

AQUICULTURA EM SISTEMA FECHADO E CONTROLADO - INTEGRAÇÃO BIODIGESTOR/AQUAPONIA - PRODUÇÃO SUSTENTÁVEL DE PEIXES, HORTALIÇAS E BIOENEGIA

Rodrigo A. Jordan, Fabiana Cavichiolo, Luciano Geisenhoff, Rodrigo Couto Santos, Vivaldo Silveira Jr., Lincoln de Camargo Neves Filho, Elton Bruno Giordano, Rogério Oliveira, Murilo Figueiredo, Kerollaine Santos, Higor Santos, Cariele Miranda

Resumo

São mostrados os primeiros resultados do trabalho de desenvolvimento de um sistema sustentável para criação de peixes tropicais, em regime intensivo com recirculação de água conjuntamente com a produção de hortaliças e bioenergia. A água utilizada nos tanques de criação de peixes é recirculada por um sistema de filtros para remoção de dejetos sólidos e amônia. Integram o sistema de filtragem um biodigestor e um sistema de aquaponia por onde circula a parte mais concentrada dos dejetos removidos pelos filtros do sistema de recirculação. Os resultados obtidos demonstram a viabilidade da produção de peixes e hortaliças de uma forma mais sustentável no que se refere ao uso da água, através da recirculação, tratamento e reutilização da mesma.

Palavras chave: sistema intensivo, ambiente controlado, recirculação, reuso de água, sustentabilidade, bioenergia.

INTEGRATED PRODUCTION FISH AND VEGETABLES IN A INTENSIVE RECYCLING WATER SYSTEM

Abstract

Shown are the first results of development work for creating a sustainable system of tropical fish in intensive recirculating water, together with the production of vegetables and bioenergy. The water used in fish breeding tanks is recirculated by a system of filters to remove solid waste and ammonia. Part of the filtration system a digester and a system through which circulates the aquaponics part of the concentrated waste removed by the filters of the recirculation system. The results to date demonstrate the feasibility of producing fish, vegetables in a more sustainable with regard to the use of water through the recirculation and reuse of the same treatment.

Keywords: intensive systems, recycling, water reuse, sustainability, bioenergy.

INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas a criação de peixes em sistemas super-intensivos, com recirculação da água utilizada tem atraído a atenção dos cientistas e investidores, uma vez que permitem alcançar altas produtividades, requerendo espaços relativamente pequenos, além de baixo consumo de água. Entretanto, a viabilização do sistema passa por um rígido controle de temperatura, do oxigênio dissolvido e de

metabólitos, principalmente os nitrogenados, oriundos da alimentação (rações), urina e fezes que podem levar a intoxicação e morte dos peixes.

No sistema intensivo tem-se um controle maior das condições ambientais, principalmente, da temperatura, fator preponderante no tempo de crescimento e engorda dos peixes. Em temperatura ideal este tempo é reduzido, fazendo com que a criação tenha maior rotatividade e conseqüente lucro. Porém, os sistemas de aquecimento consomem energia, implicando em aumento de custos da criação durante as estações mais frias (outono e inverno).

Como animais ectotérmicos, os peixes apresentam variação na velocidade dos processos metabólicos em função da temperatura da água. Dentro dos limites de tolerância térmica, quanto mais elevada a temperatura, maior será a velocidade de crescimento do peixe, sendo o contrário observado em temperaturas mais baixas (SCHMIDT-NIELSEN, 1997).

O tratamento da água é outro gargalo tecnológico do sistema intensivo, principalmente a questão de remoção de amônia (JORDAN et al., 2011). Onde se faz necessário o emprego de sistemas de filtragem que sejam eficientes e viáveis economicamente.

Neste aspecto a aquaponia mostra-se interessante, pois a água fertilizada é utilizada para o cultivo de plantas e hortaliças (CORTEZ et al., 2009), que ao de desenvolverem vão auxiliar na remoção de matéria orgânica e outros compostos presentes na água, como é o caso da amônia, bastante prejudicial ao desenvolvimento dos peixes.

A integração com o biodigestor permite a produção de biogás e biofertilizante, sendo que o biogás pode ser aplicado para atender a necessidades energéticas do sistema de criação (HOQUE et al., 2012). O biofertilizante pode ser aplicado no cultivo de hortaliças e até no cultivo de microalgas para alimentação dos peixes ou biodiesel.

MATERIAL E MÉTODOS

O sistema foi implantado numa área pertencente a Faculdade de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Grande Dourados, onde foi construída uma estufa com 100 m², sob a qual foi montado o sistema de criação intensiva com recirculação composto por 10 tanques de fibra de 500 L cada (Figuras 1 e 2).



Figura 1. Estufa para criação de peixes.



Figura 2. Sistema de criação de peixes com recirculação montado sob a estufa.

A estrutura da estufa foi montada com sobras de madeira usadas em construções (escoras e sarrafos). Os tanques de criação (caixas d'água de fibra de 500 L) foram conectados a um sistema de filtragem para remoção de sólidos e amônia, onde a água circula num sistema fechado, retornando posteriormente aos tanques de criação.

A espécie de peixe utilizada nos experimentos é a tilápia Gift (*Oreochromis niloticus*). Sua escolha se deu, principalmente, pelo conhecimento do seu ciclo produtivo, manejo alimentar e disponibilidade de alevinos em todas as épocas do ano.

Os filtros foram preenchidos com cacos de telhas e cacos de tijolos, brita, areia grossa e tela tipo sombrite. A estufa mantém a água numa faixa de temperatura adequada para as tilápias (entre 26 e 28 °C) na maioria dos dias. Nos dias mais frios é utilizada uma bomba de calor para manter a temperatura da água acima de 26 °C.

A saída de água dos tanques é sifonada, possuindo uma válvula para a descarga de fundo, por onde é removido o material mais pesado (fezes e restos de ração), o qual é canalizado para um reservatório enterrado. Posteriormente é feito o bombeamento desse material para um segundo tanque, onde ocorre a decantação e a separação da água residuária dos dejetos (parte mais concentrada), que ficam no fundo, sendo depois direcionados para um biodigestor, produzindo biogás e biofertilizante (Figura 3).

O biodigestor foi montado com 4 caixas de fibra de 500 L, viradas uma de boca para outra, constituindo assim, dois módulos de biodigestão, com câmaras de digestão de 500 L e gasômetros fixos também de 500 L. Os mesmos ficam dentro da estufa e foram pintados com tinta preta fosca para manter o aquecimento necessário ao processo de biodigestão.



Figura 3. Biodigestor para tratamento de efluentes, produção de biogás e biofertilizantes.

A água residuária é enviada para dois reservatórios de 1000 L, onde é misturada com o biofertilizante e utilizada numa aquaponia para produção de hortaliças (Figura 4). A bancada de aquaponia foi montada com cavaletes de madeira (restos de construção) e duas folhas de telha de fibrocimento de 6 mm de espessura, com 3,66 m de comprimento e 1,10 m de largura, formando ao todo 12 canais de cultivo. A água residuária fica recirculando entre a bancada e os reservatórios de 1000 L. Em intervalos de 2 dias é feita a medição de amônia na água, quando a concentração atinge zero, a água é bombeada para um reservatório elevado, de 1000L, e volta a ser utilizada para reposição no sistema de criação de peixes.



Figura 4. Sistema de aquaponia para uso e tratamento da água residuária.

Para um melhor entendimento, a Figura 5 mostra um esquema geral de funcionamento do sistema com cada componente: sistema de criação e recirculação, coleta de dejetos, biodigestor e aquaponia.

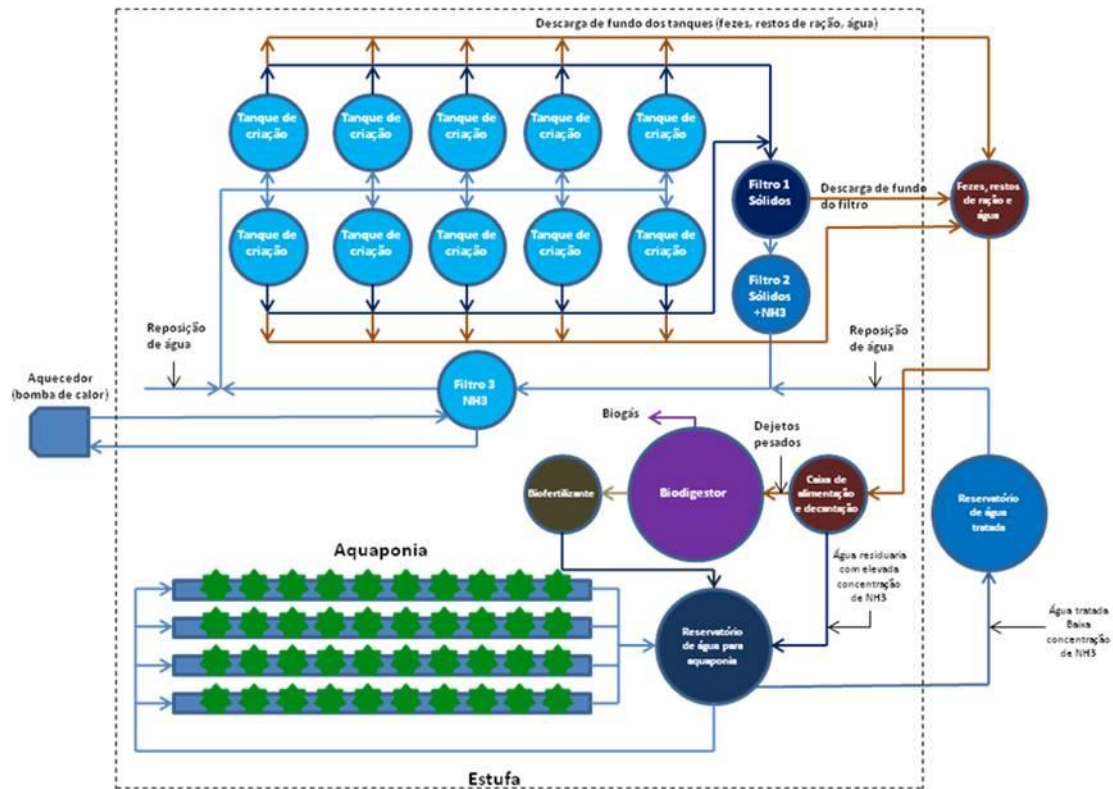


Figura 5. Esquema básico de funcionamento geral do sistema.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

O sistema foi colocado em operação em 21 de maio de 2012 e está em operação desde então. Os resultados apresentados referem-se a observações realizadas de maio a dezembro de 2012.

Os resultados iniciais tem demonstrado a viabilidade técnica do sistema proposto. A média de alojamento foi de 90 alevinos em cada tanque de criação, resultando em uma densidade média de 180 peixes por metro cúbico de água. Os níveis de amônia tem se mantido em condições aceitáveis, por volta de $0,25 \text{ mg L}^{-1}$ de amônia total e $0,002 \text{ mg L}^{-1}$ de amônia tóxica. A baixa concentração de amônia demonstra que o sistema de filtragem tem funcionado de forma satisfatória. O pH tem sido mantido entre 6,8 e 7, sendo feita correção com a adição de silicato de alumínio quando necessário.

O sistema de filtragem de acordo com o relatado por Jordan et al. (2011) é um dos gargalos técnicos do sistema de criação intensiva com recirculação. No trabalho desses autores foram relatados níveis de amônia tóxica críticos, acima de $0,04 \text{ mg L}^{-1}$ ($6,5 \text{ mg L}^{-1}$ de amônia total) a partir da 9ª semana, com uma densidade populacional de 91 tilápias por metro cúbico de água e alimentação diária na base de 2% peso médio dos peixes.

De acordo com Boyd e Tucker (1998) os limites máximos de nitrogênio na forma de amônia total em viveiros de aquicultura devem estar entre $0,4$ e $2,0 \text{ mg L}^{-1}$. EMATER-PR (2004), cita que uma concentração de amônia total de $0,5 \text{ mg L}^{-1}$ é a ideal para tilápias.

A Figura 6 mostra a escala de desenvolvimento dos peixes, o qual se deu de forma satisfatória no período avaliado, com resultados semelhantes aos obtidos por

Jordan et al. (2011). A conversão alimentar média nos primeiros 30 dias foi 1,03:1 um excelente resultado quando comparado ao obtido por Jordan et al. (2011), que foi de 1,16:1 em 9 semanas, o mesmo valor encontrado por EMATER (2004). A elevada conversão alimentar é explicada pelo fato dos peixes se alimentarem também de microalgas que crescem nos tanques, complementando assim a alimentação.

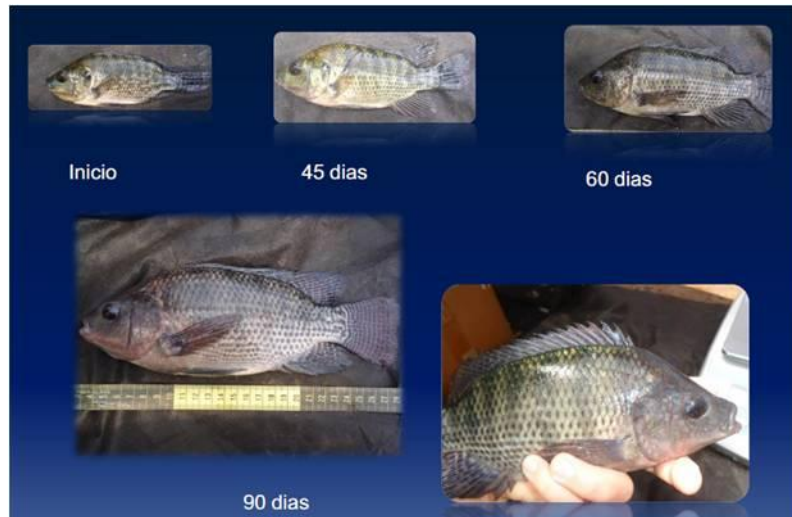


Figura 6. Escala de crescimento dos peixes.

A integração com a produção vegetal está produzindo excelentes resultados. O desenvolvimento das plantas tem sido satisfatório. Os resíduos da criação de tilápia fornecem os nutrientes necessários para a produção de alfaces, sem a necessidade de adição de fertilizantes químicos. A Figura 7 mostra a fotografia de um lote de alface vera após 21 dias do transplante. A cada 30 ou 35 dias são produzidos 200 pés.



Figura 7. Alface vera com 21 dias de transplante no sistema de aquaponia.

Nas duas primeiras semanas após o transplante, o tempo necessário para a concentração de amônia total ser reduzida para zero, permitindo o retorno da água para o sistema de criação de peixes, é 7 a 8 dias. A partir da terceira semana, com o crescimento das plantas e maior necessidade por nutrientes, esse tempo cai para 4 dias. A Figura 8 mostra o aspecto da água em várias fases do processo de tratamento: após ser coletada do sistema de criação (entrada do biodigestor); após a passagem pelo biodigestor (biofertilizante); e, após a passagem pelo sistema de aquaponia, em condições de retornar ao sistema de criação.



Entrada biodigestor

Saída biodigestor



Reservatório de água “filtrada” pelo sistema de aquaponia - pronta para reposição no sistema de criação intensiva.

Figura 8. Aspecto da água nas etapas de reciclagem para reuso no sistema de criação intensiva.

A respeito do consumo de água, antes da aquaponia entrar em operação, a média diária era de 360 litros, representando 5,5% da água que circula pelo sistema. Com a entrada da aquaponia em operação e a reciclagem da água de descarga de fundo dos tanques de criação para reposição no sistema, o consumo médio diário passou para 200 litros, aproximadamente 3% de toda a água que circula no sistema.

O gasto médio mensal com energia elétrica e ração nos meses com temperatura mais elevada, onde não foi necessário o uso de aquecimento, foi da ordem de R\$ 204,00. Nos meses mais frios (junho, julho e agosto), onde foi necessário o uso do sistema de aquecimento, o gasto médio mensal se elevou para R\$ 445,00 devido ao consumo de energia elétrica da bomba de calor e do sistema auxiliar, composto por uma resistência elétrica de 13 kW.

Pode-se verificar que o aquecimento foi o que mais pesou no custo operacional do sistema intensivo, tendo em vista a região onde se encontra implantado o projeto, com temperaturas muito próximas de zero no inverno, inclusive, com geadas. Assim, além da bomba de calor, outras opções para aquecimento foram avaliadas, como o uso de gás GLP e lenha.

No caso da lenha (Figura 9), ao invés do aquecimento da água, optou-se pelo aquecimento do ar da estufa. Neste caso, foi utilizado um sistema simples, com queima direta da lenha dentro da estufa, o qual evitou que a temperatura da água atingisse valores inferiores a 23 °C nos dias mais frios. Condição esta abaixo da ideal, que é 26 °C. Porém, melhor do que sem o aquecimento, onde a temperatura poderia atingir valores menores. Fato que aconteceu em um dia onde a temperatura ambiente esteve abaixo de 6 °C, o que levou o congelamento do evaporador da bomba de calor (Figura 10), afetando a sua capacidade, ocasionando a redução da temperatura dos tanques para 15 °C, o que foi quase fatal para a criação de peixes.



Figura 9. Queimador a lenha usado para aquecimento do ar da estufa no inverno.



Figura 10. Congelamento do evaporador da bomba de calor no inverno.

A situação de emergência criada pelo congelamento do evaporador da bomba de calor, levou ao uso da lenha, a qual depois foi considerada como uma opção. A

resistência elétrica de 13 kW como sistema auxiliar foi instalada posteriormente. Apesar de apresentar maior consumo de energia elétrica, tinha a comodidade de não necessitar de supervisão humana constante, por ser automatizada através de um controlador de temperatura.

A lenha utilizada foi proveniente de restos de construção. Assim, o custo envolvido foi o do transporte para a coleta do material. No entanto, na avaliação desta como uma opção de aquecimento considerou-se o custo da sua aquisição. A estimativa para o consumo de lenha e GLP foi baseada nos dados de consumo de energia elétrica do sistema de aquecimento instalado (bomba de calor e resistência elétrica), o qual teve o seu consumo medido durante o período.

Para as estimativas, considerou-se o COP da bomba de calor igual a 3, o poder calorífico da lenha igual a 18 MJ kg^{-1} , o poder calorífico do GLP igual a $48,16 \text{ MJ kg}^{-1}$ e o poder calorífico da energia elétrica igual a $3,6 \text{ MJ kW}^{-1}$. Foi considerado o preço do botijão de GLP de 13 kg no mercado local, que é R\$ 48,00. Para a lenha, considerou-se a madeira de eucalipto a um preço de R\$ 50,00 por metro cúbico estereo (aproximadamente 500 kg). Para a energia elétrica, foi considerada uma tarifa rural, no valor de R\$ 0,20 por kWh.

Considerando a situação onde o evaporador da bomba de calor não congelasse, ou seja, o aquecimento fornecido pela resistência elétrica, seria também fornecido pela bomba de calor, o custo de aquecimento seria de R\$ 1,22 por quilograma de peixe produzido. Para a lenha o custo seria de R\$ 0,36 por quilograma de peixe produzido e, para o GLP, este custo seria de R\$ 5,05 por kg de peixe produzido.

Como pode ser observado, o GLP seria uma opção muito cara e economicamente inviável, tendo em vista que o custo da criação convencional (em tanques escavados) gira em torno de R\$ 2,90 por quilograma de peixe produzido (Rodrigues et al., 2011).

A lenha com um queimador de baixo custo e baixa tecnologia em termos de controle se mostrou a opção mais barata para aquecimento no inverno. Porém, tal como foi testado, justamente pela falta de automação, apresentou o inconveniente de necessitar de supervisão para verificação da temperatura e realização de alimentação. Custo este que não foi computado, levando-se em consideração a adoção pela agricultura familiar, onde membros de uma família se revezariam na operação do sistema.

A bomba de calor, apesar de ter apresentado um custo de aquecimento 3,4 vezes maior que o da lenha, tem a vantagem de ser totalmente automatizada, dispensando a necessidade de supervisão. Porém, para aplicações em regiões mais frias, o projeto desse equipamento deve considerar o uso de um evaporador com maior distanciamento entre as aletas, para evitar congelamento e bloqueio do evaporador. A utilização de um sistema de degelo, semelhante ao adotado em evaporadores de câmaras frias também colaboraria para diminuir o problema de congelamento no inverno.

Na região onde o projeto está implantado, durante o período avaliado, o aquecimento se mostrou necessário nos meses de junho, julho, agosto e setembro. Nos demais meses, onde o aquecimento não foi necessário, o gasto com energia limitou-se apenas aos sistemas de bombeamento e oxigenação, fazendo com que o custo de produção (energia elétrica, ração e alevinos), fosse de R\$ 4,91 por quilograma de peixe. Se considerarmos o inverno com as seguintes situações: bomba de calor, lenha e GLP; teremos, respectivamente, os seguintes custos de produção (R\$/kg de peixe): 6,13; 5,27 e 9,96.

Fica evidente o quanto do custo da climatização (aquecimento) impacta sobre o custo de produção. Porém, deve-se levar em consideração que as criações convencionais, por serem abertas e dependerem das condições ambientais, param durante o inverno em várias regiões do Brasil, implicando em uma elevação no valor da carne de algumas espécies, como é o caso da tilápia, devido a baixa oferta.

O aquecimento solar, não explorado nesse trabalho pode ser uma opção. Porém, assim como o observado para o condensador da bomba de calor, o contato direto com a água da criação é problemático, ocorrendo entupimento por deposição, devido a elevada quantidade de sólidos em suspensão na água, aumentando o número de intervenções para limpeza. Assim, deve ser avaliado o uso de trocadores intermediários, o que por outro lado aumentaria o custo da instalação ou, o aquecimento do ar da estufa ao invés da água, como uma forma de contornar esse problema.

Além da climatização (aquecimento), pesou a favor do elevado custo de produção do sistema intensivo avaliado em relação ao sistema convencional, o superdimensionamento do sistema de recirculação de água, o qual foi montado com bombas de elevada potencia, cerca de 4 vezes a necessidade real de bombeamento (vazão necessária). Isto foi devido ao fato do sistema ter sido montado com sobras de equipamentos de outros projetos e doações. Considerando a otimização do sistema de bombeamento o custo médio mensal da energia elétrica para esta finalidade, que foi de R\$ 119,00, seria reduzido para pouco menos de R\$ 32,00. Com isto o custo mensal médio nos meses sem necessidade de aquecimento, seria reduzido para R\$ 117,00, resultando em um custo de produção (alevinos, ração e energia elétrica) de R\$ 2,78 por quilograma de peixe vivo, competitivo com o sistema convencional. Considerando o uso de lenha para o aquecimento no inverno o custo de produção seria de R\$ 3,14 por quilograma de peixe vivo produzido.

Considerando o período de um ano, dois ciclos produtivos de 6 meses, o custo anual de produção da estufa de peixes (alevinos, mudas, ração, energia elétrica, lenha para aquecimento) seria de aproximadamente R\$ 1.800,00 para uma produção anual de 512 kg de peixe vivo (256 kg por ciclo) que, se comercializados diretamente para o consumidor final a um preço médio de R\$ 6,25 o quilograma, a receita bruta anual seria de R\$ 3.200,00.

Para cada quilograma de peixe são produzidas 4 cabeças de alface, resultando em uma produção anual de aproximadamente 2048 cabeças. Considerando a comercialização direta da alface para o consumidor final no valor de R\$ 2,00 a cabeça, a receita anual seria de R\$ 4.096,00. Ou seja, a produção vegetal é capaz de custear a produção de peixes e ainda gerar lucro.

Somadas, a produção animal e vegetal, gerariam, anualmente, uma receita bruta de R\$ 7.296,00. Descontando-se o custo anual, a receita líquida obtida em um espaço de 100 m², seria de aproximadamente R\$ 5.496,00, resultando em uma lucratividade de R\$ 54,96 m² ano⁻¹. Numa criação convencional a lucratividade seria de R\$ 3,77 m⁻² ano⁻¹ (Rodrigues et al., 2011). O investimento na estrutura montada foi de R\$ 13 mil reais, considerando a aquisição de um aquecedor a lenha no valor de R\$ 3 mil reais, o custo total da estrutura seria de R\$ 15 mil reais. Assim, o retorno do capital investido, para um payback simples, seria de 2,73 anos.

Outra questão importante, relacionada a manutenção da temperatura nos níveis ideais para um bom desenvolvimento das tilápias (26 a 28 °C), está no tipo de abrigo para os tanques de criação. A estufa fechada, modelo adotado de um experimento com criação intensiva realizado em Campinas-SP (Jordan et al., 2011), não se mostrou muito adequada ao verão extremamente quente do estado de Mato

Grosso do Sul, ocasionando elevação da temperatura da água dos tanques de criação para valores acima de 30 °C durante o mês de dezembro, obrigando a instalação de um conjunto de 6 motoventiladores de 0,33 cv em uma das laterais e a abertura da lateral oposta para circulação de ar. A operação dos ventiladores implicou em um custo mensal adicional de aproximadamente R\$ 119,00.

Com finalidade de manter a temperatura da água em níveis ótimos com o mínimo custo, deve ser levado em consideração as condições climáticas do local onde será implantada a criação intensiva, para que o modelo de construção adotado utilize o mínimo de energia para manutenção da temperatura. Para o local em questão, talvez o mais adequado fosse a cobertura da parte superior da estufa com telhas de fibrocimento e o fechamento lateral com telas de aviário e cortinas retráteis, semelhantes as utilizadas na avicultura de corte, que podem ser abertas ou fechadas para auxiliar no controle de temperatura.

O biogás produzido pelo biodigestor ainda não está sendo aproveitado, o que deverá ocorrer em uma fase posterior. Estimativas iniciais mostram que o biogás produzido conseguiria suprir metade da demanda energética para bombeamento de água e oxigenação dos tanques. Estudos para quantificar melhor a produção de biogás com relação as condições de operação estão em andamento.

CONCLUSÕES

Os resultados preliminares obtidos tem demonstrado a viabilidade técnica do sistema de criação intensiva. Ao contrário do que relatam outros autores a amônia até então não tem sido um problema, o que demonstra o funcionamento satisfatório dos filtros biológicos.

O desenvolvimento das plantas no sistema de aquaponia foi satisfatório, não necessitando de adição de fertilizantes químicos, o que demonstra que a água fertilizada pelos peixes fornece os nutrientes necessários. A aquaponia também se mostrou eficiente como meio de tratamento da água residuária gerada pela criação, possibilitando o seu reaproveitamento no sistema.

É necessário realizar uma otimização no sistema, visando reduzir o consumo de energia, melhorando o seu funcionamento do ponto de vista energético econômico e ambiental.

O sistema de climatização apresentou forte impacto no custo de produção, influenciando diretamente sobre a viabilidade econômica, tendo em vista a importância da temperatura para o bom desenvolvimento dos peixes em um menor tempo possível.

LITERATURA CITADA

BALDASSIN JR, R.; CORTEZ, L. A. B; JORDAN, R. A.; NEVES FILHO, L. C.; SILVEIRA JR, V.; PACCO, H. C. A viabilidade econômica da aplicação de bombas de calor no aquecimento de piscinas. Anais do X Congresso Brasileiro de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação, Aquecimento e Tratamento do Ar. São Paulo, SP. 18 a 21 de setembro de 2007, p. 311-323, 2007.

BOYD, C. E.; TUCKER, C. S. Pond aquaculture water quality management. Boston: Kluwer, 700 p. 1998.

CORTEZ, L. A. B.; NEVES FILHO L. C. Aplicação de bombas de calor na agricultura e na agroindústria brasileira. Anais do III Congresso Nacional de Energia. La Serena, Chile. 17-19 de abril de 1996. p. 337-343.

CORTEZ, G. E. P.; ARAÚJO, J. A. C.; BELLINGIERI, P. A.; DALRI, A. B. Qualidade química da água residual da criação de peixes para cultivo de alface em hidroponia. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.13, n.4, p.494-498, 2009.

EMATER-PR. Instituto Paranaense de Assistência Técnica e Extensão Rural. Modelo Emater de produção de tilápia. 2004. Disponível em http://www.emater.pr.gov.br/arquivos/File/Comunicacao/Premio_Extensao_Rural/1_Premio_2005/ModeloEmaterProd_Tilapia.pdf. Acesso em: 7 ago. 2012.

HOQUE, S.; WEBB, J. B.; DANYLCHUK, A. Building integrated aquaculture. ASHRAE Journal, February 2012, p. 16-24, 2012.

JORDAN, R. A.; CORTEZ, L. A. B.; BALDASSIN JR, R.; NEVES FILHO, L. C.; SILVEIRA JR, V.; SCORVO, J. D.; FRASCÁ-SCORVO, C. M. D.; RIGOLINO, M. G.; TABATA, Y. A. Bomba de calor de duplo efeito térmico aplicada em um sistema com recirculação de água para a criação de peixes tropicais e de águas frias. Anais do XII Congresso Brasileiro de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação, Aquecimento e Tratamento do Ar. São Paulo, SP. 20 a 23 de setembro de 2011, p. 207- 221, 2011.

RODRIGUES, L. M.; ROMERO, E. A.; MAGGIONI, D. Retorno econômico da tilapicultura: estudo de caso em propriedade rural do Município de Campo Mourão. Campo Digit@l, v.6, n.1, p.61-70, Campo Mourão, Jan/Jul., 2011.

SCHMIDT-NIELSEN, K. Animal physiology: adaptation and environment, 5th ed. Cambridge University Press, Cambridge, 607 pp, 1997.

SONODA, D. Y. Análise econômica de sistemas alternativos de produção de tilápias em tanques redes para diferentes mercados. Dissertação de Mestrado em Ciências, Área de Concentração: Economia Aplicada, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", USP, 2002.