

MARCELO AUGUSTO SOARES REGO

**ANÁLISE DE VIABILIDADE, RISCO E EFICIÊNCIA DA INSERÇÃO DA
TECNOLOGIA DE BIOFLOCOS PARA O CULTIVO DO CAMARÃO MARINHO
Litopenaeus vannamei NO NORDESTE DO BRASIL**

**RECIFE,
2016**



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS PESQUEIROS E AQUICULTURA

**ANÁLISE DE VIABILIDADE, RISCO E EFICIÊNCIA DA INSERÇÃO DA
TECNOLOGIA DE BIOFLOCOS PARA O CULTIVO DO CAMARÃO MARINHO**
Litopenaeus vannamei NO NORDESTE DO BRASIL

Marcelo Augusto Soares Rego

Tese julgada e aprovada pelo Programa de Pós-Graduação em Recursos Pesqueiros e Aquicultura da Universidade Federal Rural de Pernambuco como parte das exigências para obtenção do título de Doutor.

Prof. Dr. Silvio Ricardo Maurano Peixoto
Orientador

Recife,
Fevereiro/2016

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS PESQUEIROS E AQUICULTURA

**ANÁLISE DE VIABILIDADE, RISCO E EFICIÊNCIA DA INSERÇÃO DA
TECNOLOGIA DE BIOFLOCOS PARA O CULTIVO DO CAMARÃO MARINHO**
***Litopenaeus vannamei* NO NORDESTE DO BRASIL**

Marcelo Augusto Soares Rego

Tese julgada para obtenção do título de doutor em
Recursos Pesqueiros e Aquicultura em
25/02/2016 pela seguinte Banca Examinadora.

Prof. Dr. Silvio Ricardo Maurano Peixoto
(Orientador)

[Departamento de Pesca e Aquicultura – DEPAq]
[Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE]

Prof. Dr. Omar Jorge Sabbag

[Departamento de Fitotecnia, Tecnologia de Alimentos e Sócio Economia]
[Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho – UNESP]

Prof. Dr. Yony de Sá Barreto Sampaio

[Departamento de Ciências Econômicas]
[Universidade Federal de Pernambuco – UFPE]

Prof. Dr. Luiz Flavio Arreguy Maia Filho

[Departamento de Economia]
[Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE]

Prof. Dr. Ronaldo Olivera Cavalli

[Departamento de Pesca e Aquicultura]
[Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE]

Prof. Dr. Luis Otávio Brito da Silva
[SUPLENTE]
[Instituto Agrônômico de Pernambuco - IPA]

Prof. Dr. Eudes de Souza Correia
[SUPLENTE]
[Departamento de Pesca e Aquicultura]
[Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE]

Dedicatória

Dedico este trabalho aos meus pais, Eliane e Edmilson,
pessoas maravilhosas na minha vida.

Agradecimentos

Primeiramente a Deus, por estar presente em todos os momentos da minha vida;

À Universidade Federal Rural de Pernambuco e ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Pesqueiros e Aquicultura;

Aos professores do programa de pós-graduação que contribuíram na minha formação pessoal e profissional;

Ao Prof. Dr. Silvio Peixoto e a Prof^a. Dr^a. Roberta Soares, por estarem sempre de portas abertas para me receber e pela grande amizade. Agradeço muito a oportunidade que tive em ser orientado por vocês, os quais me guiaram nessa longa jornada acadêmica;

Ao Prof. Dr. Omar Sabbag pelo auxílio em todas as dúvidas nas análises econômicas, pela amizade e pelos ensinamentos pessoais e profissionais;

Ao amigo Jovencio Antonio da Silva Filho, por ter sido o meu “braço direito” na realização desse trabalho;

À “Aquacultura Campo Novo Ltda.”, na pessoa do Biólogo Felipe Ferreira e de todos os funcionários, pelo apoio e acolhida na disponibilização de suas instalações que possibilitaram a realização deste trabalho;

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de doutorado;

Ao Prof^o. Dr. Yony Sampaio (UFPE), ao Prof^o. Dr. Luiz Maia Filho (UFRPE) e ao Prof^o. Dr. Ronaldo Cavalli por aceitarem compor a banca examinadora;

A todos os meus amigos, que fazem parte da equipe do Laboratório de Tecnologia em Aquicultura (LTA), em especial ao amigo Euclides Pereira, que auxiliou na realização deste trabalho;

Aos amigos Luiz Eduardo Brito, Caio Leão e Lucas Vieira, pessoas que são muito importantes na minha vida, companheiros nos momentos de lazer e com quem eu posso contar sempre que precisar;

A Cecília Craveiro, por ter me ajudado durante a realização desse trabalho, por ser minha companheira e pelo apoio incondicional nos momentos difíceis e de alegria;

Aos meus pais, Eliane Maria Azevedo Soares e José Edmilson de Barros Wanderley Rego, com os quais eu tenho estímulo para conquistar todos os objetivos na vida;

A todos familiares, amigos, colegas, companheiros, que mesmo eu não citando aqui são muito importantes para mim.

Resumo

A tecnologia de bioflocos (BFT) é apontada como uma alternativa para o cultivo sustentável do camarão marinho *Litopenaeus vannamei*. Porém, existem dúvidas quanto ao seu retorno financeiro, no curto e no longo período de tempo, como também incertezas relacionadas à probabilidade de perdas diante de variações futuras nos principais índices econômicos e de desempenho zootécnico. Assim, objetivou-se com os estudos avaliar aspectos relacionados à viabilidade econômica, ao risco e a eficiência dos sistemas BFT e convencional em fazenda de criação de camarão do litoral sul do estado de Pernambuco. Para a obtenção das informações necessárias para as análises, utilizaram-se três viveiros (625 m² cada) forrados com polietileno de alta densidade (PEAD) operando nos moldes do sistema BFT e informações do sistema convencional da mesma fazenda. Na análise de investimento, os indicadores foram favoráveis para ambos os sistemas, com maior expressividade do valor presente líquido (VPL) para o BFT (R\$ 353.591,00) e taxa interna de retorno (TIR) 4,5 vezes maior para o convencional (131,86%). Porém, através de simulações pelo Método de Monte Carlo (MMC), verificou-se risco apenas no sistema BFT, com probabilidade de 7, 10 e 15% quando submetido à taxa de desconto de 10, 13 e 16%, respectivamente. Ao avaliar os ciclos produtivos da fazenda ao longo de 2013 e 2014, por meio da análise envoltória de dados (DEA), detectaram-se apenas quatro produções (7,0%) eficientes tecnicamente. Ao comparar os sistemas produtivos, verificou-se diferença significativa nos escores médios de eficiência técnica destes. Em relação às operações dos ciclos produtivos, foi constatada uma maior influência do manejo na ineficiência do sistema convencional, enquanto a escala produtiva foi o fator a influenciar na redução do escore médio de eficiência técnica do sistema BFT. Os resultados dos estudos permitirão o aperfeiçoamento do cultivo do camarão *L. vannamei*, além de dar maior segurança para o investimento no sistema BFT pelos produtores da região Nordeste do Brasil. Ambos os sistemas de produção de camarão representam importantes alternativas de investimento para o setor rural brasileiro, confirmado pelos resultados favoráveis de rentabilidade e viabilidade.

Palavras-chave: Carcinocultura, Bioflocos, Rentabilidade, Método de Monte Carlo, Análise Envoltória de Dados

Abstract

Biofloc Technology (BFT) is considered an alternative, sustainable culture system of the marine shrimp *Litopenaeus vannamei*. However, there are doubts about its financial return in the short and long period of time, as well as uncertainties regarding losses caused by variations in major economic items and shrimp performance. The Thesis evaluated the economic viability, risk and the efficiency of BFT in comparison to a conventional system of a shrimp farm located in the State of Pernambuco, Brazil. Data for the BFT and conventional farming systems were obtained from 9 production cycles in three 625 m² ponds lined with HDPE and 12 production cycles in the farm's conventional ponds, respectively. Viability indicators were favorable for both systems, with greater expressiveness of net present value (NPV) for the BFT (R\$ 353,591.00) and internal rate of return (IRR) 4.5 times greater for the conventional (131.86%). When used the Monte Carlo Method (MMC) it was found to BFT system the failure probability of 7%, 10% and 15% when combined with a discount rate of 10%, 13% and 16% respectively. According the Data Envelopment Analysis (DEA) four productions cycles (7.0%) were classified as technically efficient on the farm over the years 2013 and 2014. There was significant difference in the average technical efficiency scores of production systems. There was greater influence of management on the conventional system efficiency, while the production scale was the factor to influence the reduction of the average technical efficiency score of BFT system. The works provide useful information to improve the *L. vannamei* culture and give greater security to the investment in the BFT system by producers in the Northeast region of Brazil. Both culture systems represent important investment alternatives for the rural sector of Brazil, confirmed by the favorable results of profitability and viability.

Key words: Shrimp Culture, Biofloc, Feasibility, Monte Carlo Method, Data Envelopment Analysis

Lista de figuras

Página

- Figura 1-** Sensitivity analysis for the cultivation of *Litopenaeus vannamei* in BFT and conventional systems, in Pernambuco, Brazil, considering changes in market prices 42
- Figura 2-** Sensitivity analysis for the cultivation of *Litopenaeus vannamei* in BFT and conventional systems, in Pernambuco, Brazil, considering variations in productivity 43
- Figura 3-** Curves of ascendant cumulative probability of net present value (NPV) simulated by Monte Carlo method for BFT and conventional systems (discount rate of 10% per year), evaluated in a farm in the state of Pernambuco, Brazil, in 2014..... 56
- Figura 4-** Curves of ascendant cumulative probability of the internal rate of return (IRR) simulated by Monte Carlo method for the BFT and conventional systems, evaluated in a farm in the state of Pernambuco, Brazil, in 2014..... 56

Lista de tabelas

Página

Tabela 1- Zootechnical variables (mean $\pm$ SD) and information of <i>Litopenaeus vannamei</i> culture carried out in the BFT and conventional systems from a farm located in Pernambuco, Brazil, in 2014	37
Tabela 2- Values of fixed investments (US\$ and %) for the project implementation of the shrimp <i>Litopenaeus vannamei</i> production in one hectare in BFT and conventional systems in Pernambuco, Brazil, in 2014	38
Tabela 3- Estimated operating cost (US\$ and %) for the cultivation of the shrimp <i>Litopenaeus vannamei</i> in BFT and conventional systems carried out in one hectare in the state of Pernambuco, Brazil, in 2014	39
Tabela 4- Profitability of <i>Litopenaeus vannamei</i> shrimp culture in BFT and conventional systems undertaken in one hectare in Pernambuco state, Brazil, in 2014	41
Tabela 5- Viability of production of the shrimp <i>Litopenaeus vannamei</i> in BFT and conventional systems carried out in one hectare in state of Pernambuco, Brazil, in 2014.	42
Tabela 6- Means of zootechnical indexes ($\pm$ standard deviation) for two shrimp production systems (BFT and conventional) evaluated in northeastern Brazil	53
Tabela 7- Net present value (US\$), considering discount rates of 10, 13 and 16% per year, used in two shrimp production systems (BFT and conventional) in northeastern Brazil, in 2014	55
Tabela 8- Probability (%) of BFT and conventional systems to present negative net present value considering discount rates of 10, 13 and 16% per year in northeastern Brazil, in 2014	55

Tabela 9- Médias ($\pm$ DP) das variáveis utilizadas na estimação da eficiência técnica dos sistemas produtivos convencional e BFT, e geral da fazenda localizada no litoral de Pernambuco, Brasil..... 67

Tabela 10- Médias ($\pm$ DP) de eficiência técnica, obtidas através de análise envoltória de dados com rendimentos constantes de escala, dos viveiros do sistema convencional de fazenda localizada no litoral de Pernambuco, Brasil 68

Tabela 11- Distribuição dos ciclos produtivos realizados em todos os viveiros (sistema convencional e BFT) por classes de eficiência técnica, obtidas por análise envoltória de dados (DEA) com rendimentos constantes (RCE) e variados de escala (RVE), ao longo dos anos de 2013 e 2014 em fazenda localizada no litoral de Pernambuco, Brasil..... 69

Tabela 12- Desperdícios (ração e pós-larvas) e perdas de produção, verificadas através da análise envoltória de dados com rendimentos constantes de escala e orientação *input/output*, dos sistemas convencional e BFT de fazenda localizada no litoral de Pernambuco, Brasil 70

Tabela 13- Resultados de eficiência técnica, obtidos através de análise envoltória de dados (DEA) com rendimentos constantes (RCE) e variados de escala (RVE), dos ciclos produtivos (convencional e BFT) realizados em 2014 em fazenda localizada no litoral de Pernambuco, Brasil..... 70

Tabela 14- Médias ($\pm$ DP) de eficiência escalar dos viveiros do sistema convencional de fazenda localizada no litoral de Pernambuco, Brasil 71

Tabela 15- Médias ($\pm$ DP) da eficiência puramente técnica, obtidas através de análise envoltória de dados com rendimentos variáveis de escala, dos viveiros do sistema convencional de fazenda localizada no litoral de Pernambuco, Brasil..... 71

Sumário

	Página
Dedicatória	5
Agradecimentos	6
Resumo	7
Abstract	8
Lista de figuras	9
Lista de tabelas	10
1- Introdução.....	13
2- Revisão de literatura.....	15
3- Referências bibliográficas	21
4- Objetivo geral.....	30
4.1- Objetivos específicos	30
5- Artigos científicos	31
5.1- Artigo científico I.....	31
5.2- Artigo científico II.....	50
5.3- Artigo científico III	61
6- Considerações finais.....	79

1- Introdução

A carcinicultura brasileira, baseada em sistema de cultivo convencional em viveiros semi-escavados, tem apresentado baixo crescimento na produção de camarão nos últimos anos (ABREU et al., 2011; MPA, 2012). Embora este sistema seja predominante na produção mundial de camarões, tem se verificado diversos problemas como a dependência da constante troca de água, a utilização de grandes áreas de terras, o uso de rações com elevado teor de proteína bruta, o descarte de efluentes no meio ambiente e a ocorrência de doenças infecciosas (HOPKINS et al., 1993; HOPKINS et al., 1995; NAYLOR et al., 1998; FAO, 2010; ABREU et al., 2011; AVINIMELECH, 2012).

Devido à necessidade de alternativas mais sustentáveis e biosseguras, tem sido desenvolvido um novo sistema de produção de camarão, chamado de BFT (*Biofloc Technology*). O BFT é caracterizado como sistema fechado, realizando pouca ou nenhuma renovação de água, e assim aumentando a biossegurança e reduzindo o descarte de efluentes no meio ambiente (AVNIMELECH, 2012; HARGREAVES, 2013). Neste sistema de cultivo ocorre a formação de agregados microbianos chamados de bioflocos, os quais são compostos por bactérias, algas filamentosas, material em decomposição, protozoários, entre outros (DE SCHRYVER et al., 2008). Esta comunidade microbiana é capaz de degradar a matéria orgânica acumulada no meio, como também tem a capacidade de converter os compostos nitrogenados tóxicos em biomassa bacteriana, melhorando a qualidade da água e permitindo o aumento da densidade de cultivo (CRAB et al., 2007; SAMOCHA et al., 2007; KUHN et al., 2009; OTOSHI et al., 2011).

Apesar da comprovada viabilidade técnica e potencial para aumento da produção de camarões, retratado pelos indicadores de desempenho zootécnico (BURFORD et al., 2003; AVNIMELECH, 2012; HARGREAVES, 2013), ainda são escassas as informações sobre aspectos econômicos que tragam maior segurança para o investimento no sistema BFT pelos produtores da região Nordeste do Brasil.

Adicionalmente a análise de viabilidade econômica, a avaliação dos riscos da inserção de novas tecnologias torna-se necessário para ajudar na tomada de decisão sobre os investimentos (BRUNI et al., 1998). A possibilidade de identificar prováveis comportamentos futuros dos indicadores de viabilidade econômica, através do Método de Monte Carlo (MMC), tem permitido estabelecer a probabilidade de perda em

diversas atividades rurais (PERES et al., 2004; HADDADE et al., 2005; PERES et al., 2008; SABBAG e COSTA, 2015; SIMÕES e GOUVEA, 2015).

Não apenas o aumento da produtividade pode contribuir para melhores resultados de lucratividade, como também a eficiência no uso dos recursos contribuirá, favoravelmente, na rentabilidade, e, portanto na viabilidade econômica de uma atividade produtiva (FERREIRA e GOMES, 2009). Vários estudos classificam as análises de risco e de eficiência como ótimas ferramentas auxiliares na tomada de decisão, porém raras são as aplicações destas na carcinicultura (CHIANG et al., 2004; HADDADE et al., 2005; LATRUFFE et al., 2005; PERES et al., 2008; SILVA e SAMPAIO, 2009; SIMÕES e GOUVEA, 2015).

Tendo em vista a carência de estudos sobre os aspectos econômicos da carcinicultura brasileira, paralelamente a necessidade de se desenvolver pesquisas que busquem alternativas ambientalmente amigáveis, e consequentemente contribuam para minimizar os impactos atribuídos à atividade, objetivou-se com esta Tese avaliar aspectos relacionados à viabilidade econômica, ao risco e a eficiência dos sistemas BFT e convencional em fazenda de criação de camarão do litoral sul do estado de Pernambuco.

2- Revisão de literatura

A aquicultura vem obtendo altos índices de crescimento e lucratividade nos últimos anos dentro do segmento do agronegócio. Com a estagnação da produção da pesca e a crescente demanda por produtos de origem aquática, a atividade passou a ser considerada uma importante estratégia para suprir diversas necessidades, já que possui grande potencial na geração de renda, emprego e desenvolvimento regional (FAO 2014).

Segundo a FAO (2014), entre os anos de 1980 a 2012, o volume da produção mundial oriundos da aquicultura aumentou a uma taxa média de 8,6% ao ano e atingiu cerca de 90,4 milhões de toneladas no ano de 2012. Dentre os principais organismos cultivados do mundo, o camarão marinho teve uma expansão significativa nas últimas décadas, com incremento anual em torno de 21%, obtendo desempenho importante na economia mundial. A expansão do setor se deve principalmente ao cultivo da espécie *Litopenaeus vannamei*, conhecido popularmente como o camarão branco do Pacífico (ROSENBERRY, 2002). O *L. vannamei* possui uma série de vantagens em relação às outras espécies de camarões marinhos, tais como elevada taxa de crescimento, tolerância a altas densidades de estocagem e variações ambientais, sucesso no processo reprodutivo e altas taxas de sobrevivência das larvas (REID e ARNOLD, 1992; PONCE-PALAFOX et al., 1997; FRÍAS-ESPERICUETA et al. 1999; ARCOS et al., 2003; LIN e CHEN, 2003; RACOTTA et al., 2003; BRIGGS et al., 2004).

O sistema comumente utilizado para o cultivo do camarão *L. vannamei*, chamado de “convencional”, é caracterizado como semi-intensivo e é empregado em viveiros semi-escavados. Embora este sistema seja predominante na produção mundial de camarões, tem se verificado inúmeras problemáticas atribuídas ao mesmo, dificultando o desenvolvimento desta atividade. Um dos principais problemas da carcinicultura convencional é a emissão de efluentes oriundas dos viveiros (HOPKINS et al., 1993; NAYLOR et al., 1998; MARTINEZ-CORDERO e LEUNG, 2004; SOUSA et al., 2006). Estes são ricos em nutrientes como nitrogênio e fósforo, apontados como responsáveis por causar a eutrofização dos ambientes naturais, bem como podem apresentar grandes quantidades de matéria orgânica, podendo levar a redução da concentração de oxigênio no ecossistema. Além dessas questões, os efluentes podem conter microrganismos patogênicos causadores de doenças na biota natural do ambiente,

podendo até esses serem exóticos para o corpo de água natural (SOUSA et al., 2006; AVNIMELECH, 2012).

Outra questão discutida na atualidade é a disponibilidade de água e terra para o desenvolvimento da aquicultura. Não existem terra e água suficiente para suportar um crescimento de até cinco vezes na produção pela aquicultura, como é demandado mundialmente (FAO, 2010; AVNIMELECH, 2012). Pelo fato das áreas não poderem ser ampliadas, a solução encontrada para aumentar a produção, até recentemente, tem sido a intensificação da produção (FAO, 2010).

A intensificação de sistema convencional de cultivo do camarão *L. vannamei* pode promover riscos para os animais cultivados e o ecossistema. Alguns desses riscos são doenças infecciosas, espécies exóticas invasoras e lançamento no ambiente de animais modificados geneticamente (HOPKINS et al., 1995; SOUSA et al., 2006; FAO, 2010; ABREU et al., 2011). O crescente número, complexidade e seriedade desses riscos têm impulsionado o desenvolvimento do conceito de biosegurança e o aumento de sua aplicação. Uma estratégia para gerenciar de forma integrada biosegurança, empreendimento, riscos ambientais e sociais pode promover um crescimento sustentável da aquicultura (FAO, 2010). Tendo em vista estes pilares, novas tecnologias de cultivo têm sido testadas visando minimizar os danos ambientais, aumentar a produtividade e a lucratividade da atividade de carcinicultura. Uma destas tecnologias é o sistema de produção denominado BFT (*Biofloc Technology*) (AVNIMELECH, 2012).

Diversos trabalhos têm relatado o sucesso do cultivo de camarão em sistema BFT, onde foi possível reduzir o uso de água e o descarte de efluentes, e com isto gerando menos impacto ambiental (HOPKINS et al., 1993; BROWDY et al., 2001; BURFORD et al., 2004; WASIELESKY et al., 2006). Uma característica do sistema BFT é a capacidade de reciclar a matéria orgânica acumulada, pois ocorre a formação de uma comunidade microbiana capaz de degradar os resíduos existentes, além de converter os compostos nitrogenados tóxicos em biomassa microbiana, melhorando a qualidade da água do cultivo e permitindo o crescimento dos camarões em alta densidade (AVNIMELECH, 1999; HARI et al., 2004; EBELING et al., 2006; CRAB et al., 2007; SAMOCHA et al., 2007; DE SCHRYVER et al., 2008; KUHN et al., 2009). Cientistas têm demonstrado o sucesso do cultivo de camarão em densidades acima de 350/m², obtendo-se taxas de sobrevivência maiores que 70% (WASIELESKY et al., 2006; OTOSHI et al., 2007; SAMOCHA et al., 2007, KRUMMENAUER et al., 2011).

A geração de altas concentrações de biomassa microbiana e de camarões no sistema BFT requer aeração constante para manter níveis adequados de oxigênio dissolvido, elevando o consumo de energia e, conseqüentemente, aumentando o custo operacional (HOPKINS et al. 1993; EBELING et al. 2006; CRAB et al., 2007). Em contrapartida, os agregados microbianos (bioflocos) formados no sistema BFT, através da adição de uma fonte de carbono, têm alto valor protéico e podem ser consumidos pelos camarões cultivados, possibilitando assim a diminuição do nível de proteína na ração utilizada no cultivo, e com isto reduzindo os custos com este insumo (AVNIMELECH, 1999; BURFORD et al., 2003; HARI et al., 2004; SCHNEIDER et al., 2006; WASIELESKY et al., 2006; CRAB et al., 2007; DE SHRYVER et al., 2008; KUHN et al., 2009).

Embora o sistema BFT venha apresentando excelentes resultados de desempenho, principalmente em relação à redução de impactos ambientais, maior biosegurança e melhores resultados zootécnicos comparativamente ao sistema convencional, sabe-se pouco sobre os aspectos econômicos, como a viabilidade, o risco e a eficiência desta tecnologia para o cultivo de camarões marinhos.

No conjunto de instrumentos decisórios para avaliação de investimento em nova tecnologia, os mais utilizados são o *payback* (tempo de retorno do capital investido), o VPL (Valor Presente Líquido) e a TIR (Taxa Interna de Retorno), desde que seja discutido um ponto fundamental nesta análise, que é a determinação da taxa de juros a ser utilizada (Taxa Mínima Atrativa de Retorno – TMAR) como parâmetro na avaliação econômica (BUARQUE, 1984; BATALHA, 2007). Estes instrumentos permitem avaliar, através dos fluxos de caixa projetados, os retornos financeiros de uma atividade econômica no longo prazo, contribuindo ou não para a sua aceitação. O *payback* consiste no método mais simples, capaz de verificar o tempo necessário para recuperação do capital investido. Já o VPL representa o somatório dos recebimentos monetário futuros trazidos a data zero, e subtraídos do valor do investimento inicial, sendo considerado atrativo quando seu valor é maior do que zero. A TIR corresponde à taxa de remuneração do capital investido, sendo satisfatória quando seu valor é maior do que a TMAR (BUARQUE, 1984; BRUNI e FAMÁ, 2012)

Diversos trabalhos têm demonstrado a utilidade do VPL, da TIR e do *payback* na avaliação da viabilidade econômica, possibilitando a escolha, pelo empreendedor, entre investir ou não na atividade. Ao avaliarem um sistema de criação do robalo *Centropristis striata* em pequena escala, correspondendo a quatro tanques de fibra de

vidro (16,7 m³ cada) conectados a uma estrutura de recirculação de água, Copeland et al. (2005) obtiveram resultados dos indicadores financeiros VPL (TMAR de 5%), TIR e *payback* iguais a US\$145.313, 37% e 3,2 anos, respectivamente, analisados sobre um prazo limite de dez anos para o retorno do investimento. Nas análises de viabilidade econômica do cultivo e do processamento industrial da craca *Austromegabalanus psittacus* no sul do Chile para um horizonte de 8 anos, observou-se indicadores financeiros atraentes para ambos os processos produtivos, correspondendo a VPL acima de US\$490.000, TIR acima de 36% e *payback* de 3 a 5 anos, e assim constituindo uma alternativa interessante de diversificação da aquicultura daquele país (BEDECARRATZ et al., 2011).

Karim et al. (2015) concluíram que a produção do camarão-do-pantanal (*Macrobrachium pantanalense*), no município de Aquidauana (MS), é uma atividade economicamente viável, podendo se tornar uma opção de investimento, pois apresenta bons resultados de VPL (R\$ 305.346,48), TIR (78%) e *payback* (1,27 anos) para um horizonte de análise de 15 anos. Corroborando com o observado anteriormente, Silva et al. (2012) consideraram o emprego de carcinicultura convencional no estado do Rio Grande do Norte como uma importante alternativa de investimento do setor rural, justificado pelo VPL (R\$ 214.943,93 a 12%), TIR (60%) e *payback* (2 anos) observados para um fluxo de caixa de 10 anos.

A avaliação da viabilidade econômica através do VPL, TIR e *payback* irá permitir que os investidores potenciais determinem com maior precisão se o cultivo do camarão marinho *L. vannamei* em sistema BFT é um investimento atraente.

As decisões relacionadas a investimentos não são tomadas em ambiente de total certeza, sendo comuns dúvidas quanto ao desempenho futuro de diversas atividades econômicas. Quando é possível se quantificar a incerteza, temos uma medida de risco, sendo conceituado como a quantidade de variação positiva ou negativa dos retornos financeiros (CORRAR, 1993; CARMONA et al., 2015). De acordo com Lima (2015), a capacidade de identificar os fatores de risco, mensurá-los e impor mecanismos de controle são essenciais para a gestão de investimentos.

Ao se projetar os fluxos de caixa de um projeto de investimento, são elaboradas premissas quanto ao desempenho futuro de diversos indicadores financeiros, como receitas e custos, podendo estes oscilar diante de questões fortuitas como incertezas econômicas e produtivas. Existem instrumentos capazes de avaliar a influência de questões fortuitas na viabilidade de um investimento, como o caso do Método de Monte

Carlo (MMC), contribuindo no auxílio à tomada de decisão (BRUNI et al., 1998; SILVA et al., 2007). Com o MMC é possível prever as probabilidades de ocorrência dos cenários obtidos com as simulações (pseudo) aleatória das variações dos principais fatores de risco, como preços praticados e produções obtidas. Usualmente são empregados como parâmetros de decisão na análise de risco (MMC) de investimento o VPL e a TIR, sendo obtido como resultados as distribuições de probabilidade destes indicadores de viabilidade econômica (BRUNI et al., 1998; CORREIA NETO et al., 2002).

Correia Neto et al. (2002) consideraram adequado a utilização do MMC para quantificação do risco de empresa comercial atacadista do setor de produtos para limpeza profissional localizada em Fortaleza, verificando-se probabilidade nula de obter VPL menor ou igual a zero. Na avaliação de investimento imobiliário real, tomando como referência uma incorporadora e construtora de médio porte do município de Viçosa (MG), Silva et al. (2007) classificaram como mais seguras às tomadas de decisões, por parte dos investidores, realizadas diante da análise de risco (estocástica), em detrimento da simples análise de investimento (determinística). Ao analisar pelo MMC as empresas americanas Amazon, Apple, Facebook, Google e Microsoft, empreendimentos de tecnologia e inovação considerados como ambientes de elevada incerteza e de difícil projeção econômica, Carmona et al. (2015) verificaram elevada volatilidade dos preços dos seus ativos financeiros, sugerindo a presença de risco nos projetos de investimento das referidas organizações.

O MMC também vem sendo aplicado para determinação dos riscos de diversas atividades agropecuárias, como a fruticultura, bovinocultura, caprinocultura, piscicultura marinha e continental, como também para a carcinicultura convencional (PERES et al., 2004; PONCIANO et al., 2004; PERES et al., 2008; DEMINICIS et al., 2008; SILVA et al., 2012; DI TRAPANI et al., 2014; SABBAG e COSTA, 2015; SIMÕES e GOUVEA, 2015). Através destas pesquisas foi possível identificar, para cada uma das atividades, a probabilidade de falha e sucesso, como também identificar as variáveis de maior peso nesta avaliação. Porém, novas tecnologias de produção estão sendo desenvolvidas e necessitam de avaliação quanto aos riscos de suas implementações, como é o caso do emprego do sistema BFT para criação do camarão *L. vannamei*.

Através da análise envoltória de dados (*Data Envelopment Analysis* – DEA) é possível construir uma fronteira não paramétrica representativa da eficiência de uma

atividade, em que todas as observações (dados) irão se situar sobre ou abaixo desta posição (CHARNES et al., 1978; FARE et al., 1994; SILVA e SAMPAIO, 2009). Esta metodologia permite identificar as melhores práticas e as unidades ineficientes, detectando as mudanças necessárias na utilização dos insumos e na geração dos produtos imprescindíveis para estas unidades se tornarem eficientes (SHANG et al., 1998; SHARMA et al., 1999; FERREIRA e GOMES, 2009). Outra característica da DEA é a possibilidade de utilização de múltiplos insumos (*inputs*) e múltiplos produtos (*outputs*) na avaliação, sem necessitar considerar as unidades de medida (SHARMA et al., 1999; LATRUFFE et al., 2005).

A DEA pode ser aplicada para avaliação de uma produção entre várias realizadas em uma empresa, como também possibilita avaliar o empreendimento em relação a outros do mesmo ramo de atividade (LATRUFFE et al., 2005; FERREIRA e GOMES, 2009). A avaliação das diversas produções de uma empresa, determinando as eficiências técnicas de cada uma delas, permite identificar possíveis falhas na padronização e consequentes desperdícios. Já ao analisar as eficiências técnicas de várias empresas similares, os resultados indicando ineficiência podem sugerir que há tecnologia obsoleta ou subutilizada (GUNARATNE e LEUNG, 2000a; MARTINEZ-CORDERO e LEUNG, 2004).

Na aquicultura, a análise de eficiência foi aplicada para os cultivos de carpas, de tilápia e do camarão marinho *Penaeus monodon* (SHARMA et al., 1999, 2000; DEY et al., 2000; GUNARATNE e LEUNG, 2000a, 2000b). No entanto, não temos conhecimento de nenhum trabalho avaliando a eficiência do sistema BFT para criação do camarão marinho *L. vannamei*.

3- Referências bibliográficas

ABREU, M.C.S.; MATTOS, P.; LIMA, P.E.S.; PADULA, A.D. Shrimp farming in coastal Brazil: Reasons for market failure and sustainability challenges. **Ocean & Coastal Management**, v.54, p.658–667, 2011.

ARCOS, F.G.; IBARRA, A.M.; PALACIOS, E.; VAZQUEZ-BOUCARD, C.; RACOTTA, I.S. Feasible predictive criteria for reproductive performance of white shrimp *Litopenaeus vannamei*: egg quality and female physiological condition. **Aquaculture**, v.228, p.335–349, 2003.

AVNIMELECH, Y. C/N ratio as a control element in aquaculture systems. **Aquaculture**, v.176, p.227–235, 1999.

AVNIMELECH, Y. **Biofloc Technology - a practical guide book**. 2^a ed. Louisiana: The World Aquaculture Society, 272p., 2012.

BATALHA, M.O. **Gestão agroindustrial**. Atlas, 770p., 2007.

BEDECARRATZ, P.C.; LÓPEZ, D.A.; LÓPEZ, B.A.; MORA, O.A. Economic Feasibility of Aquaculture of the Giant Barnacle *Austromegabalanus psittacus* in Southern Chile. **Journal of Shellfish Research**, v.30, n.01, p.147–157, 2011.

BRIGGS, M.; FUNGE-SMITH, S.; SUBASINGHE, R.; PHILLIPS, M. Introductions and movement of *Penaeus vannamei* and *Penaeus stylirostris* in Asia and the Pacific. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Regional Office for Asia and the Pacific. **RAP Publication**, p.1– 12, 2004.

BROWDY, C.L.; BRATVOLD, D.; STOKES, A.D.; MCINTOSH, R.P. Perspectives on the application of closed shrimp culture systems. In: Browdy, CL & DE Jory. The New Wave, Proceedings of the special session on sustainable shrimp culture, Aquaculture. **The World Aquaculture Society**, Baton Rouge, USA, p.20-34, 2001.

BRUNI, A.; FAMÁ, R.; SIQUEIRA, J. Análise do risco na avaliação de projetos de investimento: uma aplicação do método de Monte Carlo. **Caderno de Pesquisas em Administração**, v.1, p.62-75, 1998.

BRUNI, A.L.; FAMÁ, R. **As decisões de investimento**. 3ª ed. São Paulo: Atlas, 189p., 2012.

BUARQUE, C. **Avaliação econômica de projetos: uma apresentação didática**. Elsevier, 266p., 1984.

BURFORD, M.A.; THOMPSON, P.J.; MCINTOSH, R.P.; BAUMAN, R.H.; PEARSON, D.C. Nutrient and microbial dynamics in high-intensity, zero-exchange shrimp ponds in Belize. **Aquaculture**, v.219, p.393-411, 2003.

BURFORD, M.A.; THOMPSON, P.J.; MCINTOSH, R.P.; BAUMAN, R.H.; PEARSON, D.C. The contribution of flocculated material to shrimp (*Litopenaeus vannamei*) nutrition in a high-intensity, zero-exchange system. **Aquaculture**, v.232, p.525–537, 2004.

CARMONA, C.U.M.; SOBRAL, M.F.F.; MENELAU, A.S.; FILHO, A.M.C.; CABRAL, R.M. Métodos de avaliação de empreendimentos em tecnologia de informação e inovação: uma análise financeira em condições de incerteza. **Exacta – EP**, v.13, n.1, p.133-141, 2015.

CHARNES, A.; COOPER, W.W.; RHODES, E. Measuring the efficiency of decision making units. **European Journal of Operational Research**, v.2, p.429-444, 1978.

CHIANG, F.; SUN, C.; YU, J. Technical efficiency analysis of milkfish (*Chanos chanos*) production in Taiwan—an application of the stochastic frontier production function. **Aquaculture**, v.230, p.99– 116, 2004.

COPELAND, K.A.; WATANABE, W.O.; DUMAS, C.E. Economic Evaluation of a Small-Scale Recirculating System for Ongrowing of Captive Wild Black Sea Bass

Centropristis striata in North Carolina. **Journal of the World Aquaculture Society**, v.36, n.4, p.489–497, 2005.

CORRAR, L.J. O modelo econômico da empresa em condições de incerteza - aplicação do método de simulação de Monte Carlo. **Caderno de Estudos**, n.08, p.01-11, 1993.

CORREIA NETO, J.F.; MOURA, H.J.; FORTE, S.H.A.C. Modelo prático de previsão de fluxo de caixa operacional para empresas comerciais considerando os efeitos do risco, através do Método de Monte Carlo. **REAd**, v.08, n.03, p.01-23, 2002.

CRAB, R.; AVNIMELECH, Y.; DEFOIRDT, T.; BOSSIER, P.; VERSTRAETE, W. Nitrogen removal techniques in aquaculture for a sustainable production. **Aquaculture**, v.270, p.1-14, 2007.

DEMINICIS, B.B.; VIEIRA, H.D.; KNIFIS, A.L.; PONCIANO, N.J.; SOUZA, P.M.; BLUME, M.C. Análise econômica de sistemas de produção de leite de cabra no estado do Rio de Janeiro. **Archivos de Zootecnia**, v.57, n.219, p.377-380, 2008.

DE SCHRYVER, P.; CRAB, R.; DEFOIRDT, T.; BOON, N.; VERSTRAETE, W. The basics of bio-flocs technology: the added value for aquaculture. **Aquaculture**, v.277, p.125–137, 2008.

DEY, M.M.; PARAGUAS, F.J.; BIMBAO, G.B.; REGASPI, P.B. Technical efficiency of tilapia growout pond operations in the Philippines. **Aquaculture, Economics and Management**, v.4, p.33–45, 2000.

DI TRAPANI, A.M.; SGROI, F.; TESTA, R.; TUDISCA, S. Economic comparison between offshore and inshore aquaculture production systems of European sea bass in Italy. **Aquaculture**, v.434, p.334–339, 2014.

EBELING, J.M.; TIMMONS, M.B.; BISOGNI, J.J. Engineering analysis of the stoichiometry of photoautotrophic, autotrophic, and heterotrophic control of ammonia-nitrogen in aquaculture production systems. **Aquaculture**, v.257, p.346-358, 2006.

FARE, R.; GROSSKOPF, S.; LOVELL, C.A.K. **Production Frontiers**. Cambridge Univ. Press, Cambridge. 1994.

FERREIRA, C.M.C.; GOMES, A.P. **Introdução à análise envoltória de dados: teoria, modelos e aplicações**. 1ª ed. Viçosa: Editora UFV, 389p., 2009.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO). **The State of World Fisheries and Aquaculture 2010**. FAO Fisheries and Aquaculture Department, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 2010. Disponível em: www.fao.org. Acessado em: 29 de janeiro 2016.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO). **The State of World Fisheries and Aquaculture 2014**. FAO Fisheries and Aquaculture Department, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 243p., 2014. Disponível em: www.fao.org. Acessado em: 29 de janeiro 2016.

FRÍAS-ESPERICUETA, M.G.; HARFUSH-MELENDZ, M.; OSUNA-LÓPEZ, J.I.; PÁEZ-OSUNA, F. Acute Toxicity of Ammonia to Juvenile Shrimp *Penaeus vannamei* Boone. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, v.62, p.646-652, 1999.

GUNARATNE, L.H.P.; LEUNG, P.S. Asian black tiger shrimp industry: a productivity analysis. In: LEUNG, P.; SHARMA, K.R. **Economics and Management of Shrimp and Carp in Asia: A collection of research papers based on the ADB/NACA Farm Performance Survey**. Bangkok: Network of Aquaculture Centres in Asia-Pacific, 244p., 2000a.

GUNARATNE, L.H.P.; LEUNG, P.S. Productivity analysis of Asian shrimp industry: the case of Malaysian shrimp culture. In: LEUNG, P.; SHARMA, K.R. **Economics and Management of Shrimp and Carp in Asia: A collection of research papers based on the ADB/NACA Farm Performance Survey**. Bangkok: Network of Aquaculture Centres in Asia-Pacific, 244p., 2000b.

HADDADE, I.R.; SOUZA, P.M.; BARROS, E.E.L.; ALVES, G.R.; SCOLFORO, L.; CORDEIRO, M.D.; PERAS, A.A.C.; HENRIQUES, L.T. Avaliação econômica sob condições de risco em sistema produtivo de gado de leite na região Norte do estado do Rio de Janeiro. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.57, p.361–366, 2005.

HARGREAVES, J.A. **Biofloc Production Systems for Aquaculture**. EUA: Southern Regional Aquaculture Center – SRAC, n.4503, 11p. 2013.

HARI, B.; MADHUSOODANA, K.; VARGHESE, J.T.; SCHRAMA, J.W.; VERDEGEM, M.C.J. Effects of carbohydrate addition on production in extensive shrimp culture systems. **Aquaculture**, v.241, p.179–194, 2004.

HOPKINS, J.S.; HAMILTON, R.D.; SANDIFER, P.A.; BROWDY, C.L.; STOKES, A.D. Effects of water exchange rate on production, water quality, effluent characteristics and nitrogen budgets of intensive shrimp ponds. **Journal of the World Aquaculture Society**, v.24, p.304–320, 1993.

HOPKINS, J.S.; SANDIFER, P.A.; BROWDY, C.L. Effect of two feed protein levels and feed rate combinations on water quality and production of intensive shrimp ponds operated without water exchange. **Journal of the World Aquaculture Society**, v.26, p.93-97, 1995.

KARIM, H.M.; FREITAS, J.E.C.; LIMA, T.P.C.; NASCIMENTO, M.S.; HAYD, L.A. Viabilidade econômica da produção do camarão-do-pantanal (*Macrobrachium pantanalense*). **Boletim do Instituto de Pesca**, v.41, n.01, p.103–112, 2015.

KRUMMENAUER, D.; CAVALLI, R.O.; POERSCH, L.H.; WASIELESKY, W. Superintensive Culture of White Shrimp, *Litopenaeus vannamei*, in a Biofloc Technology System in Southern Brazil at Different Stocking Densities. **Journal of the World Aquaculture Society**, v.42, p.726-733, 2011.

KUHN, D.D.; BOARDMAN, G.D.; LAWRENCE, A.L.; MARSH, L.; FLICK, G.J. Microbial floc meals as a replacement ingredient for fish meal and soybean protein in shrimp feed. **Aquaculture**, v.296, p.51–57, 2009.

LATRUFFE, L.; BALCOMBE, K.; DAVIDOVA, S.; ZAWALINSKA, K. Technical and scale efficiency of crop and livestock farms in Poland: does specialization matter?. **Agricultural Economics**, v.32, p.281–296, 2005.

LIMA, F.G. **Análise de riscos**. São Paulo: Atlas, 318p., 2015.

LIN, Y.; CHEN, J. Acute toxicity of nitrite on *Litopenaeus vannamei* (Boone) juveniles at different salinity levels. **Aquaculture**, v.224, p.193-201, 2003.

MARTINEZ-CORDERO, F.J.; LEUNG, P. Sustainable aquaculture and producer performance: measurement of environmentally adjusted productivity and efficiency of a sample of shrimp farms in Mexico. **Aquaculture**, v.241, p.249–268, 2004.

MPA (MINISTÉRIO DA PESCA E AQUICULTURA). **Boletim Estatístico da Pesca e Aquicultura: Brasil 2010**. 128p. 2012. Disponível em : http://sinpesq.mpa.gov.br/preps_cms/download/boletim_2010/boletim_estatistico_mpa_2010.pdf. Acessado em: 31 de janeiro de 2016.

NAYLOR, R.L.; GOLDBURG, R.J.; MOONEY, H.; BEVERIDGE, M.; CLAY, J.; FOLKE, C.; KAUTSKY, N.; LUBCHENCO, J.; PRIMAVERA, J.; WILLIAMS, M. Nature's subsidies to shrimp and salmon farming. **Science**, v.282, p.883– 884, 1998.

OTOSHI, C.A.; NAGUWA, S.S.; FALESCH, F.C.; MOSS, S.M. Shrimp behavior may affect culture performance at super intensive stocking densities. **Global Aquaculture Advocate**, v.2, p.67–69, 2007.

OTOSHI, C.A.; RODRIGUEZ, N.; MOSS, S.M. Establishing nitrifying bacteria in super-intensive biofloc shrimp production. **Global Aquaculture Advocate**, v.14, n.04, p.24-26, 2011.

PERES, A.A.D.; DE SOUZA, P.M.; MALDONADO, H.; DA SILVA, J.F.C.; SOARES, C.D.; BARROS, S.C.W.; HADDADE, I.R. Economical analysis of pasture production systems to cattle in the region of Campos dos Goytacazes-RJ. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.33, p.1557–1563, 2004.

PERES, A.A.C.; SOUZA, P.M.; VASQUEZ, H.M.; SILVA, J.F.C.; CARVALHO, C.A.B.; CARVALHO, J.B.P.; MORENZ, M.J.F. Análise financeira sob condições de risco de sistemas de produção de leite na região do Vale do Paraíba, SP. **Boletim de Indústria Animal**, v.1, p.35–42, 2008.

PONCE-PALAFOX, J.; MARTINEZ-PALACIOS, C.A.; ROSS, L.G. The effect of salinity and temperature on the growth and survival rates of juvenile white shrimp, *Penaeus vannamei*, Boone, 1931. **Aquaculture**, v.157, p.107-115, 1997.

PONCIANO, N.J; SOUZA, P.M; MATA, H.T.C; VIEIRA, J.R; MORGANO, I.F. Análise de viabilidade econômica e de risco da fruticultura na região norte Fluminense. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v.42, n.04, p.615-635, 2004.

RACOTTA, I.S.; PALACIOS, E.; IBARRA, A.M. Shrimp larval quality in relation to broodstock condition. **Aquaculture**, v.227, p.107–130, 2003.

REID, B.; ARNOLD, C.R. The Intensive Culture of the Penaeid Shrimp *Penaeus vannamei* Boone in a Recirculating Raceway System. **Journal of the World Aquaculture Society**, v.23, n.02, p.146-153, 1992.

ROSENBERRY, B. **World shrimp farming 2002**. Shrimp News International, 276p., 2002.

SABBAG, O.J.; COSTA, S.M.A.L. Análise de custos da produção de leite: aplicação do método de Monte Carlo. **Revista Extensão Rural**, v.22, p.125-145, 2015.

SAMOCHA, T.M.; PAINAIK, S.; SPEED, M.; ALI, A.; BURGUER, J.M.; ALMEIDA, R.V.; AYUB, Z.; HARISANTO, M.; HOROWITZ, A.; BROCK, D.L. Use of molasses

as carbon source in limited discharge nursery and grow-out systems for *Litopenaeus vannamei*. **Aquacultural Engineering**, v.36, p.184-191, 2007.

SCHNEIDER, O.; SERETI, V.; EDING, E.H. Molasses as C source for heterotrophic bacteria production on solid fish waste. **Aquaculture**, v.261, p.1239-1248, 2006.

SHANG, Y.C.; LEUNG, P.; LING, B.H. Comparative economics of shrimp farming in Asia. **Aquaculture**, v.164, p.183-200, 1998.

SHARMA, K.R.; LEUNG, P.; CHEN, H.; PETERSON, A. Economic efficiency and optimum stocking densities in fish polyculture: an application of data envelopment analysis (DEA) to Chinese fish farms. **Aquaculture**, v.180, p.207-221, 1999.

SHARMA, K.; LEUNG, P.S. Technical efficiency of carp production in India: a stochastic frontier production function analysis. **Aquaculture Research**, v.31, p.937-948, 2000.

SILVA, F.N.; FERREIRA, M.A.M.; PAZZINI, F.L.S.; ABRANTES, L.A. Abordagem determinística e de simulação de risco como instrumentos de análise de viabilidade financeira em investimentos imobiliários. **Revista de Negócios**, v.12, n.3, p.03-17, 2007.

SILVA, J.L.M.; SAMPAIO, L.M.B. Eficiência, gestão e meio ambiente na carcinicultura do Rio Grande do Norte. **RESR**, v.47, n.04, p.883-902, 2009.

SILVA, S.L.G.; PONTES, F.S.T.; PONTES, F.M.; BESSA JUNIOR, A.P.; OLIVEIRA, D.M. Análise de investimento na carcinicultura do Rio Grande do Norte: um estudo de caso. **Revista Caatinga**, v.25, n.01, p.168-175, 2012.

SIMÕES, D.; GOUVEA, A.C.F. Método de Monte Carlo aplicado a economicidade do cultivo de tilápia-do-Nilo em tanques-rede. **Archivos de Zootecnia**, v.64, p.41-48, 2015.

SOUSA, O.V.; MACRAE, A.; MENEZES, F.G.R.; GOMES, N.C.M.; VIEIRA, R.H.S.F.; MENDONÇA-HAGLER, L.C.S. The impact of shrimp farming effluent on bacterial communities in mangrove waters, Ceará, Brazil. **Marine Pollution Bulletin**, v.52, p.1725–1734, 2006.

WASIELESKY, W.J.; ATWOOD, H.I.; STOKES, A.; BROWDY, C.L. Effect of natural production in brown water super-intensive culture system for white shrimp *Litopenaeus vannamei*. **Aquaculture**, v.258, p.396-403, 2006.

4- Objetivo geral

Avaliar os aspectos econômicos do cultivo do camarão marinho *Litopenaeus vannamei* no Nordeste do Brasil através do emprego do sistema BFT.

4.1- Objetivos específicos

Avaliar a viabilidade econômica do emprego do sistema BFT para o cultivo do *L. vannamei* no Nordeste do Brasil;

Avaliar o risco econômico, pelo Método de Monte Carlo (MMC), da inserção da tecnologia BFT para o cultivo do camarão *L. vannamei* no Nordeste do Brasil;

Realizar a análise de eficiência da operação, em escala comercial, do sistema BFT para o cultivo do *L. vannamei* no Nordeste do Brasil.

5- Artigo científico

5.1- Artigo científico I

Financial viability of inserting the biofloc technology in a marine shrimp *Litopenaeus vannamei* farm: a case study in the state of Pernambuco, Brazil

Marcelo Augusto Soares Rego¹, Omar Jorge Sabbag², Roberta Soares¹, Silvio Peixoto¹

¹Universidade Federal Rural de Pernambuco, Dom Manoel de Medeiros St, Dois Irmãos, Recife, Pernambuco, 52171-030, Brazil, phone number: 55 81 998181304, e-mail: mar_soar@yahoo.com.br

²Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Brasil Centro Ave, 56, Ilha Solteira, São Paulo, 15385-000, Brazil, e-mail: sabbag@agr.feis.unesp.br

Abstract

This study analyzed the financial viability of inserting the Biofloc Technology (BFT) system and maintaining the conventional culture system for the marine shrimp *Litopenaeus vannamei* in a farm located in the state of Pernambuco, northeastern Brazil. To obtain information related to investment and operating costs, we used three ponds (625 m² each) covered with high-density polyethylene operating with the BFT system and data from three conventional ponds (2,86 ha each) used in a farm during 2014. The total production costs of BFT were eight times higher than the conventional system. Operating profit and profitability index were US\$ 51,871.54 ha⁻¹ yr⁻¹ and 30.22% for BFT, and US\$ 21,523.83 ha⁻¹ yr⁻¹ and 59.79% for the conventional system, respectively. In investment analysis, indicators were favorable for both systems, with greater expressiveness of the net present value (NPV) for the BFT (US\$ 142,004.42) and internal rate of return (IRR) 4.5 times higher for conventional system (131.86%). To achieve favorable results of profitability and viability, combined with the ability to contribute to the sustainable

development of marine shrimp farming, the BFT system is a promising alternative to replace traditional systems used in northeastern Brazil.

Keywords: biofloc, costs, internal rate of return, net present value, profitability, sensitivity, shrimp farming.

Introduction

The development of an agricultural activity depends on several factors, mainly the growing demand for the product, its technical and economic viability, as well as the possibility of expansion in area (Buarque 1984; Brandão *et al.* 2006; Varian 2006). As a new activity in the country, settled only in 1993 with the commercial use of the exotic *Litopenaeus vannamei*, Brazilian shrimp farming is still in development and adaptation to its requirements (Wainberg *et al.* 2011; Cavalcanti 2012).

There has been a great speculation about the growth potential of shrimp farming in Brazil, due it's 8,000 km of coastline and the favorable climate for the culture of *L. vannamei* (Rocha and Rodrigues 2004; Pinheiro *et al.* 2007). However, after more than 10 years, the country has yet to overcome the 90,000-ton mark registered in 2003 (Natori *et al.* 2011; MPA 2012). There are several factors that limit the expansion of the Brazilian shrimp farming, such as restrictions related to the implementation of new projects, as well as the culture system used in the country (Natori *et al.* 2011; Wainberg *et al.* 2011).

Most shrimp farms in Brazil use semi-intensive systems with water renewal, in semi-excavated ponds, usually close to estuaries along the coastline (Rocha 2013). Known as "conventional", this model has been associated with several problems, such as destruction of mangrove areas, discharges in the adjacent environment, as well as disease outbreaks (Valiela *et al.* 2001; Abreu *et al.* 2011; Ha *et al.* 2012). In conventional shrimp farming, besides the dependence on constant water renewals due to accumulation of organic and inorganic matter in the ponds, there is also a limitation on increasing the stocking density (Hossain *et al.* 2004; Avnimelech 2012).

The Biofloc Technology (BFT) system is a new shrimp farming model that has been studied due to need to develop sustainable production systems, reducing or even eliminating negative impacts on the environment, since it requires little or no water exchange, thus reducing the emission of waste and the escape of the cultivated species to the ecosystem (Burford *et al.* 2003; Wasielesky *et al.* 2006; De Schryver *et al.* 2008; Avnimelech 2012). Furthermore, the BFT system tolerates high stocking densities, which allows increase productivity and make the most efficient use of the area (Krummenauer *et al.* 2011). When comparing the conventional and BFT system of shrimp farming, there are differences in the requirements and management of the production process. In intensive models, as in the case of BFT, a greater technological support is needed, such as an aeration system, the frequent monitoring of water quality and more specific feed (Avnimelech 2012). These factors increase the production costs and the investment becomes expensive, raising doubts on producers in relation to the financial viability of this new technology.

The success of an aquaculture enterprise depends not only on the improvement of farming techniques, but also on cost control and cash flow analysis. Proper management of production will possibly increase productivity, whereas an efficient administration will bring benefits related to the reduction in expenditures, as well as the analysis of cash flow with specific tools will enable the visualization of future economic returns (Buarque 1984; Rocha *et al.* 2013).

Given the scarcity of economic information that helps entrepreneurs in decision making related to investments, this study aimed to analyze the financial viability of inserting the BFT system compared to the conventional system of the marine shrimp *L. vannamei* in a farm in the state of Pernambuco, Brazil.

Materials and methods

The study was carried out on a commercial farm in the coast of Pernambuco state, Brazil. Information related to the investment in the BFT system, as well as data concerning the operational costs were obtained from the construction of the ponds, the purchase of items needed for the operation and from intensive culture in BFT system during the year of 2014. The

data from the conventional systems were obtained from the history of production in the farm for the same period and from information about the values for the acquisition of new equipment and maintenance of existing structures. The investment analyses were based on real enterprise scenarios, considering the implementation of BFT system on a previously structured farm with own land and logistical buildings.

The BFT culture system was carried out in three ponds, with an area of 625 m² each, covered with high-density polyethylene (HDPE) with a thickness of 0.8 mm. The ponds were stocked with PL₁₀ (post-larvae with ten days after mysis metamorphosis) at the density of 113 ± 7.2 m⁻², and the cultures were performed without water exchange. Sugarcane molasses were used as a carbon source to the formation of bioflocs, maintaining the carbon/nitrogen ratio of 20:1 in the BFT system (Avnimelech 1999; Ebeling *et al.* 2006). In order to promote constant aeration, as well as horizontal and vertical movement of the water, a paddlewheel aerator (2 HP) was used in each pond of the BFT system, providing 32 HP ha⁻¹ (Avnimelech 2012).

The conventional culture system was performed in three semi-excavated ponds with an average of 2.86 ha each and constant exchange water. The mean density used was 20 ± 1.8 PL₁₀ m⁻², with the possibility of four cycles per year. Because the conventional system had low stocking densities, it did not require mechanical aeration, and electricity was needed only for water pumping. For both systems, post-larvae were acquired in a commercial hatchery located in northeastern Brazil.

Shrimp were fed in both systems a commercial diet with 40% and 32% crude protein (CP) during the first 30 days and the rest of the culture, respectively. The amount of feed offered in both production systems was regulated through weekly biometrics, as well as the use of trays and feeding table according to Jory *et al.* (2001).

When the animals of both systems reached commercial size (above 10 g of mean weight), they were harvested and commercialized. The retail price was adjusted according to the local market pricing at the time.

Survival (%), mean final weight (g), productivity (kg ha⁻¹ cycle) and feed conversion ratio (FCR) were recorded in both system. FCR was calculated as the ratio between the weight of

supplied feed (kg) and the gain of biomass (kg). These data were obtained throughout the year of 2014, totaling 9 and 12 harvests in the BFT and conventional systems, respectively.

In order to standardize the comparison between the systems, the area of production considered was one hectare, that is, 16 ponds of 625 m² in BFT and one pond of 10,000 m² in conventional system.

The cost analysis was based on the method by the Institute of Agricultural Economics (IAE) proposed by Matsunaga *et al.* (1976), in which the effective operating cost (EOC), total operating cost (TOC) and total production cost (TPC) were evaluated. EOC comprised the labor force (time required to perform each operation in both systems) as well as the quantities of inputs used during the production cycle. The expenses with depreciation using the linear method were additionally calculated for TOC, corresponding to the items of fixed capital of the activity (with respective initial or acquisition values - V_i and residual or final values - V_f) regarding their lifespan (V_u), expressed by $D = (V_i - V_f) / V_u$; as well as other expenses, corresponding to 5% of the EOC, and the costing interest, related to the rural credit rate applied to half the EOC. By adding to the TOC the entrepreneur's remuneration ("pro-labore") and investment remuneration (fixed capital), the total production cost (TPC) was obtained. Mean prices refer to the year 2014 and were registered in Reais (R\$)¹.

The profitability indicators used in the analysis were proposed by Martin *et al.* (1998) and are considered as follows: gross revenue, which is the production multiplied by the mean unit price paid to producers; operational profit, calculated as the difference between the gross revenue and total operating costs; and profitability index, which refers to the proportion of the gross revenue that constitutes the available resources, corresponding to the net income obtained. There was also a leveling point of production (balance production), characterized by the minimum production necessary to cover total production costs, and cost per kilogram (balance value) resulting from the total production cost over the obtained production.

¹Reference value (November/2014 – US\$ 1.00 = R\$ 2.49).

To analyze the financial viability of the shrimp farming investment, we evaluated the net present value (NPV), defined as the present value of cash flows over 10 years minus the initial value of the investment. This means that if the present value of cash inflows is, at least, equal to the present value of cash outflows, then the investment is viable. In this study, the minimum rate of attractiveness (MRA) was the usual discount rate of 10% per year (Brazilian rate of the Special System for Settlement and Custody - SELIC), referring to 2014. From the cash flows for a horizon of 10 years with the investment fully implemented in year zero, the internal rate of return (IRR) was determined, by definition, as the indicator that makes the net present value of the flow equal to zero (Noronha 1981). As criteria, in case that MRA remains below IRR, more gain is expected in investing in the project than leaving the money retained in a Brazilian financial application based on the SELIC rate. Another important investment analysis used in the study was the payback period discounted, that determines the company's operating time required to recover the invested capital (Buarque 1984). This analysis considered the amount of annual profits at current values (discount rate of 10% per year) required to cover the total value of the investment.

From the possibility of different scenarios during the project implementation period, the sensitivity analysis was performed in order to verify how much changes in the retail price (US\$ kg⁻¹) and productivity (kg ha⁻¹ cycle) affect the financial results of BFT and conventional systems (Buarque 1984; Kam and Leung 2008). Due to the uncertainty of the future behavior, variations of 10, 20 and 30% were considered in the items evaluated in the sensitivity analysis.

Results

Production systems showed differences in the results of zootechnical performance for survival, productivity and FCR (Table 1). The mean productivity of the BFT system was five times higher than in the conventional system.

Table 1 Zootechnical variables (mean $\pm$ SD) and information of *Litopenaeus vannamei* culture carried out in the BFT and conventional systems from a farm located in Pernambuco, Brazil, in 2014.

Variables	BFT	Conventional
Density (shrimp m ⁻²)	113.0 $\pm$ 7.2	20.0 $\pm$ 1.8
Survival (%)	58.0 $\pm$ 19.6	73.0 $\pm$ 4.6
Final mean weight (g)	11.9 $\pm$ 3.6	10.4 $\pm$ 0.2
Productivity (kg ha ⁻¹ cycle)	7,775.0 $\pm$ 1,955.7	1,537.0 $\pm$ 185.2
Feed conversion ratio (FCR)	1.8 $\pm$ 0.3	1.4 $\pm$ 0.1
Cultivation period (days)	98.0 $\pm$ 13.2	90.0 $\pm$ 0.5
Retail price (US\$ kg ⁻¹)	5.91 $\pm$ 0.9	5.77 $\pm$ 0.6

Regarding the investments needed to implement a productive hectare for each system, BFT demanded greater expenditure on fixed capital, corresponding to a value 10 times higher compared to the conventional system (Table 2). When analyzing the largest investments, the purchase and installation of geomembrane represented more than 30% of the total investment in the implementation of BFT system, followed by the purchase and installation of water supply and drainage system (concrete structures, PVC pipes and valves) representing 15.43%. As for the conventional system, the greater expressiveness was related to the movement of the soil (earthworks, leasing and construction of dikes) representing 36.27% of the investment.

Table 2 Values of fixed investments (US\$ and %) for the project implementation of the shrimp *Litopenaeus vannamei* production in one hectare in BFT and conventional systems in Pernambuco, Brazil, in 2014.

Items	BFT		Conventional	
	US\$	%	US\$	%
Project	7,630.52	5.14	763.05	5.16
Regularization rates	481.18	0.32	481.18	3.25
Earthmoving	8,502.49	5.73	5,367.20	36.27
Supply/drainage system*	22,894.78	15.43	3,433.73	23.21
Acquisition and installation of geomembrane (0.8 mm)*	46,555.82	31.39	-	-
Electrical installation*	7,988.76	5.39	647.79	4.38
Area isolation*	6,425.70	4.33	-	-
Platform scale, 150 kg x 50 g*	406.02	0.27	406.02	2.74
Equipment and reagents for water analysis*	9,975.35	6.73	1,970.28	13.32
Generator (60 kVA)*	16,465.86	11.10	-	-
Paddlewheel aerators (2 HP) (x 16)*	19,277.11	13.00	-	-
Centrifugal pump (7 HP)*	923.69	0.62	923.69	6.24
Others**	803.21	0.54	803.21	5.43
Total	148,330.51	100.00	14,796.17	100.00

*Derogatory items (useful life of machinery and equipment considered between 5 and 10 years and infrastructure of 25 years)

**Items related to operations like harvests and maintenance (networks, wheelbarrow, etc.)

Similarly as observed in the investments, BFT operating costs were 10 times higher than the conventional system (Table 3). Regarding EOC, the inputs corresponded to the higher cost item, accounting for 84% and 77% respectively for the BFT and conventional systems. The feed was the most representative item for both systems, corresponding to 54% (BFT) and 79% (conventional) of the expenses with inputs. The smallest percentage index assigned to the BFT

system resulted in higher proportional expenses with energy, equivalent to US\$ 4,813.98, when compared to US\$ 125.53 in the conventional system.

Table 3 Estimated operating cost (US\$ and %) for the cultivation of the shrimp *Litopenaeus vannamei* in BFT and conventional systems carried out in one hectare in the state of Pernambuco, Brazil, in 2014.

Description	BFT		Conventional	
	US\$	%	US\$	%
Labor	4,547.04	13.66	716.19	17.62
Feed	12,617.07	37.89	1,894.91	46.62
Electricity	4,813.98	14.46	125.53	3.09
Others ¹	5,870.20	17.63	387.18	9.53
Effective operational cost (EOC)	27,848.29	83.64	3,123.81	76.86
Other expenses ²	1,392.41	4.18	156.19	3.84
Depreciation	1,598.75	4.80	152.25	3.75
Interest cost ³	1,218.36	3.66	136.67	3.36
Total operating cost (TOC)	32,057.82	96.28	3,568.91	87.81
Entrepreneur's remuneration ("pro-labore")	401.61	1.21	401.61	9.88
Investment remuneration ⁴	835.45	2.51	93.71	2.31
Total production cost (TPC) cycle⁻¹	33,294.87	100.00	4,064.24	100.00
Total production cost (TPC) year⁻¹	124,369.00		16,482.73	

1 Other inputs (post-larvae, bicarbonate, etc.).

2 Refers to 5% of the EOC.

3 This refers to the interest rate of 8.75% per year on 50% of the EOC during the production cycle.

4 Refers to the interest rate of 12% per year on the EOC.

Overheads, depreciation and financial charges (interest cost) represented an increase in operating costs of 15% for the BFT and 14% for conventional systems. Regarding the depreciation of the corresponding items for BFT (US\$ 1,598.75) and conventional (US\$ 152.25)

systems, we highlight that it is not an actual cash disbursement for the producer, but it must be computed for replacement after their useful lives.

After the remuneration of production factors (entrepreneur and investment) were summed, we obtained the total production costs of a cycle, corresponding to US\$ 33,294.87 for the BFT and US\$ 4,064.24 for the conventional system. It is noteworthy that the value related to the “pro-labore” fees remained constant, considering the standard of work in one hectare for both systems.

The productivity of the systems directly influenced the economic profitability. Since BFT was more productive, its revenue was 377% superior compared to the conventional system (Table 4). Comparatively to the production costs, the BFT system obtained an annual operating profit of US\$ 51,871.54 for one productive hectare, corresponding to a value 141% higher than the conventional system. However, the profitability index was superior in the conventional system (59.79%), due to the costs being considerably lower than those of the BFT system.

Regarding the required minimum amount (balance production) to cover all annual production costs, it is necessary to produce 21,046.13 kg yr⁻¹ in the BFT system, but only 2,854.78 kg yr⁻¹ in the conventional system.

Table 4 Profitability of *Litopenaeus vannamei* shrimp culture in BFT and conventional systems undertaken in one hectare in Pernambuco state, Brazil, in 2014.

Variables	BFT	Conventional
Production (kg yr ⁻¹)	29,042.05	6,234.75
Mean price (US\$ kg ⁻¹)	5.91	5.77
Gross revenue (US\$ yr ⁻¹)	171,619.67	35,997.76
Total production cost (US\$ yr ⁻¹)	124,369.00	16,482.73
Operating profit (US\$ yr ⁻¹)	51,871.54	21,523.83
Profitability index (%)	30.22	59.79
Balance production (kg yr ⁻¹)	21,046.13	2,854.78
Balance value (US\$ kg ⁻¹)	4.28	2.64

In the investment analysis for a planning horizon of 10 years, positive values of NPV were obtained for both systems, with greater expressiveness to the BFT system regarding the availability of capital for the producer (Table 5). The internal rate of return (IRR) also presented favorable values for both systems, i.e. above the cost of capital employed (10% per year). However, from the perspective of assessing the return of activity, IRR results were 4.5 times higher for the conventional system (131.86%) compared to the BFT. Thus, it is possible to obtain the return of capital invested in the conventional system in less than a year, whereas it will only happen in about four years with the BFT system.

Table 5 Viability of production of the shrimp *Litopenaeus vannamei* in BFT and conventional systems carried out in one hectare in state of Pernambuco, Brazil, in 2014.

Analysis	BFT	Conventional
Net Present Value (US\$)	142,004.42	105,115.23
Internal Rate of Return (%)	29.44	131.86
Payback period (years)	3.96	0.83

Sensitivity analysis demonstrated how the BFT system is sensitive to market price fluctuations and productivity when compared to the conventional system (Figures 1 and 2). Only BFT showed negative NPV values to changes projected for the selected items. For an approximate price of US\$ 5.70 kg⁻¹, NPV for both systems are equivalent. On the other hand, considering a worst-case scenario, lower prices favor the conventional system.

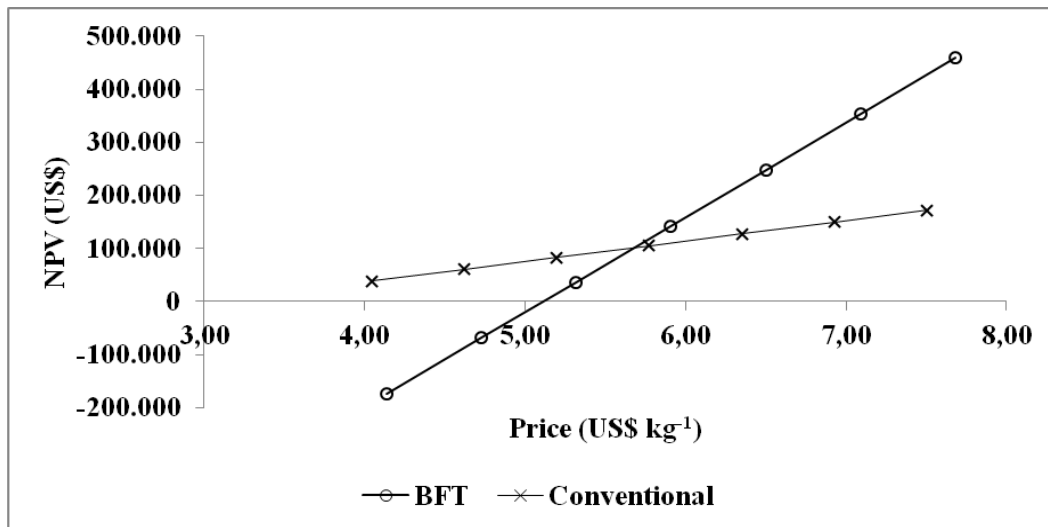


Figure 1 Sensitivity analysis for the cultivation of *Litopenaeus vannamei* in BFT and conventional systems, in Pernambuco, Brazil, considering changes in market prices.

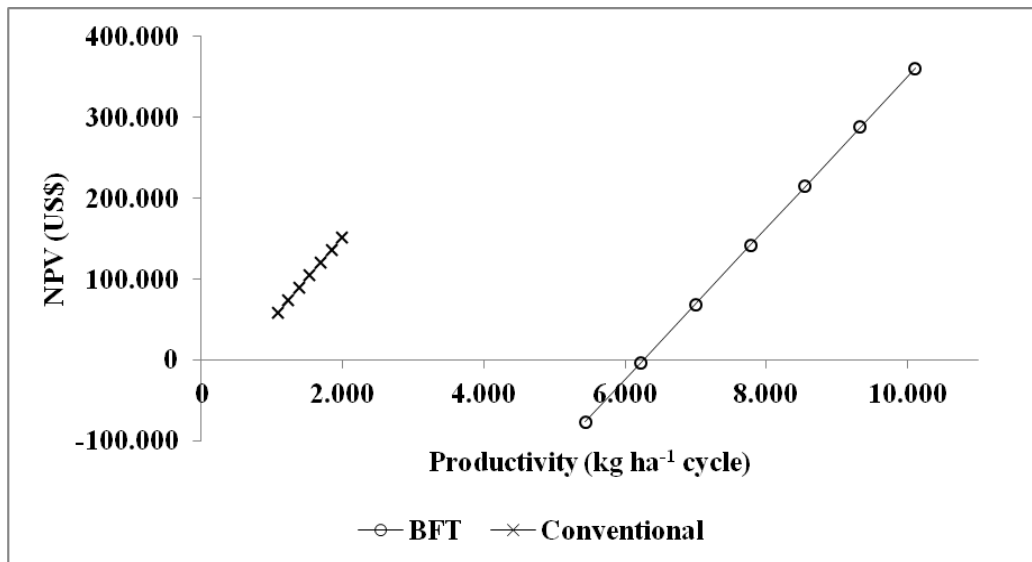


Figure 2 Sensitivity analysis for the cultivation of *Litopenaeus vannamei* in BFT and conventional systems, in Pernambuco, Brazil, considering variations in productivity.

According to Figure 2, only yields above 6,000 kg ha⁻¹ cycle economically enable the BFT system, whereas the NPV for the conventional system remained positive for all projections.

Discussion

The use of the BFT system in the commercial culture of *L. vannamei* is recent in world aquaculture (Avnimelech 2012). The general principles and design criteria to its default setting are still unknown, as there is a variety of models to be applied, demanding time to adapt this system to the local reality, which hinders its insertion and operation in traditional shrimp farming companies (Hargreaves 2013).

The production data of this study reflect the reality faced by most enterprises in the aquaculture sector. To invest in a new or not yet established technology, it is needed to adapt it to the local scenario until the production process can be standardized and survival can be maximized (Buarque 1984; Sanches *et al.* 2014). Even with some difficulties related to the introduction of the BFT system, the results of growth performance for both systems are within the pattern registered in the literature (Avnimelech 2012; Silva *et al.* 2012). It is possible to use

higher densities of shrimp in the BFT system, and as a result increase productivity, but adjustments are needed related to energy use, design and efficiency of the aeration system, among others, demanding higher financial expenditures.

The reduction of the feed conversion rate in an intensive system will depend on feed quality because there is less influence of natural food in the nutrition of organisms (Jory *et al.* 2001; Moss 2002). In the case of BFT, bioflocs can be used as feed for the shrimp, and therefore allow the reduction of FCR. However, it still depends on feed of good quality, since this input may influence the nutritional profile of the microbial aggregates (Avnimelech 2012).

The possibility of controlling the environment in which animals are stocked allows the use of higher densities in the BFT system. This control is only possible by reducing or even eliminating the influence of the adjacent soil and environment as well as the use of specific equipment for monitoring water quality (Avnimelech 2012). Therefore, the use of geomembrane is required and represents the highest investment in the BFT system (31.39%), probably due to the low supply of sales and installation of this material in Brazil (Buarque 1984).

The intensification of shrimp farming requires high investment and high operating costs (Avnimelech 2012; Hanson *et al.* 2013). To implement a productive hectare of BFT system in the state of Pernambuco, operating with 113 shrimp m^{-2} , an investment of US\$ 148,330.51 was necessary, besides the total production cost of US\$ 124,369.00 yr^{-1} . Comparatively to a super intensive BFT system, operating with densities of 500 shrimps m^{-3} in 10 tanks of 500 m^3 each, located in Texas, USA, Hanson *et al.* (2013) estimated the initial investment of approximately US\$ 992,000.00, with total production cost equal to US\$ 983,950.00 yr^{-1} , confirming the direct relationship between stocking density and expenses.

The high influence of feed in operating costs of semi-intensive aquaculture enterprises is already quite emphasized in the literature, but information about the proportion of their share in costs with the increasing of technology in order to enhance the production system are still scarce (Coelho 2005; Campos and Campos 2006; Silva 2012). Corroborating the findings of the present study, Shang *et al.* (1998) found that the most important item in variable costs for intensive shrimp farming in Asia was feed, representing between 23% and 46% of the costs.

According to the authors, the feed also had the highest representation in the cost of inputs used in semi-intensive shrimp farms from that region.

Not only the biggest expense with feed justifies the high total production cost of the BFT system compared to conventional system, but also the high values of labor work and energy contribute significantly to this difference. The BFT technology demand technicians trained to perform specialized activities, requiring more staff compared to the conventional systems. The higher energy consumption in the BFT system is due to a high oxygen demand by the shrimp and heterotrophic bacteria in bioflocs, being mandatory the use of artificial aeration in the minimum ratio of 25 HP ha⁻¹, compared with the need for only 3 HP ha⁻¹ of the conventional system (Hargreaves, 2013).

The profitability analysis of the present work differs from the literature, not only by the variations of the productive system used, but also the culture period and location. Silva *et al.* (2012) analyzed a conventional shrimp production in 2009, in Rio Grande do Norte, Brazil, when 2.5 cycles yr⁻¹ were carried out. They obtained results of annual net revenues and profitability index equal to US\$ 3,843.37 ha⁻¹ and 36%, respectively, explained by lower retail price (US\$ 3.13 kg⁻¹) and annual production (3,375 kg ha⁻¹) compared to this study. In a BFT system conducted in Texas, USA, in 2012, where 5.6 cycles yr⁻¹ were carried out, the retail price was equal to US\$ 7.20 kg⁻¹, and the profitability index (33%) and cost of production (US\$ 4.80 kg⁻¹) were equivalent to those observed in Pernambuco of 30.22% and US\$ 4.28 kg⁻¹, respectively (Hanson *et al.* 2013).

The high cost of production per kilogram in the BFT system is directly related to the need for a greater technological support that enables the intensification. Accordingly, our results in Brazil are in line with shrimp farming facilities located in other countries such as China, the Philippines and Thailand, where the production cost per kilogram tends to increase with intensification of the system (Shang *et al.* 1998).

Regarding the economic viability of the BFT and conventional systems, both showed favorable results with respect to the NPV, IRR and payback period. These indicators are important for the inclusion of the BFT system on farms operating in Brazil, due to the need to

replace the conventional system, which is often affected by new epidemics that cause economic losses (Burford *et al.* 2003; Abreu *et al.* 2011). The sensitivity analysis performed in this study demonstrated the fragility of BFT, but it is possible to increase productivity and reduce costs of this system with the improvement of production techniques and increase of the production scale, respectively, improving profitability and viability indicators, and reducing its susceptibility to market price decline (Guy *et al.* 2009). Thus, investment in BFT confirmed its viability, strengthening the benefit of being a higher biosafety system for the enterprise, mainly operating in closed method, avoiding contamination and spread of pathogens in the cultivation (Avnimelech, 2009).

Conclusion

Despite having high investment values and costs compared to the conventional system, BFT proved to be viable regarding the return on invested capital in short and long terms. Mostly in relation to technical benefits, involving aspects related to productivity and biosafety, this study suggests that the BFT has potentiality to improve farming of *L. vannamei* in northeast Brazil.

Acknowledgements The authors would like to acknowledge the Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) for the financial support.

References

- Abreu MCS, Mattos P, Lima PES et al (2011) Shrimp farming in coastal Brazil: Reasons for market failure and sustainability challenges. *Ocean Coast Manage* 54:658-667
- Avnimelech, Y (1999) C/N ratio as a control element in aquaculture systems. *Aquaculture* 176:227–235
- Avnimelech, Y (2012) *Biofloc Technology - a practical guide book*. World Aquaculture Society, Louisiana

- Brandão ASP, Rezende GC, Marques RWC (2006) Crescimento agrícola no período 1999/2004: a explosão da soja e da pecuária bovina e seu impacto sobre o meio ambiente. *Econ Aplic* 10(2):249-266
- Buarque C (1984) Avaliação econômica de projetos: uma apresentação didática. Elsevier, Rio de Janeiro
- Burford MA, Thompson PJ, McIntosh RP et al (2003) Nutrient and microbial dynamics in high intensity, zero-exchange shrimp ponds in Belize. *Aquaculture* 219:393-411
- Campos KC, Campos RT (2006). Alternativa econômica para o novo rural no Nordeste brasileiro: o cultivo do camarão *Litopenaeus vannamei* em água doce. *GEPEC* 10(2):40-53
- Cavalcanti LE (2012) Aspectos geoambientais da carcinicultura no Rio Grande do Norte e seus desdobramentos legais: a implementação da licença ambiental em defesa do meio ambiente. *REDUNB* 10:71-88
- Coelho MAS (2005). Análise de custo/volume/lucro e investimentos em carcinicultura de pequeno porte. *Custos e @gronegócio* 1(1):62-8
- De Schryver P, Crab R, Defoirdt T et al (2008) The basics of bio-flocs technology: The added value for aquaculture. *Aquaculture* 277:125–137
- Ebeling JM, Timmons MB, Bisogni JJ (2006) Engineering analysis of the stoichiometry of photoautotrophic, autotrophic, and heterotrophic control of ammonia-nitrogen in aquaculture production systems. *Aquaculture* 257:346-358
- Guy JA, Johnston B, CAcho OJ (2009) Economic assessment of an intraspecific cross of silver perch (*Bidyanus bidyanus* Mitchell) for commercial farming. *Aquac Econ Manage* 13(4):328-343
- Ha TTT, Dijk HV, Bush SR (2012) Mangrove conservation or shrimp farmer's livelihood? The devolution of forest management and benefit sharing in the Mekong Delta, Vietnam. *Ocean Coast Manage* 69:185-193
- Hanson T, Samocha T, Morris T et al (2013) Economic Analyses Project Rising Returns For Intensive Biofloc Shrimp Systems. *Global Aquac Advoc* 24-26

- Hargreaves JA (2013) Biofloc Production Systems for Aquaculture. Southern Regional Aquaculture Center – SRAC, EUA
- Hossain S, Alam SMN, Lin CK et al (2004) Integrated management approach for shrimp culture development in the coastal environment of Bangladesh. *World Aquac* 35:35-67
- Jory DE, Cabrera TR, Dugger DM et al (2001) A global review of shrimp feed management: status and perspectives. In: Browdy CL, Jory DE (ed) *The New Wave, Proceedings of the Special Session on Sustainable Shrimp Culture*. Aquaculture Baton Rouge, USA
- Kam LE, Leung P (2008) Financial risk analysis in aquaculture. In: Bondad-Reantaso MG (ed) *Understanding and applying risk analysis in aquaculture*. Rome, Italy
- Krummenauer D, Peixoto S, Cavalli RO et al (2011) Superintensive Culture of White Shrimp, *Litopenaeus vannamei*, in a Biofloc Technology System in Southern Brazil at Different Stocking Densities. *J World Aquac Soc* 42:726-733
- Martin NB, Serra R, Oliveira MDM et al (1998) Sistema Integrado de Custos Agropecuários - CUSTAGRI. *Informações Econômicas* 28(1):7-28
- Matsunaga M, Bemelmans PF, Toledo PEN (1976) Metodologia de custo utilizada pelo IEA. *Agricultura em São Paulo* 23(1):123-139
- MPA Ministério da Pesca e Aquicultura (2012) Boletim Estatístico da Pesca e Aquicultura: Brasil 2010. <http://www.mpa.gov.br>. Cited 18 Out 2014
- Moss SM (2002) Dietary importance of microbes and detritus in Penaeid shrimp aquaculture. In: Lee CS, O'Bryen P (ed) *Microbial Approaches to Aquatic Nutrition within Environmentally Sound Aquaculture Production Systems*. World Aquaculture Society, Baton Rouge, USA
- Natori MM, Sussel FR, Santos ECB et al (2011) Desenvolvimento da Carcinicultura Marinha no Brasil e no Mundo: Avanços Tecnológicos e Desafios. *Informações Econômicas* 41(2):61-73
- Noronha JF (1981) Projetos agropecuários: administração financeira, orçamentação e avaliação econômica. Fundação Estudos Agrários Luiz de Queiroz, São Paulo
- Pinheiro WC, Filho JA, Maracajá PB (2007) Efeitos climáticos e físico-químicos sobre a biologia do *Litopenaeus vannamei* cultivado em viveiro. *Revista Verde* 2(2):142–150

- Rocha IP, Rodrigues J (2004) A carcinicultura brasileira em 2003. Revista da Associação Brasileira de Criadores de Camarão 6:30-36
- Rocha IP, Rodrigues JF, Borba MG et al (2013) Levantamento da infraestrutura produtiva e dos aspectos tecnológicos, econômicos, sociais e ambientais da carcinicultura marinha no Brasil em 2011. ABCC, Natal
- Sanches EG, Silva FC, Ramos APFDA (2014) Viabilidade econômica do cultivo do robalo-flecha em empreendimentos de carcinicultura no nordeste do Brasil. Boletim do Instituto de Pesca, 40(4):577–588
- Shang YC, Leung P, Ling BH (1998) Comparative economics of shrimp farming in Asia. Aquaculture, 164:183–200
- Silva SLG, Pontes FST, Pontes FM et al (2012) Análise de investimento na carcinicultura do Rio Grande do Norte: um estudo de caso. Revista Caatinga, 25(1):168-175
- Valiela I, Bowen JL, York JK (2001) Mangrove forests: one of the World's threatened major tropical environments. BioScience, 51(10):807-815
- Varian H (2006) Microeconomia: princípios básicos. Elsevier, Rio de Janeiro
- Wainberg AA, Ribeiro FAZ, Ribeiro K et al (2011) Aquaculture in Rio Grande do Norte, NE-Brazil: Past, present and future. J World Aquac, 42(1):21-25
- Wasielesky W Jr, Atwood H, Stokes A et al (2006) Effect of natural production in a zero exchange suspended microbial floc based super-intensive culture system for white shrimp *Litopenaeus vannamei*. Aquaculture, 258:396-403

Artigo científico encaminhado a Revista **Aquaculture International**. Todas as normas de redação e citação, deste capítulo, atendem as estabelecidas pela referida revista, verificadas no seguinte site: http://www.springer.com/life+sciences/ecology/journal/10499?detailsPage=pltdci_760374.

5.2- Artigo científico II

Risk analysis of the insertion of biofloc technology in the commercial production of marine shrimp *Litopenaeus vannamei*: a case study in a farm in Pernambuco, Brazil

Marcelo Augusto Soares Rego^{a,*}, Omar Jorge Sabbag^b, Roberta Soares^c, Silvio Peixoto^d

^aUniversidade Federal Rural de Pernambuco, Rua Dom Manoel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos, Recife, Pernambuco, 52.171-030, Brasil, telefone: 55 081 998181304, e-mail: mar_soar@yahoo.com.br

^bUniversidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Av. Brasil Centro, 56, Ilha Solteira, São Paulo, 15.385-000, Brasil, e-mail: sabbag@agr.feis.unesp.br

^cUniversidade Federal Rural de Pernambuco, Rua Dom Manoel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos, Recife, Pernambuco, 52.171-030, Brasil, e-mail: beta.ufrpe@gmail.com

^dUniversidade Federal Rural de Pernambuco, Rua Dom Manoel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos, Recife, Pernambuco, 52.171-030, Brasil, e-mail: silvio.peixoto@gmail.com

ABSTRACT

Uncertainties related to the future behavior of projected cash flows cause doubts when choosing investments. Therefore, it is essential to provide information that assist the entrepreneur in decision-making. This study evaluated the financial indicators and verified the risks of biofloc technology (BFT) and conventional systems employed in a shrimp farm in the state of Pernambuco, Brazil. We used the simulation by the Monte Carlo method as a probabilistic analysis of the net present value (NPV) and internal rate of return (IRR). The input variables considered were retail price (US\$/kg), feed price (US\$/kg), labor value (US\$), productivity (kg/ha/year), production cycle period (days) and feed conversion ratio (FCR). The cash flows have been designed for 10 years to the discount rates of 10, 13 and 16%. The BFT system showed greater sensitivity to changes in rates, reducing significantly the NPV when interest rates increased. Risk was only observed in the BFT system, with up to 15% of probability when subjected to the discount rate of 16%. Both shrimp production systems represent a significant investment alternative for the rural sector in northeastern Brazil, because even from the perspective of risk management, the IRR has 90% probability of ranging from 7.66 to 59.40% for the BFT, and from 67.96 to 201.03% for the conventional systems.

Keywords: investment analysis, Monte Carlo method, sensitivity analysis, biofloc, shrimp farming.

1. Introduction

Brazil is the eighth largest producer of farmed shrimp in the world, with 74,415 tons produced in 2012 (FAO, 2014). However, the conventional culture of the marine shrimp *Litopenaeus vannamei*, characterized by using large areas, low stocking densities, poor technological support and constant water flow, is still widely used in Brazil. However, no progress has been observed in the shrimp production in the country in recent years, and many adversities related to the operationalization of the conventional model have been reported (Abreu et al., 2011; Maia et al., 2011).

Brazilian shrimp producers are becoming interested in closed culture systems that are able to withstand higher stocking densities, such as the biofloc technology (BFT) system. They are motivated by the need for development of shrimp farming industry, justified by increases in demand and product selling price, and the constant concern for biosafety (Abreu et al., 2011; Hargreaves, 2006). The BFT system, characterized by the formation of microbial aggregates called bioflocs, is advantageous over the conventional system in relation to their higher production and biosafety (Avnimelech, 2012; Crab et al., 2012; Hargreaves, 2013).

Investments in production intensification and new technologies contribute to an increased productivity in shrimp farming. However, few studies evaluate the economic aspects of the different culture systems used in this activity, hampering the decision-making by the producer (Muangkeow et al., 2007; Silva et al., 2012; Hanson et al., 2013; Gonzalez-Romero et al., 2014). Commonly used techniques to evaluate an investment project and establish parameters of feasibility are the payback period (PP), internal rate of return (IRR) and net present value (NPV). However, information related to the risks of the various production systems are rare in the literature (Bruni et al., 1998).

The impossibility of predicting local and economic conditions related to the project influences the decision-making about the investments, and it is therefore important to consider certain degree of risk and uncertainty. Because it is impossible to get all the important information to implement an activity, it is difficult to eliminate the risks that are inherent to the project itself. While risk identification is based on the knowledge of the possible future behavior of the main variables that affect the project and their probability of occurrence, uncertainty occurs when the possible future states of these variables are unknown (Wolter and Mathias, 1996). It's possible to turn some uncertainties into risk through the simulation process, identifying the future possibilities of the key project variables (Casarotto Filho and Kopitke, 2000).

One of the techniques used for risk analysis is the simulation by the Monte Carlo method, which verifies the probability of each system becoming unviable in the face of operational aspects and price oscillations in the market. By using this method, the probabilistic (stochastic)

distribution of the indicator used is generated, determining its probability of standing below an expected value (Costa and Azevedo, 1996).

Even with advantages related to productivity and biosafety, high investments in the BFT system entails uncertainties regarding the acquisition of this technology by shrimp farmers. These doubts relate mainly to the risks linked to the insertion of this new technology. Considering the need for information that helps entrepreneurs in decision-making, this study aimed to evaluate the financial indicators and assess the risk of BFT and conventional systems used in a shrimp farm in northeastern Brazil.

2. Materials and methods

The study was conducted in a commercial farm in Pernambuco state, Brazil. Information regarding the investment, operating costs and revenues of the BFT system were obtained from the construction and operation of three 625 m² ponds lined with high-density polyethylene (HDPE). The data related to the conventional system were obtained from the production history of three semi-excavated ponds (2.86 ha each) and from information about the values of new equipment and maintenance of existing farm structures. Prices² for the project items and inputs refer to the year 2014.

Both the BFT and the conventional systems were stocked with PL₁₀ (post-larvae with ten days after mysis metamorphosis) of *Litopenaeus vannamei* from a commercial hatchery. Shrimp were fed commercial diet (Camanutri 32% and 40% crude protein. Presence, São Paulo-Brazil) according to the different stages of their development, with the amount being adjusted after biometrics, and the use of food trays and feed table (Jory et al., 2001).

Sugarcane molasses were used as a carbon source for the formation of bioflocs in the BFT system, maintaining the carbon/nitrogen ratio of 20:1 in the culture medium (Avnimelech, 1999; Ebeling et al., 2006). To promote constant aeration and horizontal and vertical movement of the water, a paddlewheel aerator (2 HP) was used in each pond of the BFT system, providing 32 HP per hectare (Hargreaves, 2013). The conventional system did not require mechanical aeration, since it had lower stocking density, and the electricity was used only for pumping.

For the analysis were calculated the average of the zootechnical indexes of production obtained during the year 2014, corresponding to 9 and 12 cycles in the BFT and conventional systems, respectively. The zootechnical indexes of production systems used to build the cash flow spreadsheets and risk analysis are shown in Table 1. In order to standardize the comparison between the systems, the area of production considered was one hectare, that is, 16 ponds of 625 m² in BFT and 10,000 m² in conventional system.

² Reference value (November/2014 - US\$ 1.00 = R\$ 2.49).

Table 1. Means of zootechnical indexes ($\pm$ standard deviation) for two shrimp production systems (BFT and conventional) evaluated in northeastern Brazil.

Variables	BFT	Conventional
Density (shrimp/m ²)	113 $\pm$ 7.2	20 $\pm$ 1.8
Survival (%)	58 $\pm$ 19.6	73 $\pm$ 4.6
Final mean weight (g)	11.9 $\pm$ 3.6	10.4 $\pm$ 0.2
Productivity (kg/ha/cycle)	7,775 $\pm$ 1,955.7	1,537 $\pm$ 185.2
FCR (feed quantity/biomass gain)	1.84 $\pm$ 0.3	1.40 $\pm$ 0.1
Cycle duration (days)	98 $\pm$ 13.2	90 $\pm$ 0.5
Retail price (US\$/kg)	5.91 $\pm$ 0.9	5.77 $\pm$ 0.6

Investment risks in both shrimp farming systems were evaluated by the indicators net present value (NPV) and internal rate of return (IRR). NPV is defined as the sum of the present values of cash flows minus the initial investment value. According to this indicator, the project is only considered viable when the NPV is positive. Discount rates used were 10, 13 and 16% per year, the first one referring to the Special System for Settlement and Custody (SELIC) of 2014, considered the benchmark interest rate of the Brazilian economy, whose value reflects the profitability average of productive activities in the economy (IRSB, 2015).

NPV was calculated according to the following formula:

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{PV}{(1+r)^t} - I$$

NPV = net present value; PV = cash flow value (difference between inflows and outflows); n = number of flows; r = discount rate (above savings account opportunity cost); t = analysis period (i = 1, 2, 3, ...); I = investment value.

From the cash flows for a horizon of 10 years, the internal rate of return (IRR) was determined, by definition, as the indicator that makes the net present value of the flow equal to zero (Noronha, 1981). As criteria for the viability of the project, the IRR must be equal to or greater than the minimum rate of attractiveness (MRA), stipulated in this study to be 10% per year (SELIC). The IRR does not depend on the discount rate chosen, being influenced only by the variation of costs and benefits (Di Trapani, 2014). However, this viability indicator shows some weaknesses, as when comparing large and small projects, because it can make small projects appear more attractive, whereas large projects may be more attractive with NPV (Kelleher and MacCormack 2004).

IRR was obtained according to the following expression:

$$0 = \{FV_0 + [FV_1/(1+r)^1] + [FV_2/(1+r)^2] + [FV_3/(1+r)^3] + \dots + [FV_n/(1+r)^n]\} - I$$

FV = net cash flows (0, 1, 2, 3, ..., n); r = discount rate (corresponding to IRR).

To know the importance of each input and each variable on the economic performance of the systems, and then select items with greater influence, we performed a sensitivity analysis. All items included in cash flow were checked individually, using a 10% change in value, always in unfavorable direction for the results of the systems. Thus, it was possible to observe the items with the greatest impact on the indicators of economic viability, NPV and IRR.

The investment project evaluations are frequently linked to the deterministic analysis, simplifying, and often under or overestimating the random behavior of the cash flow information, resulting in uncertainty. Thus, the stochastic assessment through the use of probabilistic models such as the Monte Carlo method is important, because it allows the display of multiple scenarios and their probabilities from random numbers generation, adding relevant information to the process of decision-making in risk situations (Sabbag and Costa, 2015; Simões and Gouvea, 2015).

From the results obtained in the sensitivity analysis, we used a simulation technique by Monte Carlo method to assess the risk of the systems. The triangular distribution was adopted for this technique, using the minimum, maximum and mean (most likely) values registered in the system operation for each input (Sabbag and Costa, 2015; Simões and Gouvea, 2015). By using the software SimulAr (version 2.6) in Microsoft Office Excel® platform, 20,000 iterations³ were performed among the chosen input variables and different cash flows were generated, from which different results were obtained for the viability indicators (NPV and IRR). After obtaining the frequency distribution of the aforementioned indicators, it was possible to assess the likelihood of success or failure of the system.

The following input variables were used in the simulation by Monte Carlo method, identified in the sensitivity analysis: retail price (US\$/kg), feed price (US\$/kg), labor value (US\$) productivity (kg/ha/year), production cycle period (days) and feed conversion ratio (FCR). To define the variables of price behavior in the region, we estimated the minimum and maximum amount of each financial item input, considering the variation of 10%, less or more, in average values recorded during the year 2014. As for the operational items, the best and worst results recorded in the productions were considered as minimum and maximum for each variable.

In short, the risk analysis was based on the elaboration of scenarios produced by Monte Carlo method. Thus, it was possible to stipulate the range of values (random) to which each variable independently could join, considering their respective defined parameters and distributions.

3. Results

³Number of repetitions.

For a deterministic assessment, both the BFT and the conventional systems showed positive NPV at predetermined discount rates, confirming their viability even at elevated rates of attractiveness for the activity (Table 2). The BFT system showed greater proportional reduction in the NPV with an increase in the discount rate, which means a greater sensitivity to rising interest rates.

Table 2. Net present value (US\$), considering discount rates of 10, 13 and 16% per year, used in two shrimp production systems (BFT and conventional) in northeastern Brazil, in 2014.

Production systems	Discount rate (%)		
	10	13	16
BFT	142,004.42	108,063.14	80,042.74
Conventional	105,115.23	91,097.13	79,524.40

In relation to the results of the probabilistic risk analysis (Monte Carlo method) for each studied production system, only BFT was at risk of becoming unviable (Table 3). This probability increased 122% when the discount rate ranged from 10 to 16% per year.

Table 3. Probability (%) of BFT and conventional systems to present negative net present value considering discount rates of 10, 13 and 16% per year in northeastern Brazil, in 2014.

Production systems	Discount rate (%)		
	10	13	16
BFT	6.8	10.0	15.1
Conventional	0.0	0.0	0.0

The conventional system had a smaller amplitude in the NPV variation at a discount rate of 10% (SELIC), ranging from US\$ 12,421.29 to US\$ 228,830.92 (Figure 1). As for the BFT, the NPV ranged from US\$ -114,828.51 to US\$ 645,705.62, proving to be highly impacted by changes in the financial and operational items employed in the Monte Carlo method. The mean values and standard deviations of NPV (10% per year) obtained on risk analysis were respectively US\$ 173,963.45 and US\$ 126,794.78 for the BFT, and US\$ 104,096.39 and US\$ 36,477.51 for the conventional system, and these results are directly related to the technological level of the system. In this sense, there is a 90% probability of the NPV (10% per year) changing between US\$ -14,582.73 and US\$ 398,212.85 with the use of the BFT system, and between US\$ 47,334.94 and US\$ 167,975.50 using the conventional system.

The figure 1 shows a considerable risk degree considered inherent in the technological standards present in the BFT system, expressed by the probability of 6.8% of activity failure.

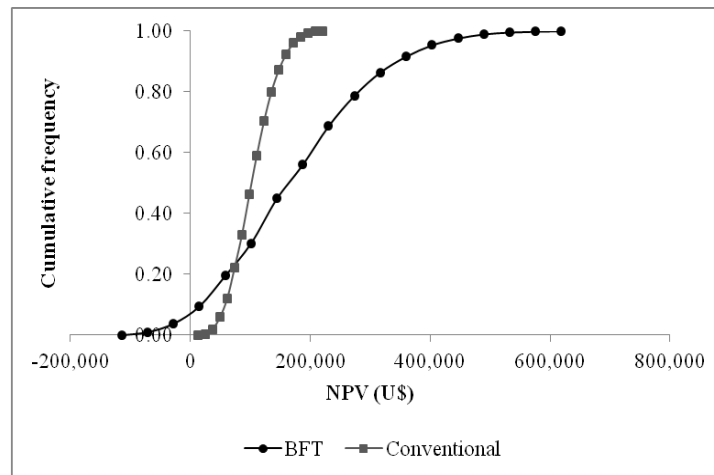


Figure 1. Curves of ascendant cumulative probability of net present value (NPV) simulated by Monte Carlo method for BFT and conventional systems (discount rate of 10% per year), evaluated in a farm in the state of Pernambuco, Brazil, in 2014.

According to the production achieved in 2014, IRR was greater than MRA for both systems, corresponding to 29.44% in the BFT and 131.86% in the conventional systems, both being viable. However, when assessing the IRR through Monte Carlo method, the probability of BFT and conventional systems presenting an $IRR < 10\%$ was 6.84% and 0.00%, respectively (Figure 2). The IRR, according to risk analysis, has a 90% chance to vary between 7.66% to 59.40% for the BFT system, and 67.96% to 201.03% for the conventional system. The average IRR obtained by Monte Carlo method was equal to 32.60% in the risk analysis of the BFT system, whereas this indicator was 130.68% in the conventional system.

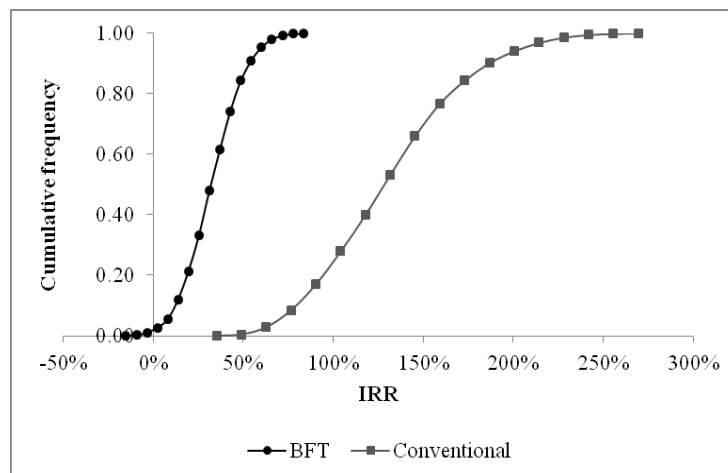


Figure 2. Curves of ascendant cumulative probability of the internal rate of return (IRR) simulated by Monte Carlo method for the BFT and conventional systems, evaluated in a farm in the state of Pernambuco, Brazil, in 2014.

4. Discussion

The sharp reduction of the NPV in the BFT system by increasing the discount rate is due to the high cost of operation compared to the conventional system, because it uses more inputs by area and higher demand of skilled labor. From this observation, it is concluded that the higher the discount rate, the less attractive will be the BFT system compared to the conventional. Moreover, it is possible to reduce the production cost with an expansion of the system for more appropriate scales (Buarque, 1991; Peres et al., 2004).

The BFT system presents risks of becoming unviable, with probabilities of 6.80, 10.00 and 15.10%, when subjected to discount rates of 10, 13 and 16%, respectively. The conventional system obtained lower return at rates below 16%, although there was no risk of compromising this activity. This fact is attributed to a lower capital expenditure for the purchase of inputs and hiring labor, whose price variation involves high risk (Peres et al., 2004).

Silva et al. (2012) evaluated the economic performance of a conventional system of shrimp farming in the state of Rio Grande do Norte, Brazil. In 2009, the probability of 12.8% of the NPV (12% of interest) being negative was observed, even with favorable results of the NPV and IRR (US\$ 86,322.86 and 60%, respectively). However, at that time, the retail price of the shrimp was US\$ 3.13/kg and the number of cycles/year was 2.5, which explains the occurrence of risk in the scenario presented.

According to Gitman (1997) and Bruni et al. (1998), the risk is directly related to the standard deviation, i.e. the measure of variability of the returns related to their mean value. The risk involved in the acquisition of an asset is higher with the increase of the standard deviation of the expected value of the returns. The variability of NPV results obtained by Monte Carlo method was higher in the BFT (standard deviation of US\$ 126,794.78), as well as the risk, corroborating the above noted by those authors.

By analyzing other agricultural activities in Brazil, as milk production in the state of Rio de Janeiro, with a projected cash flow for a 20-year horizon, there was a risk of 39% of the system being unable to remunerate the capital invested at the discount rate of 6% per year, interest similar to the savings accounts in the period (Haddade et al., 2005). Nonetheless, Peres et al. (2008) observed risks ranging from 4.93 to 71.69%, at the discount rate of 10%, for different milk production systems in São Paulo state. From these results, it is possible to associate the risk factors related to the characteristics of each production system, as well as local issues in the area where the activity is likely to be installed.

A high IRR in the conventional shrimp farming system was observed by Silva and Bezerra (2004), when evaluated an investment in a shrimp farm of 10 hectares in the state of Ceará, Brazil, with a 10-year cash flow and IRR equal to 103.65%. The high value of this rate leads to the conclusion that it is preferable to invest in this activity, although there are some problems related to this system incapable of being measured by risk analysis, as the case of the

possibility of shrimp contamination by pathogens. Severe disease outbreaks in farmed shrimp have been recorded in many regions of Brazil, being difficult to predict their expansion, as well as the contamination by new pathogens (Costa et al., 2009). Other uncertainties are related to climatic factors, as some production systems are susceptible to the surrounding environment, and disasters might occur, such as the floods recorded in 2008 and 2009 in the state of Rio Grande do Norte, that destroyed 2,700 hectares of shrimp farming area (Abreu et al., 2011).

Even with risk in the BFT system, the IRR mean results in this study are favorable to both systems evaluated, as they are higher than the remunerations observed in investments available in the market, such as savings accounts with earnings that stood at around 6% per year over the same period (CBB, 2015). Considering each cash flow obtained through the Monte Carlo method, as a result of a number of risk factors such as prevailing prices and productivity, shrimp farmers will need to improve its business management, bargain prices and improve productive management in order to adopt the BFT production system and replace the conventional system.

5. Conclusion

The BFT culture system of *L. vannamei* shrimp, when applied in the Pernambuco state, Brazil, showed risk, justified by its high sensitivity to changes in costs and revenues. However, both systems evaluated in this study represent important investment opportunities for the Brazilian rural sector, as they have high probability of high financial returns.

Acknowledgements

The authors would like to acknowledge the Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) for the financial support.

References

- Abreu, M.C.S., Mattos, P., Lima, P.E.S., Padula, A.D., 2011. Shrimp farming in coastal Brazil: Reasons for market failure and sustainability challenges. *Ocean Coast. Manag.* 54, 658–667.
- Avnimelech, Y., 2012. *Biofloc technology – A practical guide book*, second ed. World Aquaculture Society, Baton Rouge, Louisiana
- Avnimelech, Y., 1999. Carbon/nitrogen ratio as a control element in aquaculture systems. *Aquaculture* 176, 227–235.
- Bruni, A., Famá, R., Siqueira, J., 1998. Análise do risco na avaliação de projetos de investimento: uma aplicação do método de Monte Carlo. *Cad. Pesqui. em Adm.* 1, 62-75.
- Buarque, C., 1991. *Avaliação econômica de projetos*, eighth ed. Campus, Rio de Janeiro.
- Casarotto Filho, N., Kopittke, B.H., 2000. *Análise de investimento*, Atlas, São Paulo.

CBB (Central Bank of Brazil), 2015. Caderneta de poupança. From: <http://www4.bcb.gov.br/pec/poupanca/poupanca.asp> (Accessed 20 May 2015).

Costa, A.M., Buglione, C.C., Bezerra, F.L., Martins, P.C.C., Barracco, M.A., 2009. Immune assessment of farm-reared *Penaeus vannamei* shrimp naturally infected by IMNV in NE Brazil. *Aquaculture* 291, 141–146.

Costa, L.T.A., Azevedo, M.C.L., 1996. *Análise Fundamentalista*, FGV/EPGE, Rio de Janeiro.

Crab, R., Defoirdt, T., Bossier, P., Verstraete, W., 2012. Biofloc technology in aquaculture: Beneficial effects and future challenges. *Aquaculture* 356-357, 351–356.

Di Trapani, A.M., Sgroi, F., Testa, R., Tudisca, S., 2014. Economic comparison between offshore and inshore aquaculture production systems of European sea bass in Italy. *Aquaculture* 434, 334–339.

Ebeling, J.M., Timmons, M.B., Bisogni, J.J., 2006. Engineering analysis of the stoichiometry of photoautotrophic, autotrophic, and heterotrophic removal of ammonia-nitrogen in aquaculture systems. *Aquaculture* 257, 346–358.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), 2014. *The State of World Fisheries and Aquaculture 2014*, Rome.

Gitman, L. J., 1997. *Princípios de administração financeira*, seventh ed. Harbra, São Paulo.

Gonzalez-Romero, M.A., Hernandez-Llamas, A., Ruiz-Velazcoa, J.M.J., Plascencia-Cuevas, T.N., Nieto-Navarro, J.T., 2014. Stochastic bio-economic optimization of pond size for intensive commercial production of whiteleg shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture* 433, 496–503.

Haddade, I.R., Souza, P.M., Barros, E.E.L., Alves, G.R., Scolforo, L., Cordeiro, M.D., Peras, A.A.C., Henriques, L.T., 2005. Avaliação econômica sob condições de risco em sistema produtivo de gado de leite na região Norte do estado do Rio de Janeiro. *Arq. Bras. Med. Vet. e Zootec.* 57, 361–366.

Hanson, T., Samocha, T., Morris, T., Advent, B., Magalhães, V., Braga, A., 2013. Economic Analyses Project Rising Returns For Intensive Biofloc Shrimp Systems. *Global Aquac. Advoc.*, 24-26.

Hargreaves, J.A., 2006. Photosynthetic suspended-growth systems in aquaculture. *Aquac. Eng.* 34, 344–363.

Hargreaves, J.A., 2013. *Biofloc Production Systems for Aquaculture*. SRAC Publication, 1–12.

IRSB (Internal Revenue Service of Brazil), 2015. Taxa SELIC. From: <http://idg.receita.fazenda.gov.br/orientacao/tributaria/pagamentos-e-parcelamentos/taxa-de-juros-selic> (Accessed 26 March 2015).

Jory, D.E., Cabrera, T.R., Dugger, D.M., Fegan, D., Lee, P.G., Lawrence, L., Jackson, C.J., McIntosh, R.P., Castañeda, J., 2001. A Global Review of Shrimp Feed Management: Status and Perspectives, in: Browdy, C.L., Jory, D.E. (Eds.), *The New Wave, Proceedings of the Special Session on Sustainable Shrimp Culture*, *Aquaculture* 2001. The World Aquaculture Society, Baton Rouge, LA, USA, pp. 104–152.

Kelleher, J.C., MacCormack, J.J., 2004. Internal rate of return: a cautionary tale. From: <http://www.cfo.com/printable/article.cfm/3304945> (Accessed 19 June 2015).

Maia, E.D.P., Gálvez, A.O., Brito, L.O., 2011. Brazilian shrimp farms for *Litopenaeus vannamei* with partial and total recirculation systems species. *Int. J. Aqu. Sci* 2, 16-27.

Muangkeow, B., Ikejima, K., Powtongsook, S., Yi, Y., 2007. Effects of white shrimp, *Litopenaeus vannamei* (Boone), and Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* L., stocking density on growth, nutrient conversion rate and economic return in integrated closed recirculation system. *Aquaculture* 269, 363–376.

Noronha, J.F., 1981. Projetos agropecuários: administração financeira, orçamentação e avaliação econômica, Fundação Estudos Agrários Luiz de Queiroz, São Paulo.

Peres, A.A.D., de Souza, P.M., Maldonado, H., da Silva, J.F.C., Soares, C.D., Barros, S.C.W., Haddade, I.R., 2004. Economical analysis of pasture production systems to cattle in the region of Campos dos Goytacazes-RJ. *Rev. Bras. Zootec. J. Anim. Sci.* 33, 1557–1563.

Peres, A.A.C., Souza, P.M., Vasquez, H.M., Silva, J.F.C., Carvalho, C.A.B., Carvalho, J.B.P., Morenz, M.J.F., 2008. Análise financeira sob condições de risco de sistemas de produção de leite na região do Vale do Paraíba, SP. *Bol. Ind. Ani.* 1, 35–42.

Sabbag, O.J., Costa, S.M.A.L., 2015. Análise de custos da produção de leite: aplicação do método de Monte Carlo. *Rev. Ext. Rur.* 22, 125-145.

Silva, S.L.G., Pontes, F.S.T., Pontes, F.M., Junior, A.P.B., Oliveira, D.M., 2012. Análise de investimento na carcinicultura do Rio Grande do Norte: um estudo de caso. *Rer. Caat.* 25, 168–175.

Silva, L.A.C., Bezerra, M.A. 2004. Análise econômico-financeira da carcinicultura do estado do Ceará: um estudo de caso. In: XLII Congresso Brasileiro de Economia e Sociologia Rural, 1, 2004, Cuiabá, Anais eletrônicos... Cuiabá, 2004. From: <http://sober.org.br/palestra/12/050280.pdf> (Accessed 15 January 2015).

Simões, D., Gouvea, A.C.F., 2015. Método de Monte Carlo aplicado a economicidade do cultivo de tilápia-do-Nilo em tanques-rede. *Arch. Zootec.* 64, 41-48.

Woiler, S., Mathias, W.F., 1996. Projetos: planejamento, elaboração e análise, Atlas, São Paulo.

Artigo científico encaminhado a Revista **Aquaculture (Amsterdam)**. Todas as normas de redação e citação, deste capítulo, atendem as estabelecidas pela referida revista, verificadas no seguinte site: https://www.elsevier.com/wps/find/journaldescription.cws_home/503302?generatepdf=true?generatepdf=true.

5.3- Artigo científico III

ANÁLISE DE EFICIÊNCIA TÉCNICA DA CRIAÇÃO DO CAMARÃO MARINHO *Litopenaeus vannamei* NOS SISTEMAS BFT E CONVENCIONAL EM FAZENDA DO ESTADO DE PERNAMBUCO, BRASIL

Marcelo REGO¹, Omar SABBAG², Roberta SOARES¹, Silvio PEIXOTO¹

¹Universidade Federal Rural de Pernambuco, Rua Dom Manoel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos, Recife, Pernambuco, 52171-030, Brasil, e-mail: mar_soar@yahoo.com.br

²Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Av. Brasil Centro, 56, Ilha Solteira, São Paulo, 15385-000, Brasil, e-mail: sabbag@agr.feis.unesp.br

RESUMO

Diante da escassez de informações que auxiliem os carcinocultores na utilização dos insumos da melhor maneira possível, objetivou-se com o presente estudo avaliar a eficiência técnica dos ciclos produtivos do camarão marinho *Litopenaeus vannamei* nos sistemas convencional e de bioflocos (BFT) em fazenda localizada no estado de Pernambuco. Foram avaliados, através da análise envoltória de dados (DEA), 48 ciclos produtivos no sistema convencional ao longo dos anos de 2013 e 2014, e 9 ciclos no sistema BFT no ano de 2014. As variáveis de entrada (*inputs*) corresponderam à densidade de povoamento (pós-larvas m⁻²), quantidade de ração (kg ha⁻¹ ciclo⁻¹), mão de obra (homem ha⁻¹) e energia (HP ha⁻¹), enquanto a saída (*output*) correspondeu à produtividade (kg ha⁻¹ ciclo⁻¹). Os resultados indicaram quatro ciclos de produção (7,0%) eficientes tecnicamente, sendo três do sistema convencional e um do BFT. Ao comparar os sistemas produtivos, constatou-se diferença significativa nos escores médios de eficiência técnica destes. Verificou-se uma maior influência do manejo na ineficiência do sistema convencional, enquanto a escala produtiva foi o fator a influenciar na redução do escore médio de eficiência técnica do sistema BFT. Os resultados do presente estudo permitirão o aperfeiçoamento do cultivo do camarão *L. vannamei* em ambos os sistemas avaliados, contribuindo para redução dos desperdícios e aumento dos lucros.

Palavras-chave: análise envoltória de dados; carcinicultura; *Litopenaeus vannamei*; sistema convencional; sistema de bioflocos.

INTRODUÇÃO

A carcinicultura marinha brasileira, mesmo representando uma importante atividade rural geradora de emprego e renda, ainda encontra dificuldades para o seu desenvolvimento (SAMPAIO *et al.*, 2008; NATORI *et al.*, 2011). O sistema de cultivo amplamente utilizado no Brasil, chamado de “convencional”, tem sido apontado como causador de diversos impactos negativos, como descarte de efluentes, escape de espécie exótica para o ecossistema, proliferação de doenças, entre outros (LACERDA *et al.*, 2006; SOUSA *et al.*, 2006; ABREU *et al.*, 2011). Como consequência disto, tem se verificado perdas de produção devido à contaminação dos camarões por patógenos e dificuldade de regulamentação dos empreendimentos (ABREU *et al.*, 2011).

O emprego do sistema de bioflocos (*biofloc technology* - BFT) tem sido adotado em diversos países para o cultivo de camarão marinho, verificando-se diversas vantagens quando comparado ao sistema convencional (AVNIMELECH, 2012; HARGREAVES, 2013). A possibilidade de pouca ou nenhuma renovação de água durante o cultivo é uma das principais características do sistema BFT, reduzindo a contaminação dos camarões por patógenos e também o descarte de efluentes no ecossistema, e contribuindo para a aceitação desta atividade pelo público e órgãos ambientais competentes (BURFORD *et al.*, 2003; SAMOCHA *et al.*, 2007; AVNIMELECH, 2012). Porém, a capacidade de suportar elevadas densidades de cultivo, e assim aumentar a produtividade, tem sido o principal atrativo do sistema BFT para os empreendedores (BROWDY e MOSS, 2005).

O aumento da produtividade ($\text{kg ha}^{-1} \text{ ciclo}^{-1}$) de forma eficaz pode não significar ganho de competitividade de um empreendimento, pois neste caso não importa quais recursos foram usados e a maneira como foram empregados (FERREIRA e GOMES, 2009). Conforme preconizam esses autores, a boa gestão destes recursos utilizados na produção evita o desperdício e permite a redução dos custos, e como consequência aumenta o lucro, tornando a atividade eficiente e competitiva.

A eficiência produtiva também pode proporcionar a redução dos impactos ambientais das carciniculturas convencionais sobre os estuários. Isto é possível através da redução, ou até eliminação do desperdício de ração, pois este insumo é responsável pela liberação de nitrogênio e fósforo, sendo estes nutrientes os principais causadores da eutrofização do ecossistema (MARTINEZ-CORDERO e LEUNG, 2004; SILVA e SAMPAIO, 2009). A eliminação de desperdícios também possibilitaria a menor

renovação de água dos viveiros, reduzindo a probabilidade de contaminação por patógenos (SAMOCHA *et al.*, 2007).

Uma metodologia não paramétrica⁴ empregada para analisar o grau de eficiência técnica de unidades produtivas consiste na análise envoltória de dados (*Data Envelopment Analysis* – DEA). Através da DEA, é possível posicionar cada unidade produtiva, ou DMU (*Decision-Making Unit*), em relação a uma ou mais DMU's eficientes (*benchmark*), estabelecendo escores para cada uma delas (FERREIRA e GOMES, 2009). Estes escores servem para situar as DMU's eficientes e ineficientes, permitindo, para estas últimas, identificar as possíveis economias de insumos ou aumentos de produção (SHARMA *et al.*, 1999). O objetivo desta metodologia é construir uma fronteira eficiente não paramétrica, onde as DMU's se encontrem sobre ou abaixo desta fronteira (CHARNES *et al.*, 1978; LATRUFFE *et al.*, 2005; SILVA e SAMPAIO, 2009).

Embora a importância do tema, existem poucas informações na área de carcinicultura que auxiliem os produtores na gestão dos seus empreendimentos, permitindo o uso dos recursos disponíveis da melhor maneira possível, a redução dos custos e ganhos de competitividade, e possibilitando a mitigação dos impactos negativos. Neste sentido, objetivou-se com o presente estudo avaliar a eficiência técnica dos ciclos produtivos do camarão marinho *Litopenaeus vannamei* realizados em sistema convencional e BFT em fazenda localizada no estado de Pernambuco.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado em fazenda de criação do camarão marinho *L. vannamei*, localizada no estado de Pernambuco, Brasil, onde foi analisado o grau de eficiência técnica e escalar dos ciclos produtivos ao longo de dois anos (2013 e 2014). Foram avaliadas as eficiências de seis viveiros (média de 2,86 ha cada) operando ao modo convencional e três viveiros (625 m² cada) ao modo BFT. Cada ciclo produtivo de ambos os sistemas correspondeu a uma unidade de tomada de decisão (DMU), considerando que todas realizaram tarefas similares e se diferenciaram pelas

⁴ A vantagem de utilizar um método não paramétrico (técnica de programação linear, que mede a variabilidade dos resultados de forma indireta) deve-se a simplificação deste, em relação às exigências e pressuposições com relação aos paramétricos, viabilizando assim, pesquisas de temas relevantes para a carcinicultura.

quantidades de insumos utilizados e pela produção gerada. As amostras utilizadas corresponderam a 24 ciclos produtivos no sistema convencional em cada ano (2013 e 2014), e 9 ciclos no sistema BFT no ano de 2014.

Como algumas DMU's podem estar utilizando uma quantidade de insumo elevada, utilizou-se, respectivamente, a orientação *input* e *output* na análise envoltória de dados (DEA) para avaliar a possibilidade de redução dos recursos sem comprometer a produção e de aumento da produção até um nível tecnicamente recomendável sem necessitar aumentar os insumos utilizados (LATRUFFE *et al.*, 2005; FERREIRA e GOMES, 2009).

Para avaliar separadamente a eficiência técnica dos sistemas convencional e BFT, utilizou-se o modelo DEA dos multiplicadores com rendimentos constantes de escala (RCE), ou seja, considerou-se que o aumento dos insumos utilizados irá causar o aumento proporcional da produção em cada um dos sistemas (FERREIRA e GOMES, 2009). No RCE, os resultados das eficiências técnicas das DMU's obtidos em ambas as orientações *input* e *output* se equivalem (FERREIRA e GOMES, 2009). No presente estudo utilizaram-se ambas as orientações para esta etapa de avaliação, sendo a *input* expressa como:

$$\text{Maximizar } E_{fo} = \sum_{j=1}^s \mu_j y_{jo}$$

$$(\mu, v)$$

Sujeito a:

$$\sum_{i=1}^r v_i x_{io} = 1$$

$$\sum_{j=1}^s \mu_j y_{jk} - \sum_{i=1}^r v_i x_{ik} \leq 0, \quad \forall k \quad k = 1, 2, \dots, n$$

$$\mu_j, v_i \geq 0, \quad \forall i, j$$

Enquanto a fórmula para o modelo dos multiplicadores com RCE e orientação *output* foi a seguinte:

$$\text{Minimizar } E_{fo} = \sum_{i=1}^r v_i x_{io}$$

$$(\mu, v)$$

Sujeito a:

$$\sum_{j=1}^s \mu_j y_{jo} = 1$$

$$\sum_{j=1}^s \mu_j y_{jk} - \sum_{i=1}^r v_i x_{ik} \leq 0, \quad \forall \quad k = 1, 2, \dots, n$$

$$\mu_j, v_i \geq 0, \quad \forall \quad i, j$$

Onde: E_{fo} = medida radial de eficiência técnica da DMU objetivo; y_j = valor do produto j ; x_i = valor do insumo i ; μ_j importância relativa do produto j ; v_i = importância relativa do insumo i .

As variáveis utilizadas para avaliação de cada sistema separadamente corresponderam aos insumos densidade de povoamento (pós-larva m^{-2}) e quantidade de ração utilizada ($kg \text{ ha}^{-1} \text{ ciclo}^{-1}$), enquanto o produto correspondeu à produtividade ($kg \text{ ha}^{-1} \text{ ciclo}^{-1}$) (Tabela 1). Segundo SHARMA *et al.* (1999), é importante não utilizar um número de DMU's relativamente pequeno em relação ao número de variáveis de entrada (insumos) e de saída (produto), assim tornando os resultados de eficiência mais estáveis. O pequeno número de variáveis utilizadas nesta etapa foi devido à avaliação separada de cada sistema, resultando em pequeno número de DMU's no caso do BFT.

Por meio de combinações lineares das DMU's eficientes parceiras de excelência (*peers*) são criadas DMU's virtuais eficientes das que se mostraram ineficientes. Também são obtidos valores positivos (λ), gerados através da DEA, indicadores da importância das *benchmarks* para cada uma das DMU's ineficientes (FERREIRA e GOMES, 2009). As possíveis folgas nos insumos (*input slack*) das DMU's virtuais podem ocorrer quando, após a análise de eficiência, ainda existe a possibilidade de utilizar menor quantidade de alguns dos seus insumos (FERREIRA e GOMES, 2009). Estas folgas e as quantidades ideais dos insumos a serem utilizadas pelas DMU's ineficientes são identificadas através de λ , s_{io}^- e s_{mo}^+ como variáveis de decisão de uma programação linear (FERREIRA e GOMES, 2009). A expressão para este segundo estágio da DEA é:

$$\text{Maximizar} \quad \sum_{i=1}^r s_i^- + \sum_{j=1}^s s_j^+$$

$$(\lambda, s_{ik}^-, s_{jk}^+)$$

Sujeito a:

$$\sum_{k=1}^n \lambda_k x_{ik} + s_i^- = \theta^* x_{io} \quad i = 1, 2, \dots, r$$

$$\sum_{k=1}^n \lambda_k y_{jk} - s_j^+ = y_{jo} \quad j = 1, 2, \dots, s$$

$$s_i^-, s_j^+, \lambda_k \geq 0 \quad k = 1, 2, \dots, n$$

Onde: y_j = valor do produto j ; x_i = valor do insumo i ; λ = importância da DMU k como referência para DMU objetivo; s_i^- = folga de insumo i ; s_j^+ = folga do produto j .

Para possibilitar a avaliação da eficiência técnica geral da fazenda a partir da utilização conjunta dos sistemas convencional e BFT, e por existir entre estes uma grande diferenciação no emprego dos insumos e nas produções, utilizou-se o modelo DEA dos multiplicadores com rendimentos variáveis de escala (RVE) com orientação *output* (FERREIRA e GOMES, 2009). Este mesmo modelo também foi utilizado para avaliar a eficiência técnica, sem a consideração do fator escala produtiva, de cada viveiro do sistema convencional (LATRUFFE *et al.*, 2005). A expressão para esta análise é:

$$\text{Minimizar } E_{fo} = \sum_{i=1}^r v_i x_{io} + v_0$$

$$(\mu, v)$$

Sujeito a:

$$\sum_{j=1}^s \mu_j y_{jo} = 1$$

$$\sum_{j=1}^s \mu_j y_{jk} - \sum_{i=1}^r v_i x_{ik} + v_0 \leq 0, \quad \forall k$$

$$\mu_j, v_i \geq 0 (\epsilon), \quad \forall i, j$$

Onde: E_{fo} = medida radial de eficiência técnica da DMU objetivo; y_j = valor do produto j ; x_i = valor do insumo i ; μ_j importância relativa do produto j ; v_i = importância relativa do insumo i .

Rendimentos constantes de escala acrescentar: $v_0 = 0$

Rendimentos variáveis de escala acrescentar: v_0 livre

Rendimentos não crescentes de escala acrescentar: $v_0 \geq 0$

Rendimentos não decrescentes de escala acrescentar: $v_0 \leq 0$

Na avaliação da eficiência técnica geral da fazenda, as variáveis utilizadas corresponderam aos insumos densidade de povoamento (pós-larva m^{-2}), quantidade de

ração utilizada ($\text{kg ha}^{-1} \text{ ciclo}^{-1}$), mão de obra (homem ha^{-1}) e energia (HP ha^{-1}). Já o produto correspondeu à produtividade ($\text{kg ha}^{-1} \text{ ciclo}^{-1}$) (Tabela 1).

Tabela 1. Médias ($\pm$ DP) das variáveis utilizadas na estimação da eficiência técnica dos sistemas produtivos convencional e BFT, e geral da fazenda localizada no litoral de Pernambuco, Brasil.

Variáveis	Convencional		BFT	
	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão
Insumos				
x_1 - Densidade de povoamento (pós-larva m^{-2})	20,5	3,2	113,1	7,2
x_2 - Quantidade de ração ($\text{kg ha}^{-1} \text{ ciclo}^{-1}$)	2.185,3	649,6	14.280,2	2.701,2
x_3 - Mão de obra (homem ha^{-1})	0,2	0,0	2,9	0,0
x_4 - Energia (HP ha^{-1})	0,5	0,0	32,0	0,0
Produto				
y - Produtividade ($\text{kg ha}^{-1} \text{ ciclo}^{-1}$)	1.529,6	376,0	7.774,9	1.955,7

Fonte: dados da pesquisa.

Foi utilizado o programa SIAD 3.0 para execução dos modelos de análise envoltória de dados (DEA). Este programa utiliza programação linear para estimar a fronteira de produção, os valores de referencia (*benchmark*), obter os escores de eficiência, avaliar as folgas e os alvos (MEZA *et al.*, 2005).

Os resultados dos escores de eficiência obtidos variaram em uma escala de 0 a 1, sendo 1 atribuído a unidade produtiva eficiente situada na fronteira de produção. Foi possível avaliar a eficiência dos ciclos produtivos da fazenda quanto ao período realizado, distribuídos em dois anos (2013 e 2014), quatro semestres e oito estações, como também a eficiência técnica de cada viveiro do sistema convencional, e assim comparando com o sistema BFT.

Também foram avaliadas as eficiências escalares dos viveiros utilizados no sistema convencional, sendo obtidos através da razão entre o escore de eficiência técnica do modelo com RCE pelo escore do RVE de cada ciclo produtivo (LATRUFFE *et al.*, 2005). Caso o resultado desta razão seja um valor igual a um, o ciclo produtivo operou em escala ótima.

Os resultados médios das eficiências dos viveiros do sistema convencional obtido através do modelo DEA com rendimentos variáveis de escala são puramente técnicos, ou seja, não representam a ineficiência escalar (LATRUFFE *et al.*, 2005). Devido ao

número amostral pequeno, não foi possível avaliar separadamente os viveiros do sistema BFT, sendo avaliado o sistema como um todo quanto às eficiências técnica, escalar e puramente técnica.

As diferenças nos escores de eficiência foram testadas quanto à normalidade (Shapiro-Wilk) e homocedasticidade (Distribuição F), seguidos do teste T-Student para comparação das médias. Na comparação de mais de duas amostras, utilizou-se ANOVA uma via, sendo as diferenças identificadas através do teste de Tukey. Quando os dados não apresentaram distribuição normal ou homogeneidade das variâncias, as comparações foram realizadas através dos testes não paramétricos Mann-Whitney para duas amostras e Kruskal-Wallis para mais de duas amostras, seguido do teste post-hoc Student-Newman-Keuls. Todas as análises foram verificadas ao nível de significância de 5% ($\alpha = 0,05$).

RESULTADOS

Ao analisar os ciclos produtivos ao longo de 2013 e 2014, não foi verificada diferença significativa entre as eficiências técnicas do sistema convencional nas estações do ano ($p = 0,0635$). Também não foram verificadas diferenças significativas nas comparações entre as eficiências técnicas dos semestres ($p = 0,1702$) e entre as médias de 2013 ($0,82 \pm 0,15$) e 2014 ($0,79 \pm 0,10$) deste sistema ($p = 0,1904$). Igualmente não foram verificadas diferenças significativas nas comparações das eficiências técnicas dos viveiros convencionais ($p = 0,2013$) (Tabela 2).

Tabela 2. Médias ($\pm$ DP) de eficiência técnica, obtidas através de análise envoltória de dados com rendimentos constantes de escala, dos viveiros do sistema convencional de fazenda localizada no litoral de Pernambuco, Brasil.

Viveiro	Média	Desvio Padrão	Máximo	Mínimo
1	0.79 ^a	0.14	1.00	0.58
2	0.74 ^a	0.12	0.89	0.50
3	0.76 ^a	0.13	0.96	0.53
4	0.86 ^a	0.11	1.00	0.66
5	0.86 ^a	0.10	1.00	0.73
6	0.83 ^a	0.13	0.95	0.57

Letras diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa ($\alpha = 0,05$).

Em relação aos escores de eficiência técnica observados no presente estudo para todos os ciclos produtivos da fazenda no período 2013 e 2014, 33,3% e 49,1%

corresponderam a valores iguais e maiores do que 0,90 ao utilizar-se a análise envoltória de dados com rendimentos constantes (RCE) e variados de escala (RVE), respectivamente (Tabela 3). Na análise estatística não foi verificada diferença significativa na comparação da média obtida pelos resultados separados dos sistemas (RCE) com a média da fazenda (RVE) ($p = 0,0888$).

Tabela 3. Distribuição dos ciclos produtivos realizados em todos os viveiros (sistema convencional e BFT) por classes de eficiência técnica, obtidas por análise envoltória de dados (DEA) com rendimentos constantes (RCE) e variados de escala (RVE), ao longo dos anos de 2013 e 2014 em fazenda localizada no litoral de Pernambuco, Brasil.

Classe de Eficiência Técnica	DEA (RCE)		DEA (RVE)	
	Nº de ciclos	%	Nº de ciclos	%
0,50 - 0,60	4	7,0	3	5,3
0,60 - 0,70	6	10,5	5	8,8
0,70 - 0,80	12	21,1	8	14,0
0,80 - 0,90	16	28,1	13	22,8
0,90 - 1,00	19	33,3	28	49,1
Total	57	100,0	57	100,0
Média	0,82 ^a		0,86 ^a	
Máximo	1,00		1,00	
Mínimo	0,50		0,53	

Letras diferentes na mesma linha indicam diferença significativa ($\alpha = 0,05$).

Ao avaliarem-se as DMU's ineficientes tecnicamente do sistema convencional, as possíveis reduções de insumos sem comprometimento das produções (orientação *input*), verificou-se um maior desperdício no ano de 2014, em comparação com 2013 (Tabela 4). Este mesmo padrão foi verificado na análise dos possíveis aumentos de produção deste sistema (orientação *output*), o qual obteve resultados de perda de produção iguais a 21,91 e 27,09% em 2013 e 2014, respectivamente. Já em relação ao sistema BFT, o maior desperdício ocorreu com pós-larvas em comparação com o uso de ração, enquanto que a perda de produção foi inferior às observadas no convencional (Tabela 4).

Tabela 4. Desperdícios (ração e pós-larvas) e perdas de produção, verificadas através da análise envoltória de dados com rendimentos constantes de escala e orientação *input/output*, dos sistemas convencional e BFT de fazenda localizada no litoral de Pernambuco, Brasil.

Sistema	2013			2014		
	Desperdício		Perda de produção	Desperdício		Perda de produção
	Ração	Pós-larvas		Ração	Pós-larvas	
Convencional	17.86%	19.16%	21.91%	21.11%	21.47%	27.09%
BFT	-	-	-	10.87%	26.37%	12.19%

Na análise pelo modelo envoltório com rendimentos variáveis de escala não foi verificado diferença significativa entre as eficiências técnicas dos sistemas convencional e BFT ($p = 0,2542$) no ano de 2014 (Tabela 5). Porém, ao comparar as eficiências técnicas deste mesmo ano obtidas separadamente para cada sistema através do modelo envoltório com rendimentos constantes de escala, verificou-se diferença significativa entre os mesmos ($p = 0,0104$).

Tabela 5. Resultados de eficiência técnica, obtidos através de análise envoltória de dados (DEA) com rendimentos constantes (RCE) e variados de escala (RVE), dos ciclos produtivos (convencional e BFT) realizados em 2014 em fazenda localizada no litoral de Pernambuco, Brasil.

Sistema	DEA (RCE)			DEA (RVE)		
	Efic.	Inefic.	Eficiência Média	Efic.	Inefic.	Eficiência Média
Convencional	3	45	0.79 ± 0.10^a	10	38	0.85 ± 0.11^a
BFT	1	8	0.89 ± 0.11^b	1	8	0.87 ± 0.11^a

Letras diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa ($\alpha = 0,05$).

Ao comparar os escores de eficiência escalar dos viveiros utilizados nos cultivos convencional da fazenda, apenas um deles (viveiro 1) diferiu significativamente dos outros, obtendo resultado inferior (Tabela 6).

Tabela 6. Médias ($\pm$ DP) de eficiência escalar dos viveiros do sistema convencional de fazenda localizada no litoral de Pernambuco, Brasil.

Viveiro	Média	Desvio Padrão	Máximo	Mínimo
1	0.82 ^a	0.13	1.00	0.60
2	0.95 ^b	0.07	1.00	0.77
3	0.95 ^b	0.05	1.00	0.84
4	0.96 ^b	0.04	1.00	0.89
5	0.97 ^b	0.02	1.00	0.93
6	0.95 ^b	0.02	0.97	0.91

Letras diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa ($\alpha = 0,05$).

Em relação à análise da eficiência puramente técnica do sistema convencional, o viveiro com menor escore médio de eficiência escalar (viveiro 1) obteve o maior resultado para este indicador, diferindo significativamente dos viveiros 2 e 3 (Tabela 7). Já em relação ao sistema BFT, os resultados médios das eficiências técnica, escalar e puramente técnica corresponderam, respectivamente, a 0,89, 0,91 e 0,98. Resultado estatístico indicou diferença significativa entre as médias de eficiência puramente técnica dos sistemas convencional e BFT no ano de 2014 ($p = 0,0011$).

Tabela 7. Médias ($\pm$ DP) da eficiência puramente técnica, obtidas através de análise envoltória de dados com rendimentos variáveis de escala, dos viveiros do sistema convencional de fazenda localizada no litoral de Pernambuco, Brasil.

Viveiros	Média	Desvio Padrão	Máximo	Mínimo
1	0.96 ^a	0.05	1.00	0.86
2	0.78 ^b	0.08	0.91	0.65
3	0.79 ^{b, c}	0.12	1.00	0.63
4	0.89 ^{a, c}	0.09	1.00	0.75
5	0.88 ^{a, b}	0.09	1.00	0.78
6	0.88 ^{a, b}	0.14	1.00	0.61

Letras diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa ($\alpha = 0,05$).

DISCUSSÃO

Apesar do curto período de tempo de investigação, verificou-se uma padronização dos escores de eficiência técnica dos ciclos de produção dos viveiros utilizados para cultivos convencionais na fazenda ao longo dos anos de 2013 e 2014. Estudos avaliando a diferenciação da eficiência técnica ao longo do tempo já foram realizados com outras espécies aquícolas, como o caso de CHIANG e SUN (2004) em que foram analisadas as produções de Milkfish (*Chanos chanos*) em Taiwan nos anos de

1997 a 1999. Estudos avaliando mudanças na eficiência com o passar do tempo, como o realizado por LATRUFFE *et al.* (2005) para a agricultura e pecuária da Polônia, são muitos importantes para entender possíveis avanços tecnológicos da atividade.

As médias de eficiência técnica encontrada nos viveiros convencionais da fazenda são superiores as encontradas para a criação de outras espécies de camarão em sistema semi-intensivo. GUNARATNE e LEUNG (2000) observaram diferentes eficiências técnicas nos cultivos de *Penaeus monodon* em diversos países asiáticos avaliados separadamente, variando de 0,37 no Vietnã até 0,78 na Malásia. Quando avaliado a região, integrando todos os países produtores na análise, as eficiências variaram de 0,58 em Bangladesh até 0,63 na Malásia, com média de 0,60. De acordo com os autores, esta comparação permite identificar os locais que adotam as melhores práticas da tecnologia de cultivo.

Foi observado um aumento na média do escore de eficiência técnica da fazenda estudada em Pernambuco, passando de 0,82 pelo modelo RCE para 0,86 pelo RVE. Os escores de eficiência técnica do modelo RCE são, geralmente, menores do que os do modelo RVE, devido às restrições impostas por este último para não considerar as ineficiências de escala (SOUZA JUNIOR, 2003; LATRUFFE *et al.*, 2005; FERREIRA e GOMES, 2009). De acordo com Souza Junior (2003), 26 ciclos produtivos (38,24%) dos empreendimentos de carcinicultura analisados no estado do Ceará foram considerados eficientes através do modelo RCE. Já em relação aos resultados obtidos através do modelo RVE, 41 ciclos (60,30%) foram classificados como eficientes. Uma das condições, descrita por este autor, para a classificação de uma unidade produtiva como eficiente, é a obtenção do máximo escore tanto no modelo DEA com RCE, quanto no com RVE. No presente trabalho, dos 11 ciclos classificados como eficientes no modelo DEA com retornos variáveis verificados, quatro deles são igualmente eficientes no modelo com retornos constantes.

Os ciclos produtivos do sistema convencional, classificados como eficientes, tanto pelo modelo DEA com RCE, como pelo com RVE, ou obtiveram excelente resultado do fator de conversão alimentar (FCA) ou excelente sobrevivência dos animais com consequente elevada produtividade, ou ambos os casos. Como exemplo, um deles obteve resultado de FCA igual a 0,9 kg de ração utilizado para a produção de um quilograma de camarão, porém com produtividade abaixo da média da fazenda (1.138,5 kg ha⁻¹ ciclo⁻¹). No sistema BFT, apenas um ciclo produtivo foi classificado eficiente no modelo DEA com RCE, obtendo resultados de sobrevivência, FCA e

produtividade iguais a 90%, 1,6 e 11.200 kg ha⁻¹ ciclo⁻¹, respectivamente. Quando analisado em conjunto com o sistema convencional pelo modelo DEA com RVE, este ciclo no sistema BFT também foi classificado como eficiente.

Caso os sistemas convencional e BFT da fazenda em estudo tivessem operado de forma eficiente tecnicamente no ano de 2014, evitando as perdas de produção, os ganhos financeiros anuais por hectare teriam passado de R\$ 53.594,34 para R\$ 76.395,68 (US\$ 19.740,48⁵) e de R\$ 129.160,19 para R\$ 181.252,09 (US\$ 46.835,16), respectivamente. Estes resultados estão acima dos valores encontrados em trabalho realizado por GUNARATNE e LEUNG (2000), onde foram avaliados os ganhos financeiros anuais por hectare caso as produções do camarão *Penaeus monodon* nos países asiáticos se tornassem eficientes, obtendo-se resultados médios iguais a US\$ 10,830.00 e US\$ 34,000.00 para os sistemas de produção semi-intensivo e intensivo, respectivamente. Talvez estes menores valores possam estar relacionados ao preço de venda aplicado na época, à espécie utilizada ou a tecnologia de produção.

A diminuição ou eliminação dos desperdícios é uma das estratégias que possibilitam o aumento do lucro da empresa através da redução dos custos de produção (SOUZA JUNIOR, 2003; FERREIRA e GOMES, 2009). No presente trabalho, a utilização dos insumos de forma eficiente, ou seja, a redução dos insumos sem comprometer a produção poderia ter incrementado o lucro anual da fazenda, no ano de 2014, em R\$ 5.170,00 ha⁻¹, no caso do sistema convencional, e em R\$ 91.955,00 ha⁻¹ a partir do BFT. Isto equivaleria a uma economia de 13,78% e 30,84% nos custos operacionais totais dos sistemas convencional e BFT, respectivamente. Souza Junior (2003) verificou a necessidade de redução média de 19,11% da quantidade de insumos das carciniculturas classificadas como ineficientes no estado do Ceará, e com isto a possibilidade de alcance da eficiência técnica pelas mesmas. Esta redução na quantidade de insumos utilizados pelas carciniculturas ineficientes do Ceará iria promover uma redução média de 31,82% no custo operacional total destas empresas.

Ao comparar as eficiências técnicas de sistemas intensivos e semi-intensivos de produção do camarão *L. vannamei* no estado do Rio Grande do Norte, SILVA e SAMPAIO (2009) não observaram diferenças significativas nos resultados obtidos através do modelo DEA com rendimentos variáveis de escala. Estes autores classificaram como cultivos semi-intensivos as empresas que operavam com 20 até 50

⁵Valor de referência (Dezembro de 2015 – US\$ 1.00 = R\$ 3,87).

camarões m^{-2} ; e como intensivos as que utilizavam de 51 até 100 camarões m^{-2} , sendo os respectivos resultados médios de eficiência iguais a 0,74 e 0,72. No presente estudo, os níveis médios de eficiência técnica obtidos pelos dois modelos DEA, para ambos os sistemas, foram mais elevados do que estes apresentados pelos autores. Isto se deve aos diferentes dados utilizados e as suas respectivas variâncias, dificultando a comparação entre os resultados dos trabalhos (LATRUFFE *et al.*, 2005). Por exemplo, não foi considerada nas execuções dos modelos de eficiência, por SILVA e SAMPAIO (2009), a quantidade de ração utilizada nos empreendimentos de criação de camarão avaliados. Porém, os resultados destes autores corroboram com os do presente estudo em relação a não diferenciação das médias de eficiência técnica dos sistemas obtidos pelo modelo DEA com rendimentos variáveis de escala. Já a diferenciação destas médias dos sistemas, quando obtidas através do modelo com rendimentos constantes, pode estar relacionada às avaliações das eficiências do sistema convencional e do BFT terem sido realizadas separadamente.

A partir do resultado médio de eficiência escalar de cada viveiro, foi possível verificar a influência da escala de produção na ineficiência produtiva dos mesmos. O viveiro com menor escore médio de eficiência escalar, correspondendo a 18% de ineficiência (subtração de 1,0 por 0,82), operou com valores médios de densidade inicial e uso de ração por ciclo iguais a 14,8 pós-larvas m^{-2} e 1.381,3 kg, respectivamente, obtendo produtividade média igual a 1.035,1 kg ha^{-1} ciclo⁻¹. Estes valores estão bem abaixo da média do sistema convencional da fazenda, e são responsáveis pelo resultado médio do escore de eficiência técnica deste viveiro, pelo modelo RCE, ser igual a 0,79, em que dos 21% apenas 3% correspondem à ineficiência técnica. Ao verificar a diferença entre os escores de eficiência escalar e técnica de cada um dos outros viveiros do sistema convencional, observou-se pouca influência da ineficiência escalar na ineficiência técnica dos mesmos. Este mesmo padrão foi observado nas fazendas agrícolas e pecuárias da Polônia por LATRUFFE *et al.* (2005), sendo associadas as ineficiências técnicas destas atividades apenas a pura ineficiência nas práticas de manejo. A possível causa, sugerida por estes autores, é a baixa escolaridade das pessoas engajadas nestas atividades. Segundo SOUZA JUNIOR (2003), nas carciniculturas grande parte dos funcionários responsáveis pela oferta de ração para os camarões são semi analfabetos.

Os resultados de eficiência puramente técnica serviram para confirmar a maior influência do manejo na ineficiência do sistema convencional da fazenda,

diferentemente do sistema BFT, onde foi verificada uma maior influência da escala de produção na sua ineficiência. A ineficiência técnica pode estar vinculada a diversos fatores inerentes à própria atividade, tais como a gestão, a mão de obra, a tecnologia, entre outros. De acordo com GUNARATNE e LEUNG (2000), o gerenciamento sobre a utilização da água e da ração tem um efeito positivo sobre a eficiência técnica da produção de camarão. Já CHIANG e SUN (2004) relacionaram a ineficiência técnica da produção de Milkfish com o maior grau de experiência do proprietário e com o maior número de mão de obra utilizada, associando estes fatos a possibilidade dos novos proprietários de piscicultura serem mais dispostos a implementar mudanças e aos pequenos produtores serem mais motivados do que seus trabalhadores contratados. Em relação à tecnologia, o uso de berçários, bandejas de alimentação, equipamentos de monitoramento de qualidade da água e aeradores pode contribuir com a redução do desperdício em empreendimentos de criação de camarão, tornando as empresas eficientes (SILVA e SAMPAIO, 2009).

Conhecer as estruturas produtivas de cultivo de camarão, como também as suas eficiências, é muito útil para desenvolver estratégias para o desenvolvimento sustentável desta atividade (GUNARATNE e LEUNG, 2000). Antes de procurar aumentar as produções, é importante entender que cada sistema de cultivo possui sua capacidade suporte. Sendo mais interessante procurar manter a produtividade e trabalhar de forma a evitar o desperdício, e assim cooperando para obtenção de resultados ótimos de lucratividade (GUNARATNE e LEUNG, 2000). Espera-se com os resultados do presente estudo fornecer informações úteis para o aperfeiçoamento do cultivo do camarão *L. vannamei* por meio do melhoramento da eficiência técnica.

CONCLUSÃO

A partir da utilização da análise envoltória de dados (DEA) foi possível detectar ineficiência nos sistemas empregados em fazenda localizada no estado de Pernambuco. Verificou-se uma maior influência do manejo na ineficiência do sistema convencional, enquanto a escala produtiva foi o fator a influenciar na redução do escore de eficiência técnica do sistema BFT. As correções das possíveis causas dos desperdícios e das perdas de produção na fazenda permitiriam o aumento da lucratividade, favorecendo principalmente o sistema convencional a partir da menor necessidade de renovação de água. São necessários estudos que possibilitem identificar as possíveis falhas no

manejo de sistemas de criação de camarão, contribuindo para a manutenção e consequente desenvolvimento da carcinicultura.

REFERÊNCIAS

ABREU, M.C.S.; MATTOS, P.; LIMA, P.E.S.; PADULA, A.D. 2011 Shrimp farming in coastal Brazil: Reasons for market failure and sustainability challenges. *Ocean & Coastal Management*, 54: 658-667.

AVNIMELECH, Y. 2012 *Biofloc Technology - a practical guide book*. 2ª ed. Louisiana: The World Aquaculture Society. 272p.

BROWDY, C.L. e MOSS S.M. 2005 Shrimp culture in urban, super-intensive closed systems. In: COSTA-PIERCE, B.A.; DESBONNET, A.; EDWARDS, P.; BAKER, D. *Urban Aquaculture*. UK: CAB International. 173-186.

BURFORD, M.A.; THOMPSON, P.J.; MCINTOSH, R.P.; BAUMAN, R.H.; PEARSON, D.C. 2003 Nutrient and microbial dynamics in high intensity, zero-exchange shrimp ponds in Belize. *Aquaculture*, 219: 393-411.

CHARNES, A.; COOPER, W.W.; RHODES, E. 1978 Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research*, 2: 429-444.

CHIANG, F.; SUN, C.; YU, J. 2004 Technical efficiency analysis of milkfish (*Chanos chanos*) production in Taiwan—an application of the stochastic frontier production function. *Aquaculture*, 230: 99– 116.

FERREIRA, C.M.C. e GOMES, A.P. 2009 *Introdução à análise envoltória de dados: teoria, modelos e aplicações*. 1ª ed. Viçosa: Editora UFV. 389p.

GUNARATNE, L.H.P. e LEUNG, P.S. 2000 Asian black tiger shrimp industry: a productivity analysis. In: LEUNG, P. e SHARMA, K.R. *Economics and Management of Shrimp and Carp in Asia: A collection of research papers based on the ADB/NACA Farm Performance Survey*. Bangkok: Network of Aquaculture Centres in Asia-Pacific, p.55-68.

HARGREAVES, J.A. 2013 *Biofloc Production Systems for Aquaculture*. EUA: Southern Regional Aquaculture Center – SRAC, (4503), 11p.

LACERDA, L.D.; VAISMAN, A.G.; MAIA, L.P.; SILVA, C.A.R.; CUNHA, E.M.S. 2006 Relative importance of nitrogen and phosphorus emissions from shrimp farming and other anthropogenic sources for six estuaries along the NE Brazilian coast. *Aquaculture*, 253: 433–446.

LATRUFFE, L.; BALCOMBE, K.; DAVIDOVA, S.; ZAWALINSKA, K. 2005 Technical and scale efficiency of crop and livestock farms in Poland: does specialization matter?. *Agricultural Economics*, 32: 281–296.

MARTINEZ-CORDERO, F.J. e LEUNG, P. 2004 Sustainable aquaculture and producer performance: measurement of environmentally adjusted productivity and efficiency of a sample of shrimp farms in Mexico. *Aquaculture*, 241: 249–268.

MEZA, L.A.; NETO, L.B.; MELLO, J.C.C.B.S.; GOMES, E.G. 2005 ISYDS – Integrated System for Decision Support (SIAD – Sistema Integrado de Apoio a Decisão): a software package for data envelopment analysis model. *Pesquisa Operacional*, 25(03): 493-503.

NATORI, M.M.; SUSSEL, F.R.; SANTOS, E.C.B.; PREVIERO, T.C.; VIEGAS, E.M.M.; GAMEIRO, A.H. 2011 Desenvolvimento da carcinicultura marinha no Brasil e no mundo: avanços tecnológicos e desafios. *Informações Econômicas*, 41(02): 61-73.

SAMOCHA, T.M.; PATNAIK, S.; SPEED, M.; ALI, A.; BURGER, J.M.; ALMEIDA, R.V.; AYUB, Z.; HARISANTO, M.; HOROWITZ, A.; BROCK, D.L. 2007 Use of molasses as carbon source in limited discharge nursery and grow-out systems for *Litopenaeus vannamei*. *Aquacultural Engineering*, 36: 184–191.

SAMPAIO, Y.; COSTA, E.F.; ALBUQUERQUE, E.; SAMPAIO, B.R. 2008 Impactos socioeconômicos do cultivo de camarão marinho em municípios selecionados do Nordeste brasileiro. *RESR*, 46(04): 1015-1042.

SHARMA, K.R.; LEUNG, P.; CHEN, H.; PETERSON, A. 1999 Economic efficiency and optimum stocking densities in fish polyculture: an application of data envelopment analysis (DEA) to Chinese fish farms. *Aquaculture*, 180: 207-221.

SILVA, J.L.M. e SAMPAIO, L.M.B. 2009 Eficiência, gestão e meio ambiente na carcinicultura do Rio Grande do Norte. *RESR*, 47(04): 883-902.

SOUSA JÚNIOR, J. P. 2003 *Análise da eficiência da produção de camarão marinho em cativeiro no Estado do Ceará*. Fortaleza. 107f. (Dissertação de Mestrado. Economia Rural. Universidade Federal do Ceará). Disponível em: <
<http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/681>> Acesso em: 10 dez. 2015.

SOUSA, O.V.; MACRAE, A.; MENEZES, F.G.R.; GOMES, N.C.M.; VIEIRA, R.H.S.F.; MENDONÇA-HAGLER, L.C.S. 2006 The impact of shrimp farming effluent on bacterial communities in mangrove waters, Ceará, Brazil. *Marine Pollution Bulletin*, 52: 1725-1734.

Artigo científico encaminhado a Revista **Boletim do Instituto de Pesca**.

Todas as normas de redação e citação, deste capítulo, atendem as estabelecidas pela referida revista, verificadas no seguinte site: ftp://ftp.sp.gov.br/ftppesca/NovasInstrucoes_aos%20Autores_fevereiro16.pdf.

6- Considerações finais

Os resultados do presente estudo contribuem para a compreensão de aspectos econômicos envolvidos na implementação, como também na operação do sistema de bioflocos (BFT) no Brasil, bem como possibilita a comparação deste com o sistema convencionalmente utilizado para o cultivo do camarão *Litopenaeus vannamei*. Foi possível confirmar a necessidade de valores elevados de investimento, como também os custos altos para operação do sistema BFT, porém, este se mostrou viável quando analisado o retorno do capital investido no curto e longo período de tempo. Favorável a isto, existe ainda a possibilidade de obter melhores resultados dos indicadores de viabilidade, visto que, por ser uma nova tecnologia ainda não consolidada, está em processo de adaptação ao cenário local até conseguir padronizar o processo produtivo e maximizar a produtividade. Já em relação aos impactos das oscilações econômicas e variações de desempenho zootécnico na viabilidade financeira, fatos susceptíveis de ocorrer ao longo do tempo, o sistema BFT apresentou elevada sensibilidade demonstrada através da análise de risco. De modo contrário, o emprego do sistema convencional não apresentou risco de obter prejuízos financeiros, provavelmente devido ao baixo custo operacional. Porém, é importante enfatizar a diferente vulnerabilidade dos sistemas à algumas incertezas, como é o caso da contaminação dos camarões por doenças. Vários estudos descrevem o sistema BFT como biosseguro, capaz de evitar a infecção dos animais por microorganismos patogênicos. Em relação à aspectos gerenciais, a eficiente estratégia de gestão irá contribuir para obtenção de maior rentabilidade, independente da atividade. Através da análise envoltória de dados (DEA), verificou-se uma maior influência do manejo na ineficiência do sistema convencional, enquanto a escala produtiva foi o principal fator a influenciar na redução do escore de eficiência técnica do sistema BFT. As correções das possíveis causas dos desperdícios e das perdas de produção na fazenda permitirão o aumento da lucratividade, favorecendo principalmente o sistema convencional a partir da menor necessidade de renovação de água, e conseqüentemente menor impacto ambiental. Através dos trabalhos realizados, pode-se concluir que a inserção do sistema BFT nas carciniculturas do Nordeste brasileiro é favorável técnico e economicamente, reforçado pela possibilidade de aperfeiçoamento do manejo e pela adequação da escala produtiva, os quais poderão contribuir para elevar a lucratividade das empresas. Outros benefícios atrelados à esta

inclusão são a redução dos impactos ambientais no ecossistema adjacente e a necessidade de utilização de pouca água e área em terra.