componentes básicos do sistema de recirculação

De um modo simplificado, podemos fracionar um sistema de recirculação em seis componentes, como resumido no quadro 2 e representado na figura 1. Alguns processos e equipamentos adicionais podem ser inseridos nestes componentes para melhorar a eficiência de recomposição da qualidade da água e, assim, otimizar a produção do sistema.

Quadro 2 – Características dos principais componentes dos sistemas de recirculação

Tanques de cultivo (Fotos 1 e 2)

Embora diversos formatos e design de tanques têm sido empregados em sistemas de recirculação, os mais comuns ainda são os tanques circulares e octogonais, que facilitam a concentração dos resíduos sólidos no dreno central. Alguns sistemas usam tanques retangulares ou ovais, que possibilitam um melhor aproveitamento do espaço comparado aos tanques circulares. A água de entrada é distribuída verticalmente na coluna d'água através de um tubo perfurado (1) e entra em sentido tangencial à parede do tanque, sustentando uma corrente de água circular que facilita a concentração dos sólidos decantáveis no dreno central (3), que são conduzidos até o decantador ou cone por um tubo de pequeno calibre (4) constantemente drenando os sólidos concentrados. O excesso de água geralmente sai do tanque por um dreno de superfície (2).

Decantadores e filtros mecânicos (Fotos 3 e 4)

Cones (5) e decantadores podem ser usados para concentrar os sólidos decantáveis (partículas > 100 micra ou 0,1mm). Filtros mecânicos (6) com telas finas ou filtros fechados com meio filtrante de areia, cascalho ou esferas de plástico (filtros tipo de piscina) concentram e removem os sólidos em suspensão (partículas entre 40 e 100 micra). Sólidos dissolvidos (partículas < 40micra) podem ser concentrados e removidos do sistema com o uso do fracionador de espuma (7).

Biofiltros (Fotos 5 e 6)

Os filtros biológicos (8) são fundamentais para a saúde do sistema. Geralmente consiste em uma caixa, tanque, cilindro, ou gaiola preenchida com um substrato que possibilite a fixação de bactérias nitrificadoras, que promovem a oxidação da amônia a nitrato. Diversos tipos de substratos podem ser utilizados nos biofiltros. Os mais comuns são areia grossa, cascalho, brita, esferas ou cilindros de plástico e flocos de isopor.

Sistema de aeração/oxigenação

O sistema de aeração/oxigenação é composto por sopradores de ar e difusores, aeradores mecânicos de diversos tipos (aeradores de pá ou bombas de água), injeção direta de oxigênio gás e mesmo uma combinação entre dois ou mais tipos de aeração/oxigenação. Aeradores e difusores, quando inadequadamente dimensionados ou posicionados podem provocar excessiva agitação dentro dos tanques de cultivo, resuspendendo e fracionando os resíduos sólidos. Assim, é preferível concentrar a aeração em outros pontos do sistema, particularmente após a filtração de sólidos em suspensão. O fracionador de espuma e o próprio biofiltro são pontos onde a aeração começa a ser aplicada. A maior parte da aeração geralmente é aplicada logo antes ou imediatamente após o biofiltro, reoxigenando a água que retornará aos tanques.

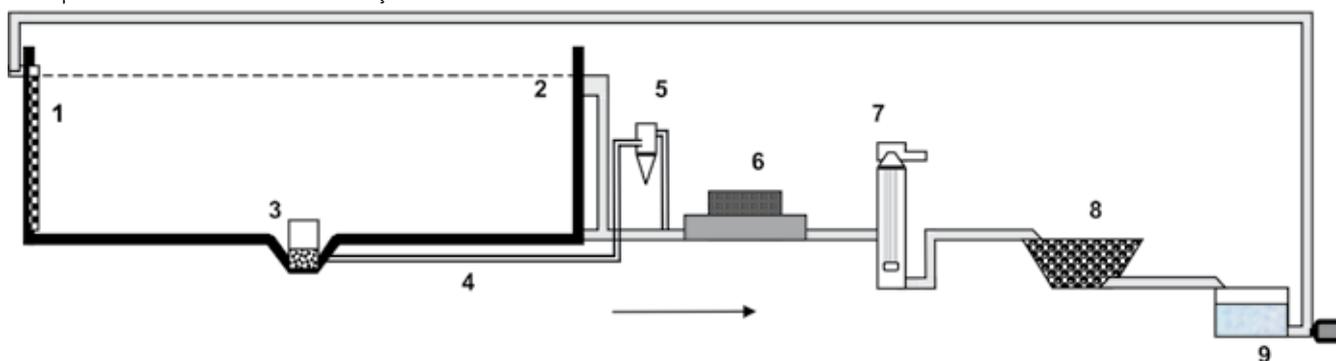
Sistema de bombas e tubulações de drenagem e retorno (9)

Em algum ponto do sistema (9) é necessário instalar bombas para retornar a água tratada e reoxigenada para os tanques de criação. O dimensionamento de bombas e tubulações deve ser feito por profissionais com bom conhecimento em hidráulica, para evitar sub ou super dimensionamentos no sistema hidráulico do empreendimento.

Unidade de quarentena

Esta unidade deve ser fisicamente separada da unidade de produção, e contar com seus próprios tanques, filtros, biofiltros, sistema hidráulico e equipamentos de aeração. Peixes novos que chegam ao empreendimento devem permanecer em observação nesta unidade durante algumas semanas para se certificar de que estão livres de organismos patogênicos. Durante a quarentena os peixes geralmente recebem tratamento profilático e terapêutico para eliminar potenciais parasitos ou tratar algum tipo de doença.

Figura 1 – Representação simplificada dos principais componentes de um sistema de recirculação



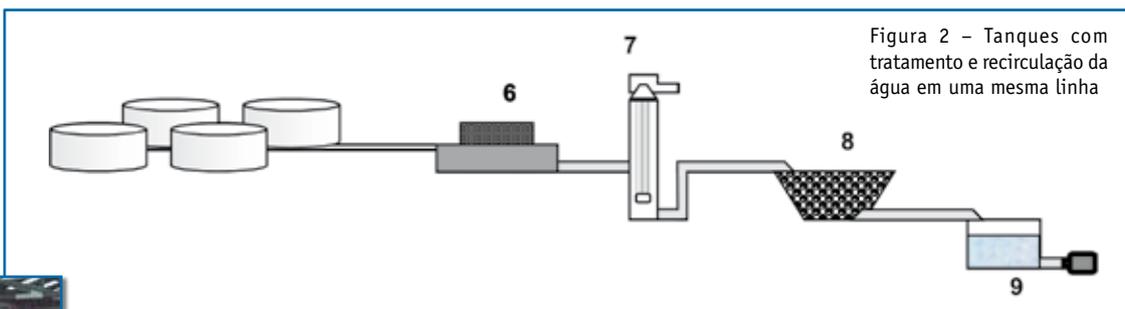


Foto 1 – Tanques circulares com fundo de alvenaria e paredes em PVC usado em sistema de recirculação experimental nas Filipinas. No tanque destacado é possível observar o dreno central

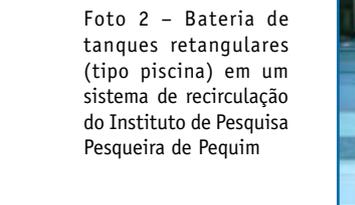


Foto 2 – Bateria de tanques retangulares (tipo piscina) em um sistema de recirculação do Instituto de Pesquisa Pesqueira de Pequim



Foto 3 – Filtro do tipo tambor rotativo com tela metálica usado para a remoção de sólidos em suspensão



Foto 4 – Bateria de filtros de areia expansível utilizados, com dupla função: remoção de sólidos e filtragem biológica



Foto 5 – Tanque usado como filtro biológico, contendo esferas plásticas que servem como substrato para a fixação de bactérias nitrificadoras. No detalhe as esferas do tipo bio-balls

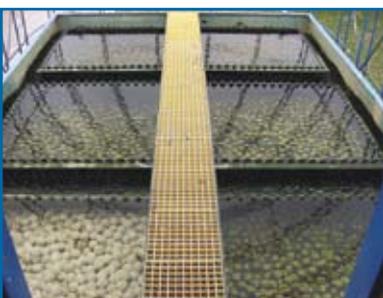


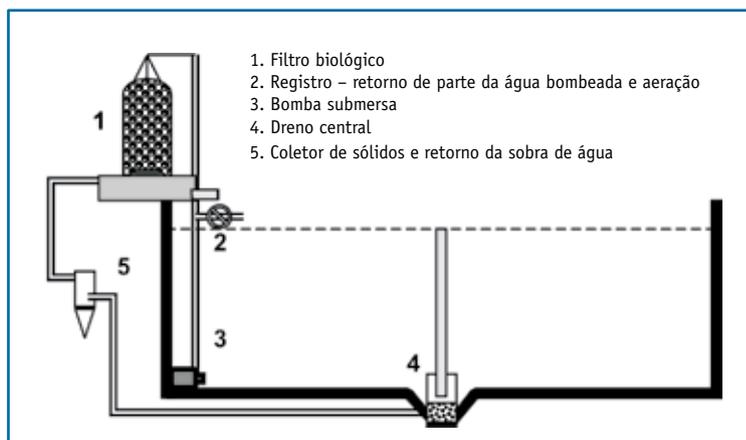
Foto 6 – Tanques circulares com tratamento de água individual. Cada tanque dispõe de um filtro biológico por escoamento (*trickling filter*) que consiste em uma caixa plástica vazada cheia de partículas de isopor que servem de substrato para as bactérias (ver destaque)



Sistema com uma única linha de tratamento de água (Figura 2) – Apesar do menor custo de implantação, esta configuração apresenta seus inconvenientes. Primeiro, o risco de disseminação de um problema de doenças iniciado em um tanque para todos os demais do sistema. O tratamento do sistema todo é mais oneroso e menos eficiente. E ainda há o risco dos produtos usados prejudicarem as bactérias do biofiltro. Também não é possível realizar vazios sanitários, a não ser que a produção seja paralisada por completo. O segundo inconveniente é a necessidade de interferência em todos os tanques quando há necessidade de limpeza em biofiltros ou de reparo estrutural no sistema.

Sistemas com todos os tanques isolados (Figura 3) – Em outro extremo, podem existir sistemas nos quais cada tanque conta com seu próprio tratamento de água (Foto 6). Esse design confere maior segurança quanto ao controle sanitário ou na necessidade de intervenções estruturais. No entanto, o investimento, a operação e a manutenção do sistema são mais onerosos. Por exemplo, são muitos filtros, biofiltros e bombas de pequeno calibre que necessitam de inspeção, manutenção e limpeza, aumentando a demanda por mão-de-obra. Essa concepção também dificulta o manejo diário, particularmente no que diz respeito ao monitoramento e correção da qualidade da água, que precisam ser personalizados para as condições de cada tanque.

Figura 3 – Tanque com sistema individual de tratamento e recirculação de água



Assim, é necessário bom senso na hora de planejar e conceber o sistema de recirculação. Um sistema que reúne diversos tanques em duas, três ou mais baterias com tratamento de água independente é uma situação mais equilibrada. Isso elimina muitos dos inconvenientes discutidos e, ao mesmo tempo, possibilita a manutenção de condições ambientais diferenciadas de acordo com a espécie ou grupo de espécies produzida em cada bateria (por exemplo, temperatura e/ou salinidade mais elevada).

Pontos fundamentais para o funcionamento do sistema

Manutenção do bem estar dos peixes. Os peixes devem ser alimentados com rações de alta qualidade, mantidos sob condições adequadas de qualidade de água e manejados corretamente para que tenham boa saúde e expressem bem o seu potencial produtivo.

O aporte de resíduos sólidos. Os sólidos gerados nos tanques de cultivo (fezes e sobras de ração) são a principal fonte de resíduos orgânicos do sistema. Estes representam cerca de 20 a 30% da ração aplicada. Ou seja, cada 100 kg de ração gera entre 20 e 30kg de sólidos. O volume de sólidos gerados pode ser maior ou menor do que isso, dependendo da qualidade da ração, do manejo alimentar adotado e da qualidade da água. Os sólidos podem ser reunidos em três grupos (Figura 4):

1) Os sólidos decantáveis são os de partículas maiores que 100 micra e representam cerca de 50% do total de sólidos. Estes sólidos são facilmente concentrados no dreno central no fundo de tanques de formato circular e podem ser removidos do sistema utilizando cones ou tanques de decantação.

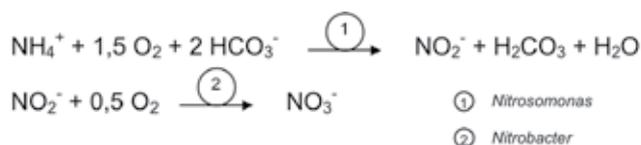
2) Os sólidos em suspensão, em termos práticos, partículas entre 100 e 40 micra, compõem cerca de 25% dos sólidos totais e saem dos tanques suspensos na coluna d'água. Estes sólidos somente podem ser removidos do sistema com o auxílio de filtros mecânicos (filtros de tela, de areia ou ainda com meio filtrante de esferas de plástico).

3) Os sólidos finos ou dissolvidos, em termos práticos agrupam partículas menores que 40 micra, grande parte abaixo de 20 micra, e diversas substâncias dissolvidas na água (aminoácidos, proteínas, carboidratos, entre outras). Parte destes sólidos somente podem ser retiradas do sistema com o auxílio de um equipamento denominado fracionador de espuma (Foto 7).



Foto 7 – Vista superior de um fracionador de espuma (estrutura em azul no centro da foto), onde é possível observar a espuma branca no interior da cúpula transparente, bem como a saída da espuma branca por um tubo no topo da cúpula. Esta espuma concentra parte dos sólidos finos e dissolvidos

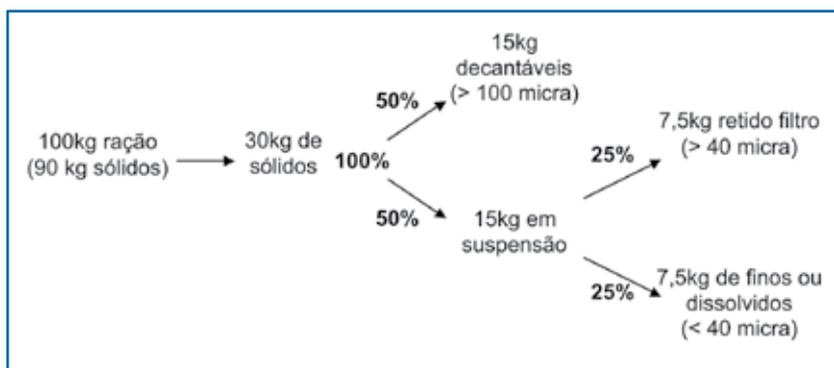
a produção de gás carbônico e geração de acidez (íons H^+). O gás carbônico em excesso e a liberação de íons H^+ promovem uma gradual redução no pH e na alcalinidade total da água. Assim, além da recomposição do oxigênio e eliminação do excesso de gás carbônico através da aeração da água após a passagem pelo biofiltro, de tempos em tempos é necessário realizar aplicações controladas de calcário ou cal hidratada para recompor o pH e a alcalinidade da água do sistema.



A eficiência da nitrificação depende de inúmeros fatores inerentes ao *design* e à construção do filtro biológico, bem como da manutenção de condições ambientais favoráveis ao desenvolvimento e atividade das bactérias nitrificadoras. Estas condições devem ser continuamente monitoradas e, se necessário, corrigidas. O biofiltro deve ser adequadamente dimensionado para suportar a taxa de alimentação planejada para o sistema, de modo que a nitrificação ocorra a taxas mais rápidas ou no mínimo iguais a taxa de produção de amônia no sistema. Isso previne o acúmulo da amônia na água e seus conseqüentes prejuízos ao desempenho e a saúde dos peixes. Os biofiltros avaliados em sistemas de recirculação com peixes removem cerca de 0,2 a 0,6g de amônia/m² de área de contato do substrato no interior do biofiltro. Cada tipo de substrato possui uma superfície específica, que nada mais é do que a superfície de contato disponível para a fixação das bactérias (expressa em m²) para cada metro cúbico de volume do substrato.

Por exemplo, um metro cúbico de areia fina possui uma superfície de contato equivalente a 5.000m², ou seja, a superfície específica da areia fina é de 5.000m²/m³. Para a areia grossa esse valor é de 2.300m²/m³. Esferas plásticas de 3mm possuem superfície específica próxima de 1.700m²/m³. O leitor pode perceber que quanto menor for a partícula, maior é a superfície específica do substrato. Não fosse a grande facilidade de entupimento, areia fina e grossa seriam excelentes substratos para os biofiltros. Alguns tipos de biofiltros mais sofisticados (filtros com substratos fluidizados) mantêm as partículas de areia em suspensão, evitando o entupimento.

Figura 4 – Fracionamento e quantidade de sólidos gerados em sistemas de recirculação



O processo de nitrificação. Removido o máximo possível dos sólidos, a água deve ser direcionada para os filtros biológicos ou biofiltros (Fotos 5 e 6). O biofiltro tem um substrato ao qual se fixam bactérias nitrificadoras do gênero *Nitrosomonas* (que realizam a oxidação da amônia a nitrito) e do gênero *Nitrobacter* (que oxida o nitrito a nitrato). Estas reações de oxidação compreendem o processo de nitrificação, que ocorre durante o percurso da água através do biofiltro (ver equação a seguir). Durante a nitrificação são consumidos cerca de 4,6g de oxigênio para cada grama de amônia oxidada a nitrato. Além do consumo de oxigênio, ocorre

Sistemas de recirculação implantados em pisciculturas já existentes, ou mesmo em fazendas onde existem açudes, podem utilizar estes reservatórios (açudes e tanques escavados) como um grande filtro biológico. Nestes, uma ampla comunidade de microorganismos se encarregará da decomposição dos resíduos sólidos, enquanto que as bactérias nitrificadoras, as algas (fitoplâncton) e plantas aquáticas, se encarregarão de remover a amônia e o excesso de nutrientes da água que será retornada aos tanques de cultivo. Esta estratégia é muito utilizada em pisciculturas de Israel.

Restauração do oxigênio e eliminação do gás carbônico. Após a passagem pelo biofiltro, a água deve ser aerada ou oxigenada de modo a recompor o oxigênio consumido e remover o gás carbônico gerado na respiração dos peixes, na decomposição de parte da matéria orgânica lançada no sistema (bactérias heterotróficas e outros decompositores) e no processo de nitrificação (bactérias autotróficas). Em média, cada quilo de ração fornecido resulta em consumo direto de 250g de O₂ pelos peixes e consumo indireto de até 140g de O₂ pelas bactérias do biofiltro. Ou seja, 1 quilo de ração gera um consumo próximo a 400g de oxigênio no sistema. A restauração dos níveis de oxigênio é feita com o uso de sopradores de ar e difusores, sistemas de Venturi instalados em pontos do sistema onde há pressurização do fluxo de água, com aeradores mecânicos (propulsores, aeradores de pá, bombas de água, entre outros tipos) e também com a aplicação de gás oxigênio com o uso de equipamentos que possibilitem uma eficiente difusão deste gás na água do sistema.

Condução do fluxo de água. O fluxo de água através do sistema ocorre em parte por gravidade, em parte por bombeamento. A posição das bombas no sistema depende da distribuição vertical dos componentes do sistema e dos tipos de filtros e biofiltros utilizados (alguns já possuem bombas de água para seu funcionamento). No momento do planejamento, o design do sistema deve ser concebido de modo a minimizar os pontos de bombeamento para reduzir as despesas com energia e manutenção, bem como os riscos decorrentes de falhas nos componentes do sistema. Quanto mais o sistema é dependente de parafernália, maior a chance de alguma delas quebrar e comprometer a segurança do sistema.

Segurança. A operação do sistema demanda energia elétrica e a interrupção da mesma pode

"... Grande parte do sucesso na operação de um sistema de recirculação está na implementação de uma estratégia eficiente e econômica para o tratamento da água e na adoção de práticas adequadas de condução do cultivo..."

resultar em sérios problemas. Em cerca de 15 minutos a 1 hora a concentração de oxigênio na água pode cair para níveis letais. Desta forma, é preciso contar com um sistema de "backup" confiável. Geralmente são utilizados geradores, sistemas de alerta e até mesmo uma linha de distribuição e difusão de gás oxigênio diretamente em cada tanque.

Estratégias para manter a qualidade da água

Grande parte do sucesso na operação de um sistema de recirculação está na implementação de uma estratégia eficiente e econômica para o tratamento da água e na adoção de práticas adequadas de condução do cultivo.

O uso de rações de alta qualidade. Esta é uma condição fundamental para o sucesso do empreendimento. Primeiro pelo fato do peixe depender completamente dos nutrientes fornecidos na ração, visto que a disponibilidade de alimento natural é mínima e insuficiente para corrigir eventuais deficiências minerais e vitamínicas de uma ração. Segundo, com o uso de rações de alta digestibilidade, o aporte de resíduos sólidos no sistema será menor, evitando sobrecargas nos componentes do sistema (filtros mecânicos, filtros biológicos e sistema de aeração). Terceiro: rações com adequado balanço energia/proteína e um bom equilíbrio em aminoácidos colaboram para reduzir a excreção de amônia pelos peixes, aliviando o trabalho das bactérias nitrificadoras no biofiltro.

Remoção imediata dos sólidos do sistema. Quanto mais tempo os sólidos permanecem dentro do sistema, maior será o consumo de oxigênio (geração de DBO – demanda biológica por oxigênio) e produção de amônia e de gás carbônico pelas bactérias e outros organismos que decompõem a matéria orgânica. Do ponto de vista econômico, o desnecessário acúmulo de amônia exige investimentos em biofiltros maiores (mais capital investido) e maior taxa de circulação de água no filtro biológico e no sistema (maior gasto com bombeamento). A nitrificação também gera acidez e consome oxigênio. Assim, a amônia gerada desnecessariamente dentro do sistema aumenta os custos com aeração e com o uso de corretivos da acidez /alcalinidade da água. Do mesmo modo, o atraso e a ineficiência na remoção dos sólidos resulta em desnecessário aumento no consumo de oxigênio em processos biológicos de decomposição da

matéria orgânica. Isso demanda o emprego de uma maior potência de aeração, o que se traduz em maior investimento e maior custo operacional do sistema. Adicionalmente, o acúmulo de matéria orgânica no sistema prejudica a operação dos filtros, obriga o investidor a imobilizar mais capital com filtros de maior capacidade e aumenta a necessidade de retrolavagens e limpezas mais freqüentes. Isso implica em maior custo operacional e maior uso de água. E, finalmente, o acúmulo de matéria orgânica favorece a proliferação de organismos patogênicos, com reflexos adversos no bem estar e saúde, bem como no desempenho produtivo e sobrevivência dos animais, que pode resultar em consideráveis prejuízos ao investidor.

Prover condições adequadas para a nitrificação. Diversos fatores ambientais prejudicam o trabalho das bactérias nitrificadoras. Dentre os principais merecem destaque: a) o baixo oxigênio no interior do biofiltro (ideal acima de 4mg/l); b) o baixo pH da água no biofiltro (ideal entre 7,0 e 8,0); c) acúmulo de matéria orgânica no biofiltro que favorece o desenvolvimento de bactérias heterotróficas e outros organismos que competem com as bactérias nitrificadoras pelo espaço de fixação nos substratos, por oxigênio e por nutrientes. O dimensionamento, *design* e construção de um biofiltro eficiente requer atenção para inúmeras informações, dentre muitas: a) carga máxima de ração que será aplicada no sistema e a qualidade desta ração (quantos quilos de resíduos sólidos deverão ser gerados diariamente); b) quão eficiente é o sistema de remoção de sólidos; c) qual a taxa de remoção de amônia esperada das diferentes opções de biofiltro e para um substrato idêntico ou semelhante

ao que se planeja usar no biofiltro que será construído; d) qual a taxa de passagem da água através do biofiltro; e) qual a disponibilidade de água para eventuais diluições da água do sistema.

Monitoramento e correção da qualidade da água.

Monitoramento contínuo do oxigênio, amônia total e gás carbônico nos tanques de cultivo; do pH e da alcalinidade total (que tendem a abaixar ao longo do tempo); de outros parâmetros complementares (nitrito, nitrato, íons cloretos, sólidos em suspensão, entre outros). O operador do sistema deve dispor de equipamentos confiáveis para monitorar a qualidade da água. Além disso, deve conhecer os princípios, interações e processos físicos, químicos e biológicos que determinam a qualidade da água nos sistemas de recirculação. Também deve se aprimorar no conhecimento de estratégias utilizadas na correção da qualidade da água (os princípios que regem a aeração; o uso de cal e calcário para corrigir o pH e a alcalinidade, bem como para reduzir a concentração de gás carbônico na água; aplicação de sal (cloreto) para se prevenir contra níveis elevados de nitrito; dentre outras).

Monitoramento e manutenção preventiva. Devem ser monitorados o nível e fluxo de água nos tanques e filtros; o comportamento, resposta alimentar e crescimento dos peixes; o estado sanitário dos animais (presença de parasitos e sinais de doenças); os equipamentos que mantêm o sistema em operação (bombas, filtros, registros, difusores, biofiltro, geradores, etc).

Parâmetro	Adequado para os peixes	Adequado no biofiltro	Nível de atenção e nível letal (1)	Quando e onde monitorar
Oxigênio dissolvido	> 4 mg/l	> 4mg/l	<3mg/l	Contínuo. Tanque por tanque. Na entrada e saída dos biofiltros. Na água de retorno aos tanques.
PH	7,0 a 8,0	7,5 a 8,5	< 6,5 Letal < 5,0	Monitorar uma vez ao dia, no início do dia. Em sistemas com água verde, monitorar também no final da tarde. Na água que retorna aos tanques após aeração. Na entrada e saída do biofiltro.
Gás carbônico	< 5mg/l	<5mg/l	>20mg/l	Monitorar a cada 2 ou 3 dias, nas primeiras horas do dia, particularmente em sistemas com água que possui plâncton. Atenção aos tanques com alta taxa de alimentação e onde os peixes apresentam movimentação lenta. Monitorar na entrada e saída dos biofiltros.
Amônia tóxica	< 0,2mg/l		>0,6mg/l Letal: >3mg/l	Monitorar uma vez ao dia juntamente com o pH. Na linha de abastecimento dos tanques. Na entrada e na saída do biofiltro.
Alcalinidade		> 100mg CaCO ₃ /l	< 30mg/l	Monitorar pelo menos uma vez por semana. Na água do sistema.
Nitrito	<0,3mg/l		>1mg/l Letal: >5mg/l	Monitorar diariamente na água de cada bateria de tanques. Monitorar semanalmente na entrada e saída do biofiltro.
Nitrato	<50mg/l		>400mg/l	Monitorar semanalmente na água de cada bateria de tanques.
Sólidos em suspensão	<20mg/l		>100mg/l	Monitorar a cada duas semanas, principalmente nos tanques com alta taxa de alimentação.

Quadro 3 - Indicadores de qualidade de água nos sistemas de recirculação

(1) Letal: os limites letais dependem do tempo de exposição do peixe ao composto tóxico ou à condição adversa. Também varia com a espécie e tamanho do peixe, bem como da combinação com outros parâmetros de qualidade de água. Por exemplo, quanto maior a salinidade (em particular a concentração de cloreto), maior será a dose de nitrito necessária para matar os peixes. Com relação ao gás carbônico. Peixes toleram concentrações acima de 300mg/l durante operações de transporte em sacos plásticos. No entanto, quando combinados com baixo oxigênio (<2mg/l) níveis de CO₂ > 60mg/l podem ser letais para algumas espécies de peixes, particularmente para formas jovens.

Considerações finais

A tecnologia para a produção de organismos aquáticos em sistemas fechados com tratamento e reuso de água já é uma realidade em diversos países e está disponível em literatura técnica e científica do setor. Em poucos anos é de se esperar que o aprimoramento no *design*, nos equipamentos, na tecnologia de tratamento da água e nas estratégias de manejo da criação possibilite que estes sistemas sejam implantados e operados com menor custo e maior eficiência, resultando na produção de pescado a preço compatível com o obtido em outros sistemas de criação. Enquanto isso, qualquer decisão de investir nestes sistemas deve ser tomada com cautela. Verifique as informações recebidas quanto aos preços de venda e demanda de mercado dos produtos alvo do projeto. Visite outros empreendimentos semelhantes para colher impressões sobre o que deu certo e o que deu errado. Submeta o plano de produção e o esboço do projeto à apreciação do maior número possível de profissionais. Não



O autor em visita às instalações de tratamento e recirculação de água do Aquário de Chatanooga, no Tennessee, um dos maiores aquários dos Estados Unidos e do mundo

deixe de fazer um detalhado estudo da viabilidade econômica sob diferentes cenários. Na experiência deste autor, procedendo com esta cautela e com senso crítico, o investidor poderá antever e evitar grande parte dos problemas operacionais e das dificuldades na comercialização. Isso implica não apenas em considerável economia na implantação e operação do empreendimento, mas também em um menor desgaste emocional da equipe. ■

Um exemplo de como dimensionar um sistema de recirculação

Existem diversos caminhos para se dimensionar um sistema de recirculação. Para isso, muitas variáveis e coeficientes são considerados. No exemplo aqui apresentado vamos partir da premissa de que o sistema será composto por diversos tanques, todos eles compartilhando um único sistema de tratamento. Ou seja, a água de todos os tanques se mistura. O sistema deste exemplo deverá suportar uma taxa de alimentação contínua equivalente a 100kg de ração/dia. Esta taxa é o ponto básico e mais importante neste dimensionamento.

- Em média, 1kg de ração gera um consumo de 400g de oxigênio, uma carga de 300g de sólidos totais e um aporte de 30g de amônia no sistema.
- Portanto, os 100 kg de ração/dia geram: 3kg de amônia, 30 kg de sólidos totais e um consumo de 40kg de O_2 /dia (peixes e micro-organismos). O oxigênio é repostado através da aeração. Os sólidos são removidos nos decantadores e filtros mecânicos. A amônia será oxidada a nitrato no biofiltro.
- Dos 30 kg de sólidos totais/dia, 15kg (decantáveis) e 7 kg em suspensão, ou seja, 22 kg de sólidos, devem ser removidos pelo filtro mecânico. No momento de solicitar o dimensionamento e orçamento de um filtro mecânico o montante de sólidos que deverá ser retirado é uma informação importante. Se os tanques forem providos de drenos coletores de sólidos e cones de sedimentação, o filtro mecânico trabalhará quase que exclusivamente na remoção de sólidos em suspensão. Com isso o custo do tratamento de água será menor (economia no investimento e na operação do filtro). Após a concentração e remoção dos sólidos do sistema, estes podem ser transformados em fertilizantes através do processo de compostagem. Também podem ser usados para a produção de gás.
- O biofiltro remove 0,3g de amônia/ m^2 /dia. Assim, a área mínima de substrato no biofiltro deve ser $3.000g / 0,3g = 10.000m^2$. Um substrato de esferas plásticas de 3mm tem área específica de $1.690m^2/m^3$. Se usado no biofiltro, o volume de esferas plásticas deverá ser de $5,9m^3$ ($10.000m^2/1.690m^2/m^3$). No caso do uso de pedriscos, que têm superfície específica de $420m^2/m^3$, o volume de substrato no biofiltro deverá ser cerca de $24m^3$.

- Um sistema de aeração por ar difuso (sopradores e difusores), por exemplo, pode incorporar cerca de $0,3kg O_2/HP/hora$. Portanto, em funcionamento contínuo, cada HP de potência do sistema incorpora 7,2 kg de oxigênio /dia ($0,3kg/HP/h \times 24h$). Para repor os 40kg de oxigênio consumidos é necessário um sistema de aeração de 5,5 HP.
- Se os peixes estão sendo alimentados ao redor de 3% da biomassa/dia, a biomassa instantânea (carga de peixes a qualquer momento no sistema) pode ser estimada em 3.330kg ($100kg$ de ração $\times 100 / 3$). Se o plano é manter no sistema uma densidade média ao redor de $20kg/m^3$, o volume somado dos tanques de cultivo deverá ser próximo a $170m^3$ ($3.330kg / 20kg/m^3$).
- Considerando na estabilização do sistema a manutenção de uma taxa média de alimentação ao redor de 100kg de ração/dia e uma expectativa de conversão alimentar de 1,5:1, o sistema deverá produzir cerca de $(100kg \times 360 \text{ dias}) / 1,5 = 24.000kg$ de peixe/ano (24 toneladas/ano).
- Se a carga média de peixe é mantida ao redor de $20kg/m^3$ e o consumo médio de oxigênio dos peixes é próximo de $0,2g/kg/hora$, cerca de $4g$ de $O_2/m^3/h$ são consumidos. Se a água de retorno aos tanques chega com $6mg O_2/l$ ($6g/m^3$) e deve sair com um mínimo de $3mg O_2/l$ ($3g/m^3$), podem ser consumidos $3g$ de O_2/m^3 de água que chega ao tanque. Assim para manter um nível estável de oxigênio somente com a água de entrada nos tanques, a taxa de recirculação de água no sistema deverá ser de 1,5 troca por hora. No caso do exemplo aqui apresentado, o sistema possui cerca de $170m^3$ e a vazão mínima de retorno de água pelo sistema de bombeamento deverá ser próxima a $250m^3/hora$. Esta vazão somente pode ser reduzida se a aeração for aplicada individualmente em cada tanque.
- Outro parâmetro importante que deve ser conhecido é o tempo máximo para acionamento de um sistema de "backup", caso falte energia. Por exemplo, tilápias de 100g consomem cerca de $0,2g$ de $O_2/kg/h$. Se um tanque está estocado a $10kg/m^3$ e o fornecimento de água e aeração é interrompido, em uma hora serão consumidos $2g$ de oxigênio/ m^3 . Se o oxigênio inicial no tanque estava em $6mg/l$ ($6g/m^3$) e poderia chegar até um nível crítico de $2mg/l$ ($2g/m^3$), podem ser consumidos até $4g/m^3$. Assim, o tempo máximo para o acionamento do "backup" será de 2 horas. Em sistemas de recirculação o tempo crítico para acionamento do "backup" pode variar de 15 minutos a uma ou duas horas, dependendo da carga de peixe nos tanques.