

## Avanços recentes na operação de raceways super-intensivos dominados por bioflocos e com renovação zero para a produção do camarão branco do Pacífico, *Litopenaeus vannamei*

Tzachi M. Samocha<sup>1</sup>, Timothy C. Morris<sup>1</sup>, Jong Sheek Kim<sup>2</sup>, Eudes S. Correia<sup>3</sup>, e Bob Advent<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Texas AgriLife Research, AgriLife Research Mariculture Laboratory, 4301 Waldron Rd., Corpus Christi, Texas 78418, EUA. Ph: 361-937-2268; eFax: 253-390-6081; email: t-samocha@tamu.edu

<sup>2</sup>West Sea Mariculture Center, NFRDI, República da Coréia

<sup>3</sup>Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, Brasil

<sup>4</sup>Advanced Industrial Aeration, Tampa, Flórida, EUA

A produção mundial total de camarão, tanto da pesca como da aquicultura, tem aumentado nas últimas quatro décadas, atingindo mais de 4,2 milhões de toneladas em 2002. Em 2004, mais de 41% (2,5 milhões de toneladas) da produção mundial de camarão veio do cultivo. Uma grande parte dessa produção (cerca de 47%) foi do cultivo do camarão branco do Pacífico, *Litopenaeus vannamei* (FAO, 2004). Tradicionalmente, a produção de camarão em viveiros semi-intensivos requer renovações de água diárias de 10% ou mais para manter a qualidade da água (Hopkins et al, 1993; Moss et al, 1999).

A questão da descarga de efluentes dos viveiros tem sido abordada, em parte, através da redução das renovações de água, do manejo de resíduos orgânicos, e incentivando a ciclagem de nutrientes dentro dos viveiros. Estudos em viveiros mostraram que o camarão pode ser cultivado com uma renovação de água reduzida (Hopkins et al, 1996) com bons resultados. Houve também interesse no desenvolvimento de sistemas internos de aquicultura com recirculação (SAR) para a produção intensiva do camarão. A combinação da produção de camarão sem renovação de água e o SAR evoluiu para o que hoje é comumente referido como tecnologia “biofloc”. Estes sistemas utilizam os processos bioquímicos de microrganismos nativos para regular os ciclos de nutrientes e seus efeitos sobre o desempenho do camarão. Uma das características destes sistemas é o desenvolvimento de bioflocos microbianos que normalmente se formam dentro de seis a sete semanas após o povoamento (Browdy et al, 2001a; McIntosh, 2001).

Além de bactérias heterotróficas e autotróficas, os bioflocos que se desenvolvem na presença da luz natural também contém microalgas. Sob a estratégia de manejo de renovação zero de água, o uso diário de ração para alimentar o camarão resulta numa produção continuada de bioflocos no meio de cultivo, os quais tem a capacidade de desintoxicar a amônia e o nitrito, além de fornecer alimentação suplementar para os organismos de cultivo (Avnimelech, 1999; Burford et al, 2004; Avnimelech, 2006; Ebeling et al, 2006; Wasielesky et al, 2006; Schryver et al, 2008). Embora os bioflocos sejam insuficientes para sustentar o crescimento sem a adição de ração, sua presença aumenta significativamente as taxas de crescimento, ganho de peso e reduz o FCA em comparação com a água oligotrófica (Wasielesky et al, 2006; Richardson et al, 2011).



Injetor Venturi

Esforços recentes por parte do Programa dos Estados Unidos para o Cultivo de Camarão Marinho (USMSFP) têm focado no desenvolvimento do protótipo para um sistema super-intensivo de produção de camarão em estufa fechada e com renovação mínima de água (Bullis e Pruder, 1998). Estes testes são realizados principalmente em raceways abrigados em estufas fechadas, no Oceanic Institute, do Havaí; no Waddell Mariculture Center, da Carolina do Sul; no Gulf Coast Research Lab, do Mississippi, e no Texas AgriLife Research Mariculture Lab, em Corpus Christi, Texas. Os sistemas, que são administrados com uma renovação de água mínima, reduzem o impacto ambiental sem comprometer a qualidade da água e a produção de camarão (Browdy et al, 2001b; Samocha et al, 2002; Hargreaves, 2006; Mishra et al, 2008). O uso de pós-larvas livres de patógenos virais específicos (SPF) nestes sistemas internos operados sem renovação de água,

aumenta significativamente a biossegurança e minimiza perdas de produção (Lotz e Lightner, 2000).

O USMSFP continua desenvolvendo estes sistemas porque eles usam muito menos área que o cultivo tradicional em viveiros tradicionais, e proporcionam um excelente modelo para desenvolvimento da aquicultura sustentável nos Estados Unidos. O objetivo principal deste programa é desenvolver uma unidade de produção super-intensiva de camarão, que poderia ser localizada perto de mercados de nicho lucrativos, fornecendo-lhes camarão fresco o ano inteiro. No entanto, antes que este objetivo possa ser realizado, pesquisas adicionais são necessárias para abordar algumas das limitações desta tecnologia emergente. Por exemplo: quando os bioflocos não são controlados, o aumento da concentração pode afetar negativamente o desempenho do sistema podendo causar problemas nas brânquias do camarão e um aumento da demanda de oxigênio.

O excesso de bioflocos pode ser removido por filtração mecânica, biológica (por exemplo, com tilápia, bivalves), sedimentação, ou por fracionadores de espuma. Este último, também conhecido como skimmers, remove resíduos orgânicos dissolvidos ou particulados, usando pequenas bolhas de ar (Sun e Wu, 2008). Estes dispositivos são usados rotineiramente no SAR, porém, quando utilizados para remover flocos bacterianos, existe o risco de remover alguns ou todos os benefícios derivados dessas bactérias (Handy et al, 2004). Além da necessidade de identificar métodos eficientes e de custo eficaz para o manejo do biofoco, algumas outras áreas que precisam ser desenvolvidas são: mistura da água de cultivo, aeração, uso suplementar de oxigênio e redução das necessidades de energia elétrica para esses sistemas. O que se segue é um breve resumo de quatro estudos de produção de camarão com tecnologia

biofoco realizados entre 2007 e 2010.

Inicialmente, um estudo de 94 dias de cultivo foi realizado em 2007 para comparar a eficácia entre tanques de sedimentação e fracionadores de espuma em controlar o acúmulo de material particulado em quatro raceways de 40 m<sup>3</sup> abrigados em estufas e revestidos com monômero de etileno propileno-dieno (EPDM). Cada raceway foi equipado com uma divisória central longitudinal posicionada sobre um tubo de PVC de 2 polegadas, com bicos de pulverização, além de seis grupos de três airlifts posicionados equidistantemente em ambos os lados da divisória. Além disso, cada raceway tinha seis difusores de ar e uma bomba centrífuga de 2,0 HP com um injetor capaz de misturar água do raceway com o ar atmosférico, ou uma mistura de oxigênio e ar.

Cada raceway também estava equipado com um multiparâmetro YSI 5200 para monitoramento contínuo do oxigênio dissolvido. Todos os quatro raceways foram abastecidos com água (usada anteriormente em um estudo de berçários de 77 dias) e povoados com juvenis (1,25 ± 0,17g) do camarão branco do Pacífico em uma densidade de 530/m<sup>3</sup>, os quais foram alimentados com uma ração comercial (Hyper-Intensive, Zeigler Bros) contendo 35% PB. As doses diárias foram ajustadas presumindo um FCA de 1,4, um crescimento de 1,2 g/semana e taxa de mortalidade de 0,5%/semana. Ao contrário de práticas de alimentação que defendem alimentar o camarão com um percentual da biomassa total estimada de camarão, essa estratégia de alimentação resultou em uma redução gradual da ração diária de cerca de 5,0 kg/RW/dia durante a 1ª semana do estudo para 4,8 kg/raceway/dia durante a última semana do estudo.

Água doce foi adicionada semanalmente para compensar as perdas por evaporação. Para controlar o material particulado,

**Tabela 1. Variáveis físico-químicas da água entre os tratamentos**

Variáveis	Fracionadores de Espuma	Tanques de Sedimentação
Temperatura (°C)	29,3	29,3
Salinidade (ppt)	30,6	30,6
pH	6,8	6,8
OD (mg/L)	5,0	5,0
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	0,17	0,16
NO <sub>2</sub> -N (mg/L)	0,35	0,30
NO <sub>3</sub> -N (mg/L)	267	220
cBOD <sub>5</sub> (mg/L)	25	27
Fósforo Reativo (mg/L)	17	17
SST (mg/L)	502	434
SSV (mg/L)	236	202
Sólidos Sedimentáveis (mg/L)	15,0	14,1
Turbidez (NTU)	219	213

dois raceways foram equipados com um fracionador de espuma artesanal alimentado por uma bomba de 1,0 HP. Os outros dois raceways foram equipados com um tanque de sedimentação cilíndrico-cônico, com um volume de trabalho de 4,9 m<sup>3</sup> de água. Os tanques de sedimentação e fracionadores de espuma começaram a operar no 29º dia, com os níveis de Sólidos Suspensos Totais

camarão cerca de 7 kg/m<sup>3</sup>), a demanda de oxigênio foi atendida apenas pelos airlifts, difusores de ar e injetores Venturi acionados por bombas e operados com ar atmosférico. Isto sugere que uma carga de biomassa de camarão de cerca de 7 kg/m<sup>3</sup> pode ser mantida utilizando um injetor Venturi acionado por uma bomba e ar atmosférico.

**Tabela 2. Desempenho de *L. vannamei* durante 94 dias de cultivo em Raceways abrigados em estufa e povoados com 530 juvenis (1,25 g)/m<sup>3</sup> e operados com renovação zero de água**

Tanque ID	Peso médio (g)	Cresc. (g/sem)	Sobrev. (%)	Rend. (kg/m <sup>3</sup> )	FCA	Uso de O <sub>2</sub> (LPM)*
RW 1-ST	18,4	1,32	88,3	9,29	1,21	3,5
RW 2-FF	17,4	1,22	80,5	8,57	1,40	3,5
RW 3-FF	17,3	1,30	80,5	7,92	1,30	3,5
RW 4-ST	18,5	1,23	80,0	8,63	1,36	3,5

\*Dias 74-94 (despesca)

(SST) de 500 mg/L, numa vazão de 4 LPM, até o 79º dia, quando os níveis de caíram abaixo de 175 mg/L. Os valores médios das variáveis físico-químicas observadas durante o estudo constam da Tabela 1.

O peso médio dos camarões cultivados nos raceways operados com Tanques de Sedimentação foi significativamente maior do que aqueles cultivados nos Fracionadores de Espuma. Não houve diferenças estatisticamente significativas no rendimento total, sobrevivência, crescimento ou entre os dois tratamentos, conforme pode ser observado na Tabela 2.

A partir do 74º dia, o ar atmosférico foi enriquecido com oxigênio puro, a uma taxa de 3,5 LPM. Até o 73º (carga de biomassa de

Em 2009, um segundo estudo foi realizado para determinar se skimmers menores, operando em uma base mais contínua, poderiam ou não ser utilizados para minimizar as diferenças no peso final do camarão entre os dois tratamentos observados em 2007.

O estudo de 108 dias foi realizado nos mesmos quatro raceways de 40 m<sup>3</sup> utilizados no experimento anterior, os quais foram abastecidos com água de berçário utilizada em um estudo prévio de 62 dias, e povoados com 450 camarões/m<sup>3</sup>. As médias da temperatura da água, salinidade, pH e OD podem ser verificadas na Tabela 3, assim como os valores médios para o NAT, NO<sub>2</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N, cBOD<sub>5</sub>, fósforo reativo, SST e SSV para os

**Tabela 3. Variáveis físico-químicas da água**

Variáveis	Fracionadores de Espuma	Tanques de Sedimentação
Temperatura (°C)	29,4	29,4
Salinidade (ppt)	33,0	33,0
pH	7,3	7,3
OD (mg/L)	4,8	4,8
NO <sub>2</sub> -N (mg/L)	0,10	0,11
NO <sub>3</sub> -N (mg/L)	0,02	0,01
cBOD <sub>5</sub> (mg/L)	74	120
Fósforo Reativo (mg/L)	35	33
SST (mg/L)	588	458
SSV (mg/L)	414	349
Sólidos Sedimentáveis (mg/L)	49	33
Turbidez (NTU)	307	276
Algas (organismos/mL)	75 x 10 <sup>4</sup>	53 x 10 <sup>4</sup>

raceways operados com Fracionadores de Espuma e Tanques de Sedimentação, respectivamente.

Pequenas diferenças de sólidos sedimentáveis e turbidez foram encontradas entre os tratamentos. Bicarbonato de sódio foi adicionado aos raceways regularmente para manter a alcalinidade em 160 mg/L CaCO<sub>3</sub>, no entanto, os níveis médios

férico, eliminando assim a necessidade de suplementação de oxigênio puro.

Injetores Taeration<sup>®</sup> são atualmente utilizados em diversas instalações de tratamento de águas residuárias nos Estados Unidos, exigindo menos manutenção e uso de energia em comparação com alternativas de oxigenação. Esta tecnologia

**Tabela 4. Resumos do estudo de cultivo de 108 dias (2009) com *Litopenaeus vannamei* RWs povoados com juvenis (0,99 g) at 450/m<sup>3</sup> com renovação de água zero.**

Tanque ID	Peso médio (g/sem)	Cresc. (%)	Sobrev. (kg/m <sup>3</sup> )	Rend. (LPM)*	FCA	Uso de O <sub>2</sub>
RW 1-ST	21,96	1,36	94,5	9,34	1,60	0,19
RW 2-FF	22,51	1,35	96,9	9,51	1,53	0,36
RW 3-FF	22,40	1,39	96,3	9,75	1,57	0,19
RW 4-ST	21,81	1,39	94,5	9,52	1,57	0,16

\*Dias 101-108 (despesca)

foram significativamente menores, 124 mg/L vs 129 mg/L, entre os tratamentos, respectivamente. Água doce foi adicionada semanalmente para compensar as perdas por evaporação. Tanques de sedimentação e skimmers foram operados de forma intermitente desde o 23º dia almejando concentrações de SST entre 400 e 600 mg/L nas águas de cultivo.

Os resultados deste estudo não mostraram diferenças significativas no peso final do camarão entre os tratamentos. Portanto, concluiu-se que a capacidade de operar os skimmers menores em um ritmo mais controlado proporcionava um melhor ambiente para o camarão. Além disso, não houve diferença estatisticamente significativa no crescimento do camarão, no peso médio final, rendimento, FCA e uso da água entre os tratamentos, conforme Tabela 4.

Embora a alimentação e o manejo da ração durante este estudo tenham sido ligeiramente diferentes daqueles usados no estudo de 2007 o que resultou numa maior quantidade de ração oferecida para o camarão, a suplementação de oxigênio foi significativamente menor com um rendimento melhor (rendimento total de 9,53 kg camarão/m<sup>3</sup> vs 8,6 kg/m<sup>3</sup>). Além dos estudos de 2007 e 2009, muitos estudos prévios em raceways no Texas AgriLife têm utilizado o sistema Venturi acionado por uma bomba para misturar e oxigenar a água do cultivo com circulação adicional e mistura sendo fornecida por airlifts e difusores de ar. Este sistema tem funcionado bem em inúmeros estudos de cultivo no passado. No entanto, numa tentativa de diminuir os custos de produção, reduzindo o uso de oxigênio suplementar e energia elétrica, temos testado recentemente um injetor alternativo ao injetor Venturi. Nosso objetivo era determinar se esses injetores poderiam atender a demanda de oxigênio desses sistemas de raceways utilizando o ar atmos-



Fracionador de espuma caseiro

**Tabela 5. Variáveis físico-químicas da água durante 87 dias de cultivo com 270 juvenis/m<sup>3</sup> de *L. vannamei* em raceways abrigados em estufa e utilizando injetores Taeration® para aeração e fracionamento de espuma.**

Variáveis	Injetores Taeration
Temperatura (°C)	30,0
Salinidade (ppt)	30,8
pH	7,0
OD (mg/L)	5,8
Nitrogênio Amoniacal	< 0,5
NO <sub>2</sub> -N (mg/L)	< 0,5
NO <sub>3</sub> -N (mg/L)	61 - 400

**Tabela 6. Resumo do estudo de cultivo de 87 dias (2010) com juvenis (8,5 g) *Litopenaeus vannamei* em dois raceways de 100 m<sup>3</sup> enchidas com 80 m<sup>3</sup> de água e povoadas numa densidade de 270/m<sup>3</sup> utilizando injetores Taeration® para aeração e fracionamento de espuma.**

Tanque ID	Peso médio (g)	Cresc. (g/sem)	Sobrev. (%)	Rend. (kg/m <sup>3</sup> )	FCA	Uso de O <sub>2</sub>
RW 1	25,68	1,38	89,5	6,25	2,56	0
RW2	26,58	1,45	90,8	6,56	2,36	0



Raceway de 100m<sup>3</sup> operado com sistema Taeration®.



Biofloc consolidado com fracionador de espuma

pode ser transferida com sucesso para sistemas de bioflocos e outros tipos de aquicultura. De acordo com as especificações do fabricante, o injetor Taeration® fornece uma proporção de ar/água de 3:1. Em contraste, o nosso sistema Venturi atual fornece uma proporção de mistura de <1:1 e exige suplementação de oxigênio puro numa carga de biomassa elevada (> 7 kg/m<sup>3</sup>).

Em 2009, iniciamos um teste preliminar de um mês de duração com o sistema Taeration®, utilizando uma bomba de 2,0 HP. Um raceway de 40 m<sup>3</sup> foi preenchido com água com 170 dias de uso de um estudo anterior, rica em bioflocos, e povoado com camarões de 21,9 g numa densidade de 403/m<sup>3</sup> (8,8 kg/m<sup>3</sup>). Os camarões foram então cultivados por 38 dias atingindo um peso médio de 25,2 g e uma biomassa final de 9,59 kg/m<sup>3</sup>. Além de manter

os níveis de OD perto da saturação, os injetores foram capazes de fornecer uma mistura adequada em toda a coluna d'água, eliminando assim a necessidade de sopradores/compressores de ar, difusores de ar e airlifts.

Em 2010, novos testes com o injetor Taeration® foram realizados para: 1. Avaliar a capacidade de um dispositivo novo em manter níveis adequados de OD em um sistema de raceways super-intensivo com renovação zero, sem o uso de oxigênio puro; 2. Avaliar a capacidade do dispositivo para manter partículas em suspensão sem a utilização de airlifts ou difusores de ar; 3. Avaliar o efeito do dispositivo sobre o desempenho do camarão durante o período de cultivo; e 4. Avaliar se um skimmer operado com um bico injetor Taeration® pode ser usado para controlar a

concentração de partículas em suspensão no ambiente de cultivo.

Um estudo de 87 dias foi realizado em dois recém-construídos raceways revestidos com EPDM (dimensões: 34 m de comprimento x 3 m de largura) e abastecidos com uma mistura de água do mar (50 m<sup>3</sup>) e água rica em bioflocos (30 m<sup>3</sup>). Para suprir a demanda por aeração, e mistura e circulação da água, um total de 14 bicos não-Venturi foram posicionados em paralelo à direção do fluxo ao longo da parte inferior da lateral de cada raceway. Além disso, um bico foi utilizado para alimentar um fracionador de espuma artesanal para permitir a remoção de partículas e matéria orgânica dissolvida. Duas bombas foram utilizadas para alimentar os 15 bicos injetores em cada raceway, tendo estes sido povoados com camarões de 8,5 g numa densidade de 270/m<sup>3</sup> (213/m<sup>2</sup>). Os camarões foram alimentados com uma dieta comercial (Hyper-Intensive, Zeigler Bros) contendo 35% PB. Água doce foi adicionada semanalmente (equivalente a 0,1m<sup>3</sup>/d) para manter a salinidade, e os RWs foram mantidos sem renovação de água.

Cada RW foi equipado com um sistema de monitoramento de OD. As médias da temperatura da água, salinidade, pH e OD, NAT, NO<sub>2</sub>-N e NO<sub>3</sub>-N podem ser observadas na Tabela 5, enquanto que os dados zootécnicos estão apresentados na Tabela 6.

Este estudo mostrou que os injetores Taeration® foram capazes de manter níveis de oxigênio dissolvido próximos da saturação sem suplementação de oxigênio puro ou uso de alimentadores automáticos numa biomassa final de 6,4 kg/m<sup>3</sup>. O uso deste sistema de aeração permitiu uma boa mistura e suspensão de partículas no ambiente de cultivo. Além disso, os injetores usados para operar foram adequados para manter as partículas nos raceways, abaixo dos níveis pretendidos de SST de 400 mg/L.

Os resultados sugerem que o sistema Taeration® pode eli-



Prof. Eudes Correia junto a tanque de oxigênio líquido e cilindros de gás (ao fundo)



Injetor Taeration®

minar a necessidade de dispositivo Venturi, ou outros, para a manutenção do OD e homogeneidade da água de cultivo. Com base nos resultados dos estudos de produção, se conclui que uma biomassa de 8-9 kg/m<sup>3</sup> seja o suficiente para sustentar um cultivo comercial.

No entanto, pesquisas adicionais são necessárias para melhorar a tecnologia super-intensiva de produção de camarão com renovação zero de forma a reduzir ainda mais os custos de produção. Atualmente, a Texas AgriLife pretende adotar o controle de bioflocos, redução de dependência na suplementação de oxigênio, desnitrificação, etc., tornando assim esses sistemas mais competitivos e lucrativos.

**Bibliografia: Disponível na ABCC**