

Documentos

ISSN 1517-5111 **95**
Novembro, 2013

Aquicultura: manejo e aproveitamento de efluentes



Documentos 95

Aquicultura: manejo e aproveitamento de efluentes

*Mariana Silveira Guerra Moura e Silva
Marcos Eliseu Losekann
Hamilton Hisano*

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Meio Ambiente

Rodovia SP 340 Km 127,5 - Tanquinho Velho

Caixa Postal 69

CEP 13820-000 Jaguariúna, SP

Fone: (19) 3311-2650

Fax: (19) 3311-2640

<http://www.cnpma.embrapa.br>

sac@cnpma.embrapa.br

Comitê de Publicações da Unidade

Presidente: *Ladislau Araújo Skorupa*

Secretária-Executiva: *Vera Lúcia S. S. de Castro*

Secretário: *José de Arimatéia de Araújo Sousa*

Bibliotecário: *Victor Paulo Marques Simão*

Membro Nato: *Marcelo Augusto Boechat Morandi*

Membros: *José Ricardo Pupo Gonçalves, Fagoni Fayer Calegario,*

Maria Lúcia Zuccari, Magda Aparecida de Lima, Mariana Silveira

Guerra Moura e Silva e Rita Carla Boeira

Editoração eletrônica: *Alexandre Rita da Conceição*

Revisão de texto: *Nilce Chaves Gattaz*

Normalização Bibliográfica: *Victor Paulo Marques Simão*

Foto da capa: *Marcos Eliseu Losekann*

1ª edição eletrônica (2013)

Todos os direitos reservados

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei no 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Meio Ambiente

Silva, Mariana Silveira Guerra Moura e.

Aquicultura: manejo e aproveitamento de efluentes / Mariana Silveira Guerra Moura e Silva; Marcos Eliseu Losekann; Hamilton Hisano – Jaguariúna, SP : Embrapa Meio Ambiente, 2013.

39 p. — (Documentos / Embrapa Meio Ambiente; 95).

1. Aquicultura 2. Efluentes 3. Impacto ambiental 3. Desenvolvimento sustentável 4. Hidroponia. I. Silva, Mariana Silveira Guerra Moura e. II. Losekann, Marcos Eliseu. III. Hisano, Hamilton. IV. Título. V.Série.

CDD 639.3

Autores

Mariana Silveira Guerra Moura e Silva

Bióloga, Doutora em Engenharia Agrícola, Embrapa
Meio Ambiente, Rod. SP 340, km 127,5 - Caixa Postal
69, Tanquinho Velho, 13.820-000 Jaguariúna, SP.
mariana.silveira@embrapa.br

Marcos Eliseu Losekann

Zootecnista, Mestre em Zootecnia , Embrapa Meio
Ambiente, Rod. SP 340, km 127,5 - Caixa Postal 69,
Tanquinho Velho, 13.820-000, Jaguariúna, SP.
marcos.losekann@embrapa.br

Hamilton Hisano

Zootecnista, Doutor em Zootecnia, Embrapa
Agropecuária Oeste, BR-163, km 253,6 - Caixa-Postal
449 - Zona Rural - 79804-970 - Dourados, MS
hamilton.hisano@embrapa.br

Sumário

1. A aquicultura mundial e brasileira	6
1.1. Desafios ambientais	8
2. Qualidade de água	10
3. Sistema de produção	11
4. Sistema de tratamento natural	12
4.1. Biofiltros	13
4.2. Wetlands construídas	15
4.2.1 Características gerais do sistema de <i>wetlands</i> construídas	18
4.3. Estudos com <i>wetlands</i> construídas	20
4.4. Sistemas de Recuperação de Água para Aquicultura (SRAP)	21
5. Aquaponia	26
Referências bibliográficas	31

Aquicultura: manejo e aproveitamento de efluentes

Mariana Silveira Guerra Moura e Silva

Marcos Eliseu Losekann

Hamilton Hisano

1. A aquicultura mundial e brasileira

Nos últimos cinquenta anos a aquicultura mundial cresceu de maneira expressiva, apresentando taxa de incremento média de 3,2% ao ano no período 1961–2009 (FAO, 2012). Segundo dados da FAO (Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura), em 2006, a produção global (aquicultura continental e marinha) totalizou 47,3 milhões de toneladas; em 2011, a produção de pescado atingiu a marca de 63,6 milhões de toneladas, (FAO, 2012). Considerando-se apenas a aquicultura continental nacional, a produção aumentou de forma significativa (40%) no triênio 2008-2010 (BRASIL, 2012). Segundo o Ministério da Pesca e Aquicultura, este aumento foi decorrente da ampliação de políticas públicas que facilitaram o acesso aos programas governamentais, como o “Mais Pesca e Aquicultura” (BRASIL, 2012).

Todo este aumento pode ser atribuído ao fato da aquicultura ser apontada como estratégica à segurança alimentar mundial, por disponibilizar mais rapidamente fontes de proteína para a população. As projeções da FAO para o período 2012-2021 preveem um crescimento de 15% da produção aquícola e pesqueira sobre o nível médio estipulado para o período 2009-2011, o que contabiliza 172 milhões de

toneladas em 2021. Entretanto, a taxa média anual vem decrescendo, o que pode ser explicado por fatores como limitações de água, a disponibilidade limitada de locais ideais para a produção e os custos crescentes de farinha de peixe, óleo de peixe e outros alimentos (FAO, 2012).

No Brasil, segundo o MPA, o consumo per capita de pescado em 2010 foi de 9,75 kg/hab./ano, com crescimento de 8% em relação ao ano anterior. Desse total, 66% do pescado consumido é produzido no Brasil (BRASIL, 2012).

Mundialmente, a aqüicultura contribui com algo em torno de 2,5 kg de alimento per capita. Em 2018, a produção de peixes de cultivo deverá ultrapassar o número de peixes capturados para consumo humano pela primeira vez. Para 2021, a previsão é que a produção de peixes a partir da aqüicultura seja de 52% (FAO, 2012).

O Brasil possui enorme potencial para o desenvolvimento da aqüicultura, conta com a maior reserva de água doce do mundo (aproximadamente 5.500.000 hectares de lâmina d'água representados pelos reservatórios), e uma extensa costa oceânica (8.400 km) (BRASIL, 2012). Apesar disso, o consumo nacional é limitado, que deve-se, principalmente, ao preço do pescado ainda elevado para o consumidor. De acordo com Sidonio et al. (2012), a atividade encontra-se pouco estruturada em nosso país, pois há dificuldade na obtenção de licenças, carência de assistência técnica, manejo inadequado, e grande necessidade de capital de giro, entre outros fatores. Porém, segundo os autores, com uma política de pesquisa e desenvolvimento para espécies promissoras e a modernização e profissionalização do setor, a aqüicultura brasileira poderá ser bastante desenvolvida.

Grande parte do desenvolvimento da aqüicultura baseia-se em espécies introduzidas como carpas, bagres, trutas e tilápias. No Brasil, em 2010, seguindo o padrão dos anos anteriores, a tilápia e a carpa foram as espécies mais cultivadas, as quais somadas representaram 63,4% da produção nacional de pescado. Contudo, também merece destaque

a criação de tambaqui, tambacu e pacu, que juntas representaram 24,6% da produção (BRASIL, 2012). Segundo dados do MPA, desde 2003 foram gerados 500 mil novos empregos no setor, que hoje absorve quatro milhões de pessoas. De acordo com dados oficiais, o Brasil apresenta potencial para elevar sua produção até 20 milhões de toneladas anuais e atender não só o consumo interno, mas também uma demanda externa crescente, calculada em 100 milhões de toneladas em 2030 (CONSUMO..., 2010).

Entretanto, as práticas conduzidas nas extensas áreas aquícolas, já registradas mundialmente, exigem a visão integrada de seus processos e procedimentos compatíveis com práticas sustentáveis para a aquicultura. Conforme apontado pela FAO (2012), cerca de 50% dos recursos pesqueiros marinhos do mundo encontram-se totalmente explorados ou em níveis máximos admissíveis, enquanto 28% dos estoques são “sobrepescados, esgotados ou em via de recuperação”.

1.1 Desafios ambientais

Para que a expansão da aquicultura se dê em bases ambientalmente sustentáveis, o desenvolvimento de sistemas mais eficientes do ponto de vista de uso da água e menores impactos ambientais, deve ser alvo de pesquisas.

A validação de tecnologias inovadoras é importante para assegurar o desenvolvimento sustentável da aquicultura brasileira, com base nas Boas Práticas de Manejo (BPMs), partindo-se do pressuposto de que grande parte dos impactos ambientais pode ser evitado ou minimizado por meio do emprego destas práticas (QUEIROZ; SILVEIRA, 2006).

Os métodos de produção na aquicultura têm sido intensificados em resposta ao aumento da demanda. A intensificação da produção de peixes quando conduzida de modo inadequado pode levar a um aumento do impacto ambiental em termos de produção de dejetos e uso de água. Uma alternativa cada vez mais presente para minimizar os impactos ambientais da aquicultura é o reuso da água, com vistas à racionalização deste recurso natural essencial e cada vez mais escasso

em termos qualitativos.

Segundo VALENTI (2002), a aquicultura moderna se baseia em três componentes: a produção lucrativa, a preservação do meio ambiente e o desenvolvimento social. Assim, para que a atividade se estabeleça, é preciso que algumas condições ambientais sejam respeitadas, e que a produção dos animais aquáticos seja conduzida dentro de parâmetros de qualidade de água especificados pela legislação brasileira. Também é preciso que a qualidade dos efluentes gerados nas pisciculturas/propriedades seja a melhor possível, a fim de que os impactos ou alterações provocadas nos corpos hídricos a jusante sejam minimizados.

Dentre os principais impactos potenciais, destaca-se que a quantidade elevada de matéria orgânica e nutrientes, como nitrogênio e fósforo nos efluentes podem comprometer a qualidade da água nos cursos hídricos a jusante. O uso de ração cresceu proporcionalmente ao aumento da produção e produtividade da aquicultura em todo o mundo. Em sistemas de produção tradicionais, o aporte significativo de nutrientes e matéria orgânica da ração poderá levar ao excesso de fitoplâncton, à baixa concentração de oxigênio dissolvido, à alta concentração de amônia e a condições insatisfatórias do sedimento de fundo dos viveiros (pois o sedimento reflete as condições alóctones, como por exemplo processos erosivos das margens, no caso de viveiros escavados, e também fatores internos, como altas concentrações de sólidos em suspensão na água (QUEIROZ et al., 2004), o que certamente prejudicará a produção aquícola (BOYD; QUEIROZ, 2004). Além disso, a ração não consumida e excrementos dos peixes contribuem para o aumento na concentração de nitrogênio e fósforo na água, por meio da eliminação por via das brânquias e fezes. Estes elementos podem ser os principais poluentes em águas naturais e solos que os recebem (MARISCAL-LAGARDA et al., 2012), principalmente nos sistemas de produção semi-intensivos e intensivos.

Desse modo, o monitoramento da qualidade da água nos empreendimentos aquícolas deve ser frequente, e atender à legislação vigente, principalmente a Resolução CONAMA 357/05 (CONSELHO

NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 2005), para que a atividade não seja apontada e penalizada como causadora de impactos ambientais nos corpos hídricos.

2. Qualidade de água

A qualidade da água em um viveiro de piscicultura é resultado de influências externas (qualidade da fonte de água, características do solo, clima, introdução de alimentos, etc.) e internas (densidade de peixes, interações físico-químicas e biológicas), possuindo características complexas e dinâmicas. Os fatores físicos, químicos e biológicos são influenciados pelos aspectos geomorfológicos e climáticos, os quais, por sua vez, são influenciados pela morfometria (formas e dimensões) do viveiro.

Dentre os principais parâmetros de qualidade de água a serem monitorados na piscicultura destacam-se: transparência, pH, alcalinidade, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica, temperatura, nutrientes (nitrogênio e fósforo) e clorofila. Dentre as variáveis de qualidade da água, o fósforo é o que apresenta maior dificuldade de retirada em sistemas de tratamento. Portanto, deve-se evitar as concentrações elevadas e aportes deste elemento para dentro do sistema de produção. (COMEAU et al., 2001).

O conhecimento dos valores de digestibilidade da energia e nutrientes do alimento oferecido ao animal é fundamental para a formulação de rações para uso na aqüicultura, sendo um potencial indicador de efluentes no meio aquático (BOSCOLO et al., 2002). Isso porque quando a digestibilidade é baixa, pode resultar no aumento de fezes e sobras de ração na água, deteriorando a sua qualidade. As causas deste baixo aproveitamento podem ser ocasionadas por:

- alimento de baixa qualidade com alta porcentagem de farelo na ração;

- manejo alimentar inadequado (pouca oferta ou em excesso);
- alimento não apropriado para a fase de crescimento ou espécie de peixe;
- ração desbalanceada.

O manejo alimentar está diretamente relacionado à qualidade da água nos sistemas de produção. O excesso de alimentação ou o uso de rações desbalanceadas reduzem a absorção de nutrientes pelos peixes, o que resulta no excesso de formação de matéria orgânica e nutrientes nos sistemas de produção, com reflexos diretos na qualidade de água, com aumento do fitoplâncton, redução da transparência da água e diminuição do oxigênio dissolvido em níveis críticos ao amanhecer, comprometendo assim a saúde dos peixes (CYRINO et al., 2010).

Informações apresentadas na literatura relatam que somente 25 a 30% do nitrogênio e fósforo fornecido nas dietas alimentares e fertilizantes será aproveitado para a formação da biomassa de peixes e camarões, sendo que o restante do nitrogênio e fósforo fica retido no sedimento dos viveiros ou é eliminado pelo efluente (CASILLAS-HERNÁNDEZ et al., 2006).

3. Sistemas de produção

A produção de peixes pode ser conduzida em sistemas diferenciados, sendo caracterizados, basicamente, pelo manejo implementado, tipo de alimentação e a produtividade alcançada.

A limitação de água e a crescente preocupação com o meio ambiente vêm mudando a forma como a aqüicultura se desenvolve, e principalmente onde ela se desenvolve. O método tradicional de se produzir peixes em sistemas de viveiros escavados, com fertilização

orgânica para aumentar a produção primária e fornecer alimento para os peixes está seriamente comprometido, não pelo volume de água utilizado, mas sim pelo efluente lançado (CREPALDI et al., 2006). Por outro lado, os sistemas de fluxo contínuo (raceways) também apresentam restrições do ponto de vista econômico, pois além do volume utilizado de água ser muito alto, deles gera uma grande carga poluidora devido às altas densidades de estocagem.

4. Sistemas de tratamento natural

Para que a aqüicultura continue crescendo, é preciso que os métodos de tratamento de efluentes acompanhem o crescimento da atividade, e que sejam de baixo custo e fácil operação. Seguindo esta premissa, é fundamental o desenvolvimento de sistemas fechados que permitam a produção de peixes e outros animais aquáticos com geração de efluentes em níveis aceitáveis ambientalmente.

Os “sistemas naturais” de tratamento são projetados para maximizar os processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem quando a água, o solo, as plantas, os microrganismos e a atmosfera interagem, promovendo, com isso, o tratamento da água residuária (VALENTIM, 2003).

São exemplos de sistemas de tratamento naturais:

- a aplicação do efluente no solo, por meio da fertirrigação;
- áreas alagadas naturais (pantanosas) ou construídas, e;
- aqüicultura com produção de biomassa vegetal ou animal (sistemas aquapônicos).

As vantagens sobre os sistemas de tratamento convencionais são: o custo moderado, o baixo consumo de energia e de manutenção

exigidos, além de benefícios em função do aumento de habitats para a vida selvagem.

De maneira geral, os processos biológicos anaeróbios e aeróbios podem alcançar eficiências de remoção de matéria orgânica e de sólidos em suspensão na ordem de 70 a 80% e 90%, respectivamente (BASTOS et al., 2003).

Existe um grande número de métodos físicos, químicos e biológicos usados no tratamento convencional de efluentes para sistemas de aqüicultura. A remoção de sólidos é acompanhada por sedimentação, filtração em areia, ou filtração mecânica. Os processos biológicos, tais como biofiltros submersos, discos biológicos e reatores de leito fluidizado são empregados para a oxidação da matéria orgânica, nitrificação, ou desnitrificação (VAN RIJN, 1996). Estes métodos auxiliam na remoção de fósforo através da absorção por macrófitas. Piedade (2010) verificou uma média de remoção de fósforo por *Typha* sp. de 10,6% (sistema de brita com *Typha* sp.) em relação ao sistema controle composto apenas por brita como meio suporte; por outro lado, os sistemas convencionais possuem a desvantagem de produção de lodo, alta demanda de energia e manejo frequente. Outros sistemas convencionais são as bacias de sedimentação e os sistemas de lagoa com macrófitas. No entanto, a escolha do sistema de tratamento de resíduos a ser adotado, de acordo com Von Sperling (1996), deve ser baseada no balanço dos critérios técnicos e econômicos, como a apreciação dos méritos quantitativos e qualitativos de cada alternativa.

4.1. Biofiltros

A eficiência na redução da concentração de substâncias poluentes ou indesejáveis depende diretamente da composição do filtro biológico ou biofiltro. Para que o sistema de tratamento da água funcione adequadamente, é preciso que o biofiltro seja corretamente dimensionado conforme a quantidade de carga orgânica a ser tratada, sua vazão pelo filtro e a própria natureza físico-química dos substratos (KUBITZA, 2006). Além disso, a condição aeróbia deve ser sempre monitorada e mantida, a fim de que as bactérias que irão se fixar

no substrato possam desempenhar com eficiência o processo de nitrificação.

No caso das *wetlands* construídas, o filtro, também chamado de meio suporte, deve atender a alguns requisitos básicos para que o sistema funcione adequadamente. Seguem alguns deles: ser leve, biológico e quimicamente inerte, possuir grande área específica, possibilitar a colonização de microrganismos e vegetais, apresentar formato não achatado, ter preço reduzido e ser de fácil obtenção. Segundo Metcalf & Eddy (2003), o meio filtrante ideal deve possuir grande durabilidade e não colmatar facilmente. No caso do uso de pedras de rio, o tamanho pode variar de 1-2,5 mm (pedras pequenas) a 4–5 mm (pedras grandes). No caso de pedras pequenas, a massa por unidade de volume é de 78 a 90 kg m⁻³, e a área de superfície específica está na faixa de 17 a 21 m² m⁻³; o espaço de vazios para este tipo de meio suporte é de 40 a 50%.

A Agência de Proteção Ambiental Americana (ESTADOS UNIDOS, 2000) recomenda o uso de cascalho fino (de 6 mm) até pedra britada maior que 150 mm. O mais utilizado é a combinação de cascalhos com tamanhos entre 13 a 38 mm e tipos de rochas duras, resistentes e capazes de manter a forma e a permeabilidade do leito ao longo do tempo. Outra composição bastante utilizada é a areia com solo. Na instalação da *wetland* construída, é importante que a base seja cuidadosamente impermeabilizada para evitar a contaminação das águas subterrâneas por esgoto. Zanella (2008) avaliou a viabilidade do pós-tratamento de esgotos sanitários com o sistema de *wetlands* construídas de fluxo subsuperficial, estudando a eficácia do tratamento com o bambu como meio suporte, em comparação com a pedra britada, observando uma menor remoção de sólidos com o filtro de bambu do que com o filtro composto de brita. A remoção de DBO também foi 24,35% maior nos leitos contendo brita do que com o bambu. Segundo Mazzola (2003) a taboa (*Typha* sp.) apresentou remoção de 30% de fósforo em 72 horas, quando em conjunto com a brita. O sistema de fluxo subsuperficial com pedra britada tem a vantagem de permitir a manutenção da permeabilidade do leito, dificultando sua colmatação,

além de evitar a proliferação de insetos que realizam a postura na água, como os mosquitos.

A argila expandida minimiza o problema de colmatção do sistema e aumenta sua capacidade de tratamento, pois apresenta tanto alta porosidade como área de superfície específica, o que permite uma melhor adesão do biofilme bacteriano (METCALF & EDDY, 2003). A literatura cita elevadas taxas de remoção para amônia, sólidos totais suspensos e demanda química de oxigênio com uso de argila expandida, quando comparada com a brita (ALBUQUERQUE et al., 2010).

Ao usar a brita nº 2 (de 55 a 90 mm) e a macrófita *Eleocharis*, Valentim (1999) como meio suporte observou-se uma redução de 91 a 97% e de 70 a 97% dos sólidos em suspensão e da DQO, respectivamente, além da remoção de 94 a 97% de coliformes.

Portanto, muitos estudos tem comprovado que materiais baratos e fáceis de encontrar no mercado são eficientes na remoção de matéria orgânica, o que possibilita o emprego de *wetlands* construídas em propriedades rurais grandes ou pequenas, e permitindo o tratamento de efluentes da piscicultura.

4.2. Wetlands construídas

O termo “wetland construída” refere-se ao sistema de tratamento baseado nas áreas alagadas naturais ou pântanos e charcos, artificialmente projetado para utilizar plantas aquáticas (macrófitas) em substratos como areia, cascalho, brita ou outro material inerte, onde ocorre proliferação de biofilmes que agregam populações variadas de microrganismos, os quais, por meio de processos biológicos, químicos e físicos tratam efluentes (SOUSA et al., 2004).

Podem ser considerados filtros biológicos aqueles em que os microrganismos aeróbios e anaeróbios, fixados à superfície do substrato e em associação à rizosfera e outras partes submersas da planta, atuam produzindo reações de purificação do efluente, criando um ambiente favorável ao desenvolvimento da vida (NAIME, 2005).

Sendo assim, o termo usado internacionalmente “Constructed Wetland” (CW) refere-se à tecnologia de tratamento de águas residuárias baseada nos processos físicos, químicos e biológicos encontrados nos ecossistemas das várzeas naturais, podendo ser classificado como um sistema natural. No entanto, a distinção básica entre os leitos cultivados e as várzeas naturais está no grau de controle dos processos naturais. Os leitos cultivados operam com vazão afluyente controlada e relativamente estável, pois trata-se de um sistema de tratamento, em contraste com a grande variabilidade da vazão encontrada nos ambientes naturais. Como resultado, os organismos que vivem nas várzeas naturais são mais susceptíveis às variações de vazão, da concentração de Sólidos Suspensos Totais (SST), da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e de outros poluentes (ESTADOS UNIDOS, 2000), pois as variáveis ambientais não são controladas e monitoradas como no sistema de tratamento (sistema artificial).

No caso do tratamento para efluentes orgânicos (caso da piscicultura), os leitos cultivados apresentam grandes vantagens, tais como:

- não necessitar do emprego de produtos químicos,
- não exigir técnicas sofisticadas para a operação e controle do processo,
- não necessitar de operadores qualificados,
- possuir facilidade de construção e manutenção.

Além disso, o uso de materiais alternativos e de baixo custo reduz os gastos com sua implantação e manutenção, propiciando um processo de tratamento de água eficiente e acessível a pequenas comunidades rurais de baixa renda ou isoladas.

As vantagens dos sistemas de tratamento natural sobre os efluentes da aquicultura, em particular, são as seguintes:

- a produção de lodo é praticamente nula, “substituída” pela produção de biomassa vegetal;
- efluente com características físico-químicas e biológicas propício para descarte em corpos de água;
- possibilidade de reuso do efluente tratado;
- benefícios à sociedade como: habitats de peixes e animais selvagens, armazenamento de inundação, oportunidade para recreação e apreciação estética, produtos naturais, melhoria da qualidade natural da água e pesquisa;
- combinação de água com pouca profundidade, níveis elevados de nutrientes inorgânicos e taxas elevadas de produtividade primária;
- intensa atividade microbiana (bactérias, fungos, protozoários e outros);
- baixo consumo de energia (podendo ser nulo);
- uso de materiais de baixo custo;
- sistemas de fácil operação;
- possível uso das macrófitas retiradas (venda/aproveitamento para uso ornamental, adubo e fertilizante do solo, composição de ração para animais, compostagem, produção de biogás, indústria e uso na construção civil);
- sistema em grande ou pequena escala;
- remoção satisfatória de matéria orgânica, sólidos suspensos, nitrogênio, fósforo e patógenos.

4.2.1 Características gerais do sistema de *wetlands* construídas

O funcionamento dos leitos cultivados se baseia no fluxo horizontal do efluente através de um meio suporte enriquecido por uma mistura de micróbios aeróbios, anaeróbios e facultativos vivendo em associação com o substrato e as raízes de plantas (KNIGHT et al., 2000). Para tratamento do esgoto doméstico, as pedras que compõem o meio suporte dos sistemas projetados variam em tamanho (6 a 150 mm) sendo a faixa de 13 a 76 mm a mais comum (REED; BROWN, 1992). A profundidade do leito varia de 0,3 a 0,7 m; a razão comprimento: largura varia de 10:1 a 1:1, com uma razão típica de 2:1. A taxa de aplicação do efluente bruto oscila entre 0,18 a 3,3 m⁻³ m⁻² dia⁻¹ com um tempo de retenção hidráulica de 1 a 7 dias (ESTADOS UNIDOS, 2000).

Existem basicamente dois tipos de sistemas de tratamento com leitos cultivados:

1) **Sistema superficial:** o efluente passa acima do meio suporte, não tendo contato direto com as raízes das macrófitas. Algumas características deste sistema são:

- necessidade de um tempo de retenção hidráulica maior;
- necessidade de controle de mosquitos e insetos (controle com introdução de peixes predadores);
- menor preocupação com possibilidade de colmatção (entupimento do sistema de filtragem);
- possibilidade de utilização de aeração ativa para melhorar a eficiência do sistema, e;
- preferencialmente uma das últimas etapas do sistema de tratamento, e geralmente utilizadas para remoção de nutrientes.

2) **Sistema subsuperficial:** o efluente passa pelo meio suporte, tendo

contato direto com as raízes das macrófitas. Este tipo de sistema permite uma maior área superficial de contato a ser colonizada por bactérias e outros microrganismos associados. No caso dos sistemas subsuperficiais cultivados, a difusão do oxigênio no biofilme ocorre preferencialmente pelas macrófitas (MONTEIRO, 2009).

Algumas características deste sistema são:

- necessidade de menor tempo de retenção hidráulica;
- não há necessidade de controle de mosquitos;
- preocupação com a colmatação (excesso de sólidos);
- preferencialmente constituem uma etapa final do sistema, geralmente após um sistema de decantação ou sedimentação de sólidos.

Em geral, os sistemas de fluxo subsuperficial exigem pré-tratamento, tal como as lagoas facultativas ou simples sedimentação (tanques sépticos) antes que o efluente entre na *wetland* construída, e assim evita-se uma carga de sólidos em suspensão excessiva que poderia provocar o entupimento dos espaços intersticiais das rochas, e em última análise, na incapacidade de filtragem e depuração do efluente. A redução de DBO e de sólidos totais suspensos nestes sistemas têm sido, em média, de acordo com a literatura, de 85 e 90%, respectivamente (ZACHRITZ II et al., 2008).

No Brasil, ainda são poucos os trabalhos sobre leitos cultivados, sendo que os projetos desenvolvidos possuem diversos fins, podendo-se destacar:

- a) sistemas para purificação de grandes volumes de água, com a finalidade de recuperação de recursos hídricos ou pré-tratamento para Estação de Tratamento de Água (ETA);
- b) sistemas para tratamento de esgoto urbano;

c) sistemas para purificação de águas industriais;

d) sistemas para abastecimento de água industrial e urbana.

4.3. Estudos com *wetlands* construídas

Mannarino et al. (2006) avaliaram o tratamento de lixiviados de aterros sanitários usando *wetlands* construídas, com bons resultados para redução de Demanda Química de Oxigênio (DQO) e nitrogênio amoniacal. Na Paraíba, os leitos cultivados também foram usados no tratamento de efluentes de reator UASB - que consiste em um digestor anaeróbio de fluxo ascendente - com remoção elevada (70 a 86%) de material carbonáceo e de 66 e 86% de nitrogênio e fósforo, respectivamente (SOUSA et al., 2004). A rizicultura associada com a piscicultura foi objeto de estudo para o tratamento de efluentes agrícolas, como no estudo de Garcia et al. (2009), no qual a macrófita *Brachiaria subquadrifera* foi utilizada com sucesso na remoção da carga orgânica para este tipo de efluente.

Em Mazzola et al. (2005) avaliou-se o desempenho de um Reator Anaeróbio Compartimentado (RAC) de duas câmaras em série, seguido de três leitos cultivados (constructed wetlands) de fluxo vertical por batelada para tratar o efluente doméstico de uma comunidade rural. Como resultados, observou-se tendência de estabilização dos parâmetros pH, alcalinidade, ácidos voláteis, sólidos sedimentáveis e suspensos totais, porém, a remoção de DQO revelou-se limitada (50%). Nos leitos cultivados, o aumento do tempo de reação (até 72 h) foi acompanhado pelo aumento de remoção de turbidez, DQO, fósforo e nitrato.

Augusto (2011) estudou o efeito dos leitos cultivados sobre a melhoria da qualidade da água de efluentes de criação de aves, obtendo expressiva redução em sólidos totais (75%).

Quanto ao tratamento de efluentes da piscicultura, as *wetlands* construídas foram utilizadas com sucesso no estudo de Bitar et al. (2009), apresentando boa redução nos valores de matéria

orgânica, demanda química e bioquímica de oxigênio, condutividade, transparência e cor. Em outro estudo, buscou-se avaliar a eficiência de diferentes biofiltros no tratamento de efluente de piscicultura com e sem a planta *Vetiver*, verificando-se que a brita número 02 apresentou maior eficácia na redução de amônia e sólidos dissolvidos totais (SILVA, 2012).

Chagas et al. (2012) revisaram a legislação pertinente à qualidade dos recursos hídricos e verificaram, com base principalmente na Resolução CONAMA 357/05, que as *wetlands* construídas são eficientes no tratamento de efluentes para atender à legislação brasileira. Porém, o estudo também apontou que alguns parâmetros, como oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio, nitrogênio amoniacal e coliformes termotolerantes não atenderam aos limites impostos pela Res. CONAMA 357/05 e Res. CONAMA 430/11. Assim, o trabalho conclui que as *wetlands* construídas são um instrumento eficaz e de baixo custo no tratamento de efluentes domésticos, agrícolas e industriais, porém necessitam de estudos direcionados para o aperfeiçoamento da técnica, a fim de que os parâmetros físico-químicos apontados estejam em conformidade com a legislação brasileira.

4.4. Sistemas de Recirculação de Água para Aquicultura (SRAP)

Os Sistemas de Recirculação de Água para Aquicultura (SRAP) possibilitam o aumento da produção com o aproveitamento da água. Este tipo de produção é uma tendência, sendo tipicamente um sistema fechado que permite aos produtores controlar as condições ambientais durante todo o ano.

A tecnologia de produção do SRAP permite ainda a produção de organismos aquáticos com a liberação mínima de efluentes e pequena reposição de água, de cerca de 5% do volume total por dia, que se perde por evaporação (CREPALDI et al., 2006). Nestes sistemas de produção, a água é reutilizada após tratamento mecânico (materiais inertes, como areia, brita, argila expandida, por exemplo) e biológico (bacteriológico), numa tentativa de reduzir as necessidades com água

e energia e a emissão de nutrientes para o ambiente (MARTINS et al., 2010). O uso médio de água por quilo de produção de peixe diminui de vários metros cúbicos em sistemas abertos para menos de 100 litros em SRAPs (VERDEGEM et al., 2005).

Os componentes básicos de um sistema de recirculação são: tanques de cultivo, decantadores e filtros, biofiltros, sistema de aeração/oxigenação, sistemas de bombas e tubulações de drenagem e retorno, e unidade de quarentena.

A figura 1 ilustra um tipo de SRAP onde foi utilizada a tilapicultura com tratamento de biofiltros (brita e argila expandida) e a planta Vetiver (*C. zizanioides*).

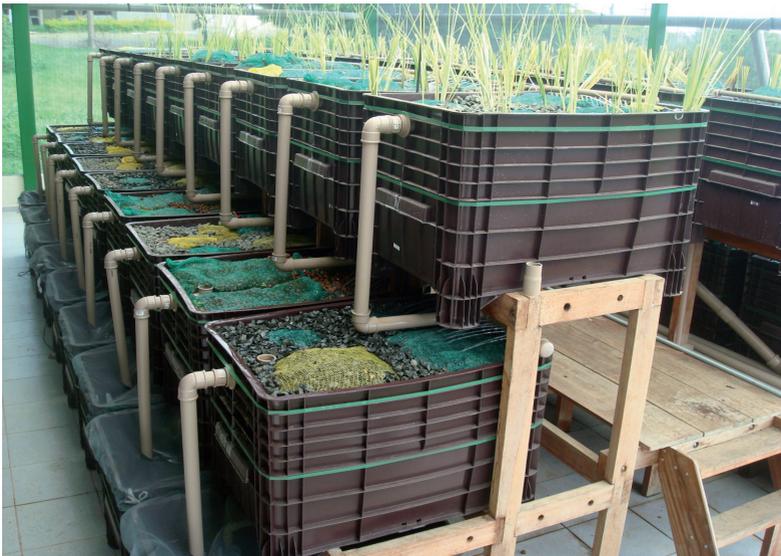


Foto: Mariana Silveira Guerra Moura e Silva

Figura 1. Sistema experimental de aqüicultura com recirculação (SRAP) integrando cultivo de peixe e leitos cultivados para tratamento do efluente.

Quando comparado com os sistemas convencionais abertos ou sem recirculação de água, os SRAP apresentam as seguintes vantagens (OZÓRIO et al., 2004):

- controle da qualidade da água;
- flexibilidade para produzir diferentes espécies ao mesmo tempo;
- uso de fontes alternativas de água;
- implementação de tecnologias, tais como raios UV e ozônio para tratamento dos peixes e da água, reatores de desnitrificação acoplados ao sistema;
- redução de trocas de água;
- concentração do lodo;
- o potencial de eutrofização em SRAPs é de 26 a 38% menor do que em sistemas de fluxo contínuo.

Entre as desvantagens, podem-se destacar:

- apesar de vantajoso do ponto de vista ambiental (economia e uso racional da água e relativa independência das variações sazonais), os custos associados à construção e operação dos SRAP são mais elevados do que um viveiro ou tanque rede;
- exigência de mão de obra qualificada;
- geralmente são usadas altas densidades por tanque, o que implica em maiores cuidados com o bem estar dos animais criados, como por exemplo, aeração contínua, observação criteriosa do consumo de ração, e controle dos níveis de nitrito;
- acúmulo de substâncias potencialmente tóxicas (nitrito, por

exemplo);

- o gasto de energia é 1,4 a 1,8 vezes maior do que em sistemas abertos.

Apesar de seus vários benefícios, uma questão central nos sistemas fechados é o tratamento da amônia e do nitrito, conforme citado acima. No século passado, estudos microbiológicos evidenciaram grupos de bactérias capazes de reciclar alguns compostos nitrogenados que são prejudiciais aos organismos aquáticos e, por esta razão, tende a se acumular na água de cultivo. Com base nestes estudos, diversas equipes de pesquisa desenvolveram técnicas de filtração fazendo uso deste grupo específico de bactérias (*Nitrosomonas* spp e *Nitrococcus* spp, responsáveis pela fixação em nitrito, e *Nitrobacterspp* e *Nitrocystis* spp responsáveis pela oxidação de nitrito em nitrato, originando, assim, a filtração biológica (LOBÃO et al., 1999). Nos sistemas de recirculação, os filtros biológicos podem ser utilizados para o tratamento do efluente antes que este retorne aos tanques. Além da oxidação da matéria orgânica, estas unidades de tratamento têm como objetivo principal a transformação de nitrogênio amoniacal em nitrato, bem menos tóxico aos organismos aquáticos (processo conhecido como nitrificação).

Outro ponto de atenção nos SRAP é a remoção dos resíduos sólidos da água. Estes sólidos devem ser removidos, pois podem sobrecarregar o biofiltro e reduzir o fluxo de água. Os sólidos podem ser removidos por sedimentação, por concentrador centrífugo ou por filtração mecânica. Uma vez retirados, estes sólidos deverão ter um destino conveniente.

Na aquicultura, os sistemas fechados com tratamento e recirculação da água são comumente utilizados em laboratórios de pesquisa, no cultivo e manutenção de peixes ornamentais e em grandes aquários públicos ou privados em todo mundo. Entretanto, segundo Kubitzka (2006), os produtores com experiência, ou não, em piscicultura, que na sua grande maioria optam 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.

Corso (2010) comparou dois sistemas, um sem e outro com recirculação para tratamento de efluente de tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*). Como conclusão do estudo, verificou-se que o sistema de recirculação foi vantajoso, pois proporcionou grande economia de água (72,5% menos água do que o sistema convencional sem recirculação) e menor liberação de efluentes no cultivo, causando menor impacto ambiental. Além disso, o desempenho zootécnico foi o mesmo nos dois tipos de sistema.

O reuso da água foi objeto de estudo em Gradvohl (2006) que analisou a viabilidade ambiental do aproveitamento de esgotos domésticos tratados na piscicultura, a partir de uma avaliação de risco, evidenciando os aspectos sanitários, epidemiológicos e ecotoxicológicos inerentes ao mesmo, utilizando como organismo teste a tilápia-do-Nilo. Os testes objetivaram determinar o índice de toxicidade aguda (LC_{50}), e não foi observada mortalidade de nenhum organismo. Andrade (2008) estudou formas de viabilizar a criação e a produção de tilápia-do-Nilo numa estação de tratamento de esgoto em Brasília (DF), visando o reuso de água na piscicultura e simultaneamente verificando se havia melhoria da qualidade do efluente tratado pelo processo de reuso de água com o cultivo dessa espécie de peixe. Silva (2012) obteve resultados mais eficazes na manutenção de oxigênio dissolvido (concentração acima de 5,0 mg/L) e boa redução de sólidos totais dissolvidos (70%) quando a planta Vetiver (*Cryspogon zizanioides*) foi utilizada em associação com a brita, além de valores mais baixos de condutividade elétrica quando o filtro era composto por Vetiver, brita e argila expandida em sistema de recirculação.

Yang-Zhang et al. (2011) encontraram forte relação entre a produção de pescado e a qualidade da água em sistemas de recirculação com uso de *wetlands* construídas verticais e horizontais para tratamento dos

efluentes, mostrando que este tipo de sistema de tratamento funcionou bem para a redução de sólidos e na retenção de nutrientes. O efluente pós-tratamento apresentou menor concentração de nitrito (redução de 61%), sólidos suspensos totais (redução de 82%) e demanda química de oxigênio (DQO) (redução de 52%).

5. Aquaponia

A otimização de espaços e recursos naturais levam ao desenvolvimento de sistemas integrados de produção. A integração da aqüicultura com a hidroponia (aquaponia) pode se apresentar como uma solução para proporcionar o uso da água mais eficiente, incrementando a produção de peixes e vegetais sem aumentar o consumo de água, evitando o despejo do efluente da aqüicultura em corpos d'água a jusante e fornecendo um fertilizante natural para a planta de cultivo (MARISCAL-LAGARDA et al., 2012).

Com a intensificação da produção, a exigência de espaço nesse sistema acaba sendo inferior ao tradicional, podendo gerar economia nos custos de produção, além da possibilidade de instalação em localidades peri-urbanas, que garantem maior proximidade com o mercado consumidor, o que diminui custos de armazenamento e transporte.

Alguns sistemas aquapônicos têm sido desenvolvidos utilizando diversos modelos, os quais podem se destacar: o uso de sistemas de canais (SNEED et al., 1975), aquários (NAEGEL, 1977; LAOHAVISUTI, 2000), tanques de fibra de vidro (LANDESMAN, 1977), tanques retangulares de concreto (PIERCE, 1980), cilindros plásticos (BAUM, 1981), e tanques circulares de vinil (RAKOCY et al., 1989).

O objetivo final é reduzir o consumo da água e tratar o efluente da piscicultura, reaproveitando os nutrientes para o crescimento de vegetais.

Na última década, a maioria dos sistemas de aquaponia tem utilizado o sistema de recirculação, o que permite a diminuição do consumo de água com uso de tanques coletores para o lixiviado. O efluente coletado nos tanques é então reaplicado nas plantas juntamente com uma solução de nutrientes (SAVIDOV, 2005).

A Figura 2 apresenta um desenho esquemático de um modelo de sistema aquapônico básico com recirculação e seus componentes.

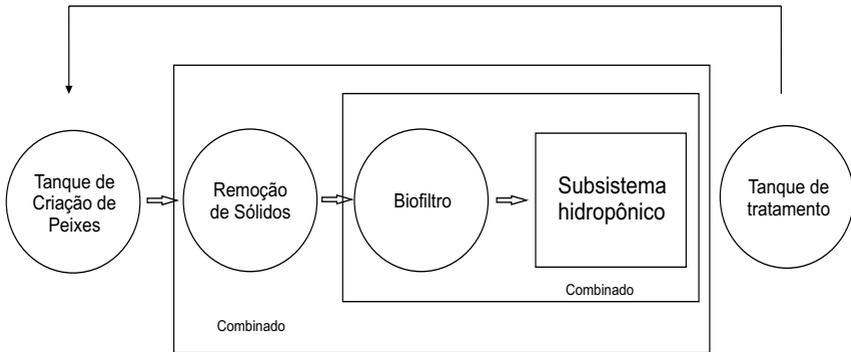


Figura 2. Disposição ideal dos componentes do sistema aquapônico de recirculação de água (sem escala). Adaptado de Rakocy et al., 2006.

Mariscal-Lagarda et al. (2012), ao avaliarem um sistema de aquaponia com camarão (*Litopenaeus vannamei*) e tomate (*Lycopersicon esculentum Mill*), observaram a economia de nutrientes (nitrogênio, fósforo e outros) para o cultivo de tomate, e a diminuição ou eliminação do impacto do efluente na criação de camarão. O uso de água no referido sistema foi de 2,1 m³ por quilo de camarão e tomates, enquanto que nos sistemas tradicionais de cultivo, apenas do camarão, o gasto de água girava em torno de 67 a 113 m³ para a região do México, onde foi desenvolvido o estudo.

Crivelenti et al. (2009) observaram bom crescimento das tilápias com baixa mortalidade (2,7%) e melhor qualidade do vegetal (alface) pela absorção do nitrato, resultante da nitrificação bacteriana, em sistema integrado com uso de biofiltro.

No desenvolvimento do sistema integrado estão incluídos três processos: o primeiro refere-se à melhoria da qualidade da água através do uso de biofiltros naturais (*wetlands*); o segundo consiste na integração da produção aquícola com sistemas agrícolas mais sustentáveis, e o terceiro se baseia no uso de sistemas de produção fechados com recirculação da água (p.ex. aquaponia).

A troca de água em sistemas aquapônicos fechados é de apenas 2%, e os nutrientes dissolvidos oriundos do metabolismo dos peixes se acumulam em concentrações semelhantes às soluções nutritivas do sistema hidropônico (RAKOCY et al., 2006). Os peixes excretam amônia para a água diretamente através de suas brânquias. As bactérias do gênero *Nitrossomonas* convertem amônia em nitrito e então em nitrato. Os dois primeiros compostos são bastante tóxicos para os peixes; porém o nitrato é relativamente inofensivo, além de ser a forma preferida de nitrogênio orgânico para o crescimento das plantas superiores, tais como os vegetais com frutos.

Sikawa e Yakupitiyage (2010) verificaram um crescimento acentuado na produção de alface em consórcio com a criação de bagres quando o efluente passou por filtros de areia, com redução de 61% de sólidos suspensos totais.

Em estudo feito para o Departamento de Pesca e Oceanos do Canadá, um sistema de aquaponia foi instalado associando-se a criação de tilápias com a produção de tomate, pepino e manjerição (SAVIDOV, 2005). A água do efluente da criação de peixes foi tratada com filtros de areia e ozonizadores para remoção da matéria orgânica. Os pesquisadores observaram uma deficiência nutricional que resultou na queda da produção dos vegetais. Porém, após a adição de suplementos nutricionais a produção aumentou. Ainda neste estudo foram comparados os sistemas de aquaponia e hidroponia. Os resultados indicaram que as plantas produzidas por aquaponia atingiram uma taxa de crescimento relativamente maior tanto para raízes como para brotos comparados com as plantas do sistema hidropônico, em condições nutricionais não limitantes, ou seja, com todos os macro

e micronutrientes disponíveis em quantidade adequada para o seu desenvolvimento. O trabalho conclui que a promoção do crescimento das plantas resulta da interação de nutrientes, compostos orgânicos e bactérias. Entretanto, ainda faltam estudos que identifiquem o mecanismo por trás deste processo de crescimento dos vegetais produzidos.

Quanto aos peixes, a mortalidade foi bastante baixa devido à estabilização da qualidade da água, que apresentou níveis menores do que 3 mg L^{-1} de amônia durante todo o experimento e também devido à oxidação da amônia em nitrato por bactérias. Também foram obtidas maiores médias de biomassa (aumento de 23%, de 0,50 kg para 0,64 kg) e maior taxa de conversão alimentar. Ainda de acordo com Savidov (2005), a diferença básica entre a aquaponia e outros sistemas de recirculação de hidroponia é a ausência de acúmulo de compostos orgânicos tóxicos para o crescimento da planta. Além disso, os efeitos estimulantes provenientes do efluente da aquaponia só foram observados um ano e meio depois do início do estudo, o que sugere que a água mais antiga foi importante para o crescimento de bactérias nitrificantes.

Morris et al. (2011) avaliaram um sistema de recirculação de aquaponia composto por tilápia (*O. niloticus*) e cultivo de morango, sendo testada duas densidades de peixe. O objetivo principal era avaliar quais nutrientes estavam em baixa concentração para as plantas, ou seja, em que medida o efluente gerado pelos peixes não atendia às exigências nutricionais do morango. Foi verificado que os íons mais abundantes (nitrato, cálcio, fosfato e potássio) estavam em quantidade suficiente na densidade de 2 kg peixe/m^3 . Como conclusão, os autores verificaram que é possível manter uma pequena criação de peixe para reduzir os custos de uma solução hidropônica suplementar para morangos.

Outro exemplo de aquaponia bem sucedido é o estudo de Trang e Brix (2012), os quais observaram um bom crescimento de piriquireti (*Canna glauca*) (Família Cannaceae) e altas taxas de remoção de nitrogênio, amônia e fósforo em um sistema de recirculação, corroborando a

importância das plantas nos sistemas fechados.

Diante do exposto, considera-se essencial o desenvolvimento de sistemas de produção sustentáveis. Projetos de pesquisa sobre piscicultura associada à hidroponia ainda são incipientes no Brasil, tornando-se necessário o desenvolvimento de estudos científicos que definam e estabeleçam alguns coeficientes básicos, como por exemplo, a definição de índices, tais como a taxa “biomassa de peixes/biomassa de plantas” e a sua capacidade de suporte, para que o sistema seja desenvolvido e se transforme em um produto a ser oferecido aos pequenos, médios e grandes produtores rurais. A questão principal passa a ser a pesquisa de sistemas de produção integrada que potencialize o uso de recursos naturais, e entre eles, a água. Os produtos gerados nos sistemas integrados poderão ter, além do caráter ambientalmente sustentável, a vantagem da produção e consumo locais, minimizando custos com transporte e conservação dos alimentos.

Referências bibliográficas

ALBUQUERQUE, A.; OLIVEIRA, J.; SEMITELA, S.; AMARAL, L. Evaluation of the effectiveness of horizontal subsurface flow constructed wetlands for different media. **Journal of Environmental Sciences**, Los Angeles, v. 22, n. 6, p. 820-825, 2010.

ANDRADE, A. C. **Cultivo de tilápia do nilo (*O. niloticus*) em efluentes do sistema de lagoas de estabilização da Estação de Tratamento de Esgotos de Samambaia – DF (Distrito Federal)**. 2008. 182 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Tecnologia, UnB, Brasília, DF.

AUGUSTO, K. V. Z. **Tratamento e reúso do efluente de biodigestores no processo de biodigestão anaeróbia da cama de frango**. 2011. 72 f. Tese (Doutorado) - Unicamp, Campinas.

BASTOS, R. K. X.; ANDRADE NETO, C. O.; COURACCI FILHO, B. E.; MARQUES, M. O. **Introdução**. In: **BASTOS, R. K. X. (Ed.). Utilização de esgotos tratados em fertirrigação, hidroponia e piscicultura**. Rio de Janeiro: ABES; São Paulo, Rima, 2003. p. 1-21.

BAUM, C. Gardening in fertile water. **New Alchemy Quarterly**, Hatchville, v. 5, p. 3-8, 1981.

BITAR, A.; TAUK-TORNISIELO, S. M.; SANTOS, A.A.O.; MALAGUTTI, E. N.; SILVA, I. M. Tratamento de efluentes de pesque-pague em sistemas construídos de áreas alagadas. **HOLOS Environment**, Rio Claro, v. 9, n. 2, p. 17-35, 2009.

BOYD, C. E.; QUEIROZ, J. F. Manejo das condições do sedimento do fundo e da qualidade da água e dos efluentes de viveiros. In: CYRINO, J. E. P.; URBINATI, E. C.; FRACALOSSO, D. M.; CASTAGNOLLI, N. (Ed.). **Tópicos especiais em piscicultura de água doce tropical intensiva**. São Paulo: TecArt, 2004. p. 25-44.

BOSCOLO, W. R.; HAYASHI, C.; MEURER, F. Digestibilidade aparente da energia e nutrientes de alimentos convencionais e alternativos para a tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*, L.). **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 31, n. 2, p. 539-545, 2002.

BRASIL. Ministério da Pesca e Aquicultura. **Boletim estatístico da pesca e aqüicultura**: Brasil 2010. Brasília, DF, 2012. 128 p.

CASILLAS-HERNÁNDEZ, R.; MAGALLÓN-BARAJAS, F.; PORTILLO-CLARCK, G.; PÁEZ-OSUNA, F. Nutrient mass balances in semi-intensive shrimp ponds from Sonora, Mexico, using two feeding strategies: trays and mechanical dispersal. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 258, n. 1-4, p. 289-298, 2006.

CHAGAS, T. W. G.; SALATI, E.; TAU-K-TORNOSIELO, S. M. Sistemas construídos de áreas alagadas: revisão da legislação e dos padrões de qualidade da água. **Holos Environment**, Rio Claro, v. 12, n. 1, p. 87-98, 2012.

COMEAU, Y.; BRISSON, J.; RÉVILLE, J. P.; FORGET, C.; DRIZO, A. Phosphorus removal from trout farm effluents by constructed wetlands. **Water Science and Technology**, Oxford, v. 44, n. 11-12, p. 55-60, 2001.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. 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 dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 18 mar. 2005. Seção 1, p. 58-63.

CONSUMO de pescado no Brasil aumentou 40% em seis anos. Disponível em: <<http://g1.globo.com/mundo/noticia/2010/09/consumo-de-pescado-no-brasil-aumentou-40-em-seis-anos.html>>. Acesso em: 18 abr. 2012.

CORSO, M. N. **Uso de sistemas com recirculação em aqüicultura**. 2010. 36 p. Monografia - Faculdade de Medicina Veterinária, UFRGS, Porto Alegre.

CREPALDI, D. V.; TEIXEIRA, E. A.; FARIA, P. M. C.; RIBEIRO, L. P.; MELO, D. C.; CARVALHO, D.; SOUSA, A. B.; SATURNINO, H. M. Sistemas de produção na piscicultura. **Revista Brasileira de Reprodução Animal**, Belo Horizonte, v. 30, n. 3-4, p. 86-99, 2006.

CRIVELANTI, L. Z.; BORIN, S.; SILVA, N. R. da. Piscicultura superintensiva associada à hidroponia em sistema de recirculação de água. **Archives of Veterinary Science**, Curitiba, v. 14, n. 2, p. 109-116, 2009.

CYRINO, J. E. P.; BICUDO, A. J. A.; SADO, R. Y.; BORGHESI, R.; DAYRIKI, J. K. A piscicultura e o ambiente: o uso de alimentos ambientalmente corretos em piscicultura. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 39, supl., p. 68-87, 2010.

ESTADOS UNIDOS. Environmental Protection Agency. **Constructed wetlands treatments of municipal wastewaters**: manual. Cincinnati, 2000. 165 p. (EPA/625/r-99/010).

FAO. **The state of world fisheries and aquaculture**. Roma, 2012. 209 p.

GARCIA, G. O.; VENTURIN, G. H.; CECILIO, R. A.; NAZÁRIO, A. A. Remoção da carga orgânica oriunda de um sistema de rizipiscicultura pela *Bracharia* de brejo (*Brachiaria subquadripara*). **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Mossoró, v. 4, n. 1, p. 54-63, 2009.

GRADVOHL, S. T. S. **Avaliação dos riscos ambientais e ecotoxicológicos do reúso de águas residuárias na piscicultura**. 2006. 164 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento Ambiental) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

KNIGHT, R. L.; PAYNE JUNIOR, V. W. E.; BORER, R. E.; CLARKE JUNIOR, R. A.; PRIES, J. H. Constructed wetlands for livestock wastewater management. **Ecological Engineering**, Oxford, v. 15, n. 1-2, p. 41-55, 2000.

KUBITZA, F. Sistemas de Recirculação: sistemas fechados com tratamento e reúso da água. **Panorama da Aquicultura**, Rio de Janeiro, v. 16, n. 95, p. 15-22, 2006.

LANDESMAN, L. Overwintering tilapia in a re-circulating system. In: WELSH, G. (Ed.). **Essays on food and energy**. Catonsville: Foundation for Self Sufficiency, 1977. p. 121-127.

LAOHAVISUTI, N. **Uses of aquatic macrophytes for nutrient removal in a recirculating system for tropical fish culture**. 2000. 178 f. Dissertation - Asian Institute of Technology, Bangkok.

LOBÃO, V. L.; LUZIA, L. A.; SAMPAIO, G. R.; HORTENCIO, E.; SOUZA, A, M. Estudo comparativo entre quatro métodos de sistemas fechados de circulação em larvicultura de *Macrobrachium rosenbergii*. **Boletim do Instituto de Pesca**, São Paulo, v. 25, p. 101-109, 1999.

MANNARINO, C. F.; FERREIRA, J. A.; CAMPOS, J. C.; RITTER, E. Wetlands para tratamento de lixiviados de aterros sanitários – experiências no Aterro Sanitário de Pirai e no Aterro Metropolitano de Gramacho (RJ). **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 11, n. 2, p. 108-112, 2006.

MARISCAL-LAGARDA, M. M.; PÁEZ-OSUNA, F.; ESQUER-MÉNDEZ, J. L.; GUERRERO-MONROY, I.; DEL VIVAR, A. R.; FÉLIX-GASTELUM, R. Integrated culture of white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) and tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill) with low salinity groundwater: management and production. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 366-367, p. 76-84, 2012.

MARTINS, C. I. M.; EDING, E. P.; VERRETH, J. A. J. The effect of recirculating aquaculture systems on the concentrations of heavy metals in culture water and tissues of Nile tilapia *Oreochromis niloticus*. **Food Chemistry**, London, v. 126, n. 3, p. 1001-1005, 2010.

MAZZOLA, M. **Uso de leitos cultivados de fluxo vertical por batelada no pós-tratamento de efluente de reator anaeróbio compartimentado**. 2003. 99 f. Dissertação (Mestrado) – Unicamp, Campinas.

MAZZOLA, M.; ROSTON, D. M.; VALENTIM, M. A. A. Uso de leitos cultivados de fluxo vertical por batelada no pós-tratamento de efluente de reator anaeróbio compartimentado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, n. 2, p. 276-283, 2005.

METCALF & EDDY, INC. **Wastewater engineering: treatment and reuse**. 3. ed. Boston: McGraw-Hill, 2003. 1819 p.

MONTEIRO, R. C. M. **Viabilidade técnica do emprego de sistemas tipo “wetlands” para tratamento de água cinza visando o reúso não potável**. 2009. 84 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Civil, USP, São Paulo.

MORRIS, V. R.; ALVARIÑO, J. M. R.; DURAN, J. M. Aquaponics: integrating fish feeding rates and íon wastes production for strawberries hidroponics. **Spanish Journal of Agricultural Research**, Madrid, v. 9, n. 2, p. 537-545, 2011.

NAEGEL, L. C. A. Combined production of fish and plants in a re-circulating water. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 10, n. 1, p. 17-24, 1977.

NAIME, R.; GARCIA, A. C. Utilização de enraizadas no tratamento de efluentes agroindustriais. **Estudos Tecnológicos**, São Leopoldo, v. 1, n. 2, p. 9-20. 2005.

OZÓRIO, R. O. A.; AVNIMELECH, Y.; CASTAGNOLLI, N. Sistemas intensivos fechados de produção de peixes. In: CYRINO, J. E. P.; URBINATI, E. C.; FRACALLOSSI, D. M.; CASTAGNOLLI, N. (Ed.). **Tópicos especiais em piscicultura de água doce tropical intensiva**. São Paulo: TecArt, 2004. p. 7-24.

PIEADADE, A. R. **Dinâmica da remoção de fósforo em leitos cultivados com *Typha* sp.** 2010. 171 f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Unicamp, Campinas.

PIERCE, B. Water re-uses aquaculture systems in two greenhouses in northern Vermont. **Proceedings of the World Mariculture Society**, Baton Rouge, v. 11, n. 1-4, p. 118–127, 1980.

QUEIROZ, J. F. de; BOEIRA, R. C.; SILVEIRA, M. P. **Coleta e preparação de amostras de sedimentos de viveiros de aqüicultura.** Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2004. 5 p. il. (Embrapa Meio Ambiente. Comunicado Técnico, 17).

QUEIROZ, J. F. de; SILVEIRA, M. P. **Recomendações práticas para melhorar a qualidade da água e dos efluentes dos viveiros de aqüicultura.** Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2006. 14 p. il. (Embrapa Meio Ambiente. Circular Técnica, 12).

RAKOCY, J. E.; HARGREAVES, J. A.; BAILY, D. S. Effect of hydroponic vegetable production on water quality in a closed recirculating system. **Journal of the World Aquaculture Society**, Baton Rouge, v. 20, n. 1, p. 64A, 1989.

RAKOCY, J. E.; MASSER, M. P.; LOSORDO, T. M. **Recirculating aquaculture tank production systems: aquaponics- integrating fish and plant culture.** Texas: Southern Regional Aquaculture Center, Texas A & M University, 2006. (SRAC Publication No. 454).

REED, S. C.; BROWN, D. S. Constructed wetland design: the first generation. **Water Environment Research**, Alexandria (Estados Unidos), v. 64, n. 6, p. 776-781, 1992.

SAVIDOV, N. **Evaluation and development of aquaponics production and product market capabilities in Alberta: phase II.** Alberta (Canadá): Agricultural Food and Rural Development, Department of Fisheries and Oceans, 2005. 57 p.

SNEED, K.; ALLEN, K.; ELLIS, J. Fish farming and hydroponics. **Aquaculture and the Fish Farmers**, v. 2, p. 18-20, 1975.

SOUSA, J. T. de; VAN HAANDEL, A. C.; GUIMARÃES, A. V. A. Performance of constructed wetland systems treating anaerobic effluents. **Water Science and Technology**, Oxford, v. 48, n. 6, p. 295-299, 2003.

SIDONIO, L.; CAVALCANTI, I.; CAPANEMA, L.; MORCH, R.; LIMA, J.; BURNS, V.; ALVES JÚNIOR, A. J.; AMARAL, J. V. Panorama da aquicultura no Brasil: desafios e oportunidades. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, v. 35, p. 421-463, 2012.

SIKAWA, D. C.; YAKUPITIYAGE, A. The hydroponic production of lettuce (*Lactuca sativa* L.) by using hybrid catfish (*Clarias macrocephalus* x *C. gariepinus*) pond water: potentials and constraints. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 97, n. 9, p. 1317-1325, 2010.

SILVA, M. S. G. M. **Desenvolvimento de um sistema de recirculação com uso de wetlands construídas para efluentes da piscicultura**. 2012. 115 f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Unicamp, Campinas.

SOUSA, J. T.; VAN HAANDEL, A.; LIMA, E. P. C.; HENRIQUE, I. N. Utilização de wetland construído no pós-tratamento de esgotos domésticos pré-tratados em reator UASB. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 9, n. 4, p. 285-290, 2004.

TRANG, N. T. D.; BRIX, H. Use of planted biofilters in integrated recirculating aquaculture-hydroponics systems in the Mekong Delta, Vietnam. **Aquaculture Research**, Oxford, p. 1-10, 2012. (No prelo).

VALENTI, W. C. Agricultura sustentável. In: CONGRESSO DE ZOOTECNIA, 12., 2002, Vila Real, Portugal. **Anais...** Vila Real: Associação Portuguesa dos Engenheiros Zootécnicos, 2002. p. 111-118.

VALENTIM, M. A. A. **Uso de leitos cultivados no tratamento de efluente de tanque sépticomodificado**. 1999. 119 f. Dissertação (Mestrado) - Unicamp, Campinas.

VALENTIM, M. A. A. **Desempenho de leitos cultivados (“constructed wetland”) para tratamento de esgoto: contribuição para concepção e operação**. 2003. 148 f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Unicamp, Campinas.

VAN RIJN, J. The potential for integrated biological treatment system in recirculating fish culture: a review. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 139, n. 3-4, p. 181-201, 1996.

VERDEGEM, M. C. J.; BOSMA, R. H.; VERRETH, J. A. J. Reducing water use for animal production through aquaculture. **International Journal of Water Resources Development**, Dublin, v. 22, n. 1, p. 101–113, 2005.

VON SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. 2. ed. Belo Horizonte: Departamento Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG, 1996. v. 2, 243 p.

YANG-ZHANG, S.; LI, G.; WU, H.B.; LIU, X.; YAO, Y.; TAO, L.; LIU, H. An integrated recirculating aquaculture system (RAS) for land-based fish farming: the effects on water quality and fish production. **Aquacultural Engineering**, Essex, v. 45, n. 3, p. 93-102, 2011.

ZACHIRTZ II, W. H.; HANSON, A. T.; SAUCEDA, J. A.; FITZSIMMONS, K. M. Evaluation of submerged surface flow (SSF) constructed wetlands for recirculating tilapia production systems. **Aquacultural Engineering**, Essex, v. 39, n. 1, p. 16-23. 2008.

ZANELLA, L. **Plantas ornamentais no tratamento de efluentes sanitários: wetlands-construídos utilizando brita e bambu como suporte**. 2008. 189 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Unicamp, Campinas.

Embrapa

Meio Ambiente

Ministério da
**Agricultura, Pecuária
e Abastecimento**

GOVERNO FEDERAL
BRASIL
PAÍS RICO É PAÍS SEM POBREZA