



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
FACULDADE DE OCEANOGRAFIA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Estado da arte na avaliação do estresse osmótico do camarão marinho *Litopenaeus vannamei* em sistemas de cultivo oligohalinos

Trabalho apresentado por:

RENAN MESCOUTO NUNES

Orientador: Prof. Dr. James Tony Lee (Instituto de Geociências - UFPA)

**BELÉM- PARÁ
2019**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
FACULDADE DE OCEANOGRAFIA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Estado da arte na avaliação do estresse osmótico do camarão marinho *Litopenaeus vannamei* em sistemas de cultivo oligohalinos

Trabalho apresentado por:

RENAN MESCOUTO NUNES

Orientador: Prof. Dr. James Tony Lee (Instituto de Geociências- UFPA)

**BELÉM- PARÁ
2019**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

- N972e Nunes, Renan Mescouto
Estado da arte na avaliação do estresse osmótico do camarão marinho *Litopenaeus vannamei* em sistemas de cultivo oligohalinos / Renan Mescouto Nunes. — 2019.
- ix, 32 f.
- Orientador(a): Prof. Dr. James Tony Lee
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Faculdade de Oceanografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2019.
1. Camarão. 2. Estresse. 3. Osmorregulação. 4. Biomarcadores. I. Título.

CDD 595.3



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
FACULDADE DE OCEANOGRAFIA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Estado da arte na avaliação do estresse osmótico do camarão marinho *Litopenaeus vannamei* em sistemas de cultivo oligohalinos

**Trabalho de Conclusão de Curso apresentado por:
RENAN MESCOUTO NUNES**

Como requisito parcial à obtenção do Grau de bacharel em OCEANOGRAFIA

Data da defesa: 26 / 08 / 2019

Banca examinadora:

Prof. Dr. James Tony Lee – Orientador
Instituto de Geociências – UFPA

Prof.ª. Dr.ª. Sury de Moura Monteiro – Membro
Instituto de Geociências - UFPA

Prof. Dr. Marcello Petraco – Membro
Instituto de Geociências – UFPA

Dedico à Maria da consolação de Lima Nunes (In memoriam)
por ter dividido comigo o seu espaço, educação e por ter sido
uma avó/amiga incrível e presente.

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter me permitido chegar até aqui e ter me presenteado com pessoas incríveis ao longo desses 28 anos.

Aos amigos do laboratório de Ecotoxicologia, Irina, Bhrenda, Carla e Sol. E ao Gabriel Souza (Suici) que não é amigo, mas era o que tinha pra me fazer companhia.

À minha mãe, Kirley Mescouto, por ser minha referência, amor, e muitas vezes o meu maior incentivo. Desculpe pelos estresses a senhora é complicada, mas lhe amo

Ao meu pai, Roberto Nunes, pelo incentivo enquanto estudava na UFOPA e pelos três anos de UFMA. Desculpe por não lhe dar tanto orgulho, mas tenha certeza que corro atrás do meu sucesso e da minha felicidade.

A minha irmã, Larissa Mescouto, por ser o maior exemplo que tenho do que não desistir e seguir em frente pode nos proporcionar. Obrigada por esse laço que começamos a construir há pouco e por aceitar minhas diferenças. Lembra sempre que apesar das distâncias física e afetiva eu te amo, muito.

À minha família pela compreensão e estímulo a sempre buscar meu aperfeiçoamento como pessoa e cientista, me permitindo sonhar e correr atrás de cada um destes meus muitos sonhos. Em especial, à minha avó, Maria da Consolação, por cada prato especial, pelas músicas nos dias de aniversário, pelas conversas, memórias e por sua amizade. As minhas tias, Maria Elizabeth, pela constante alegria e orgulho que sempre sentiu por mim, a tia Socorro Nunes pelo incentivo de sempre, na caligrafia e paciência (que não era muito grande) com meus erros de português. Eu amo muito vocês todos!

À Socorro Coutinho, Tetê e Ianian pela força e estímulo nesta reta final, por confiarem que eu conseguiria quando eu quase desisti, pelo Jobs e risadas, amo a companhia e agradeço todo dia pela vida de vocês.

Às minhas amigas que a UFPA e o UNIVERSO me deram, obrigado pelos anos de companhia, pelas conversas, risadas e por principalmente me apoiarem, amo vocês. Analú Serrão, Bruna Nunes, Fernanda Moura, Jeniffer Brasil, Taína Oliveira Thamiros Salimos, Thayane Reis.

Aos amigos, nem sempre, da Oceano 2015, todos tiveram sua importância, até a raiva por vocês me ajudou em especial ao And e Thay pela dedicação e incansável esforço em me assessorar nesta reta final.

À Andrea Matos e a Manú, pelo incansável carinho nos últimos anos/meses, pelas conversas, risadas e muita alegria e principalmente por ser minha família. Guardarei um carinho eterno por vocês, seguirão em minhas orações diárias sempre.

Ao Matheus Cunha por ser minha companhia nos últimos quatro anos de curso e pelo estímulo diário em jamais me fazer desistir e sempre buscar me melhorar como pessoa e aluno. Foste fundamental pra eu chegar aqui.

RESUMO

O *Litopenaeus vannamei* domina o mercado mundial como o camarão mais cultivado em todo o mundo, graças a sua rusticidade em tolerar zonas fora da sua ideal. Este caráter rústico acaba submetendo o *L. vannamei* a diversas formas de estresse, por parte da ausência de conhecimento dos criadores. Esse trabalho deteve-se ao estudo de fatores de estresse oxidativo provenientes de variações de salinidade em cultivos oligohalinos do camarão *L. vannamei*. Sendo essas formas de estressar o organismo causadoras de oxidação molecular e produção de espécies reativas de oxigênio (ERO). Estas ERO's podem ser medidas através da utilização de biomarcadores de causa e efeito, sendo os selecionados para esta revisão GST e LPO, respectivamente. Contudo, afim de que não ocorra comprometimento do sistema imunológico do animal algumas formas de mitigar esse dano podem ser obtidas através de uma concentração iônica adequada. Paralelo a isso, uma concentração de lipídeos, carboidratos e proteínas na dieta apresentam-se como cruciais na sobrevivência e crescimento dessa espécie que tem na osmorregulação uma importante ferramenta para sobreviver.

Palavras-chaves: Camarão. Estresses. Osmorregulação. Biomarcadores.

ABSTRACT

Litopenaeus vannamei dominates the world market as the most farmed shrimp in the world, thanks to its rusticity in tolerating areas beyond its ideal. This rustic character ends up subjecting *L. vannamei* to various forms of stress, due to the lack of knowledge of the breeders. This work was carried out to study oxidative stress factors from salinity variations in shrimp *L. vannamei* oligohaline crops. Being these forms of stress the organism cause molecular oxidation and production of reactive oxygen species (ROS). These EROs can be measured using cause and effect biomarkers, the ones selected for this review being GST and LPO, respectively. However, in order not to compromise the animal's immune system, some ways to mitigate this damage can be obtained through an appropriate ionic concentration. Parallel to this, a concentration of lipids, carbohydrates and proteins in the diet are crucial for the survival and growth of this species that has osmoregulation an important tool for survival.

Keywords: Shrimp. Estress. Osmoregulation. Biomarkers.

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA	iv
AGRADECIMENTOS	v
RESUMO	vii
ABSTRACT	viii
1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS	3
2.1 OBJETIVO GERAL:	3
3 METODOLOGIA	4
4 RESULTADOS	5
4.1 ESTRESSE OXIDATIVO	5
4.2 ESTRESSE OSMÓTICO	6
4.2.1 Como o estresse hiposmótico pode influenciar na homeostase do <i>litopenaeus vannamei</i>?	6
4.2.2 Orgãos e estruturas envolvidas na osmorregulação	8
4.2.3 Qual a importância da osmorregulação em cultivos oligohalinos para o <i>litopenaeus vannamei</i>?	9
4.2.4 Íons envolvidos na salinidade e crescimento do <i>Litopenaeus vannamei</i>	10
4.2.4.1 Salinidade ou concentração iônica?	11
4.2.5 Como pode haver comprometimento do crescimento e sobrevivência do camarão?	14
4.2.6 Balanço energético em cultivos oligohalinos, importância de carboidratos, proteínas e lipídios na dieta	15
4.2.7 Glutathione S- Transferase (GST)	19
4.2.8 Lipoperoxidação lipídica (LPO)	20
5 CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS	23
REFERÊNCIAS	24

1 INTRODUÇÃO

O *L. vannamei* é a espécie que representa a maior produção de camarão cultivada em todo o mundo, segundo a Food Agriculture Organization (FAO 2018b), contribuindo com 30% do cultivo de camarões peneídeos de todo o mundo (Lin & Chen 2003). No período de 1998 a 2004 a produção mundial deste camarão marinho cresceu cerca de 14%, estando associado ao extraordinário desempenho dessa espécie em cativeiro, que contribui expressivamente para manter o camarão como a espécie que gera as maiores transações financeiras no mercado mundial do pescado, cerca de US\$ 25,0 bilhões. Já havendo prospecção de um aumento no faturamento de aproximadamente 25% até 2030 (FAO 2018a).

A aquicultura no Brasil é uma atividade que vem se destacando nos últimos anos graças ao potencial hídrico do país, à riqueza de espécies e ao aumento do mercado neste setor (Roubach *et al.* 2003), auxiliando assim a produção do *L. vannamei* cultivado, que cresceu como nenhuma outra espécie em toda a história da carcinicultura marinha. No país, o *L. vannamei* foi introduzido na década de 1980, tendo na década seguinte uma boa resposta comercial (Rodrigues 2012), fase onde teve seu primeiro engajamento no cultivo nacional proveniente dos processos de larvicultura realizados em fazendas do Nordeste e do Sul. A espécie é atualmente a única cultivada no país, sendo o registro da sua primeira produção global, segundo a FAO, no ano de 1980 com 8.000 toneladas.

Desde a década de 80 o litoral sul e o nordeste brasileiro já despontavam como grandes produtores deste camarão marinho, processo que se manteve com um atual destaque para os estados do Ceará e Rio Grande do Norte, que dominam o cultivo deste crustáceo em água doce (Marques *et al.* 2016). Nesta mesma década, vinte estados brasileiros já possuíam algum tipo de cultivo de camarão marinho, estando esses, em sua maioria, restrita ao litoral (Roubach *et al.* 2003). Já durante a década de 2000 a 2010, a expansão da maricultura para águas interiores, fez do *L. vannamei* uma espécie ainda mais atraente na aquicultura de baixa salinidade em muitos países (Saoud *et al.* 2003).

O *L. vannamei* tem a capacidade de tolerar uma larga faixa salina (0,5 - 45 ppm) (Re *et al.* 2012), todavia, essa submissão obriga o organismo a um realocamento

energético para usado na osmorregulação, a energia é a base para os organismos executarem suas funções fisiológicas e bioquímicas (Sokolova *et al.* 2012), influenciando no crescimento e na sobrevivência dos animais. Sabe-se que a energia desempenha um papel crucial no organismo, ajudando a se adaptarem às tensões ambientais, onde outra parcela energética é alocada a fim de manter a homeostase (Callow & Forbes 1998).

O conhecimento superficial, de alguns criadores, principalmente os de cultivos extensivos e semi-intensivos, sobre a capacidade deste peneídeo em suportar oscilações na temperatura, salinidade, oxigênio dissolvido e alguns outros parâmetros assim como as variações climáticas locais acabam sendo responsáveis, em grande parte, por mortes massivas no cultivo (Poli *et al.* 2019). Daí a importância de que haja um melhor conhecimento sobre as espécies e os locais de cultura do *Litopenaues vannamei*, assim como o acesso a guias informativos como esta revisão.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL:

Fornecer informações sobre os trabalhos realizados com o camarão *Litopenaeus vannamei* em sistemas oligohalinos na avaliação do estresse osmótico, identificando experimentos com os biomarcadores GST e LPO.

3 METODOLOGIA

Nesta revisão foram utilizadas as bases bibliográficas WEB OF SCIENCE e GOOGLE ACADÊMICO. O trabalho teve por objetivos apresentar trabalhos sobre o *Litopenaeus vannamei* em sistemas de cultivo oligohalinos, na avaliação do estresse osmótico¹. Analisar as principais formas de produção de ERO, oriundas ou não do estresse osmótico² e analisar os trabalhos com biomarcadores GST e LPO em cultivos oligohalinos do *Litopenaeus vannamei*³. A triagem foi feita sem nenhum período específico. A pesquisa foi feita usando as palavras específicas “ROS *Litopenaeus vannamei*”, “Osmotic stress *Litopenaeus vannamei*” e “Biomarkers *Litopenaeus vannamei*” em ambos os sites. Alguns trabalhos que citaram estes das buscas foram também incluídos nesta revisão, desde que estivessem dentro dos objetivos desta revisão, abrangendo no fim um total de 100 trabalhos

4 RESULTADOS

4.1. ESTRESSE OXIDATIVO

Chama-se de estresse oxidativo quando no organismo há um aumento dos níveis de produção de espécies reativas de oxigênio (ERO), do inglês reactive oxygen species (ROS). Podendo haver uma mudança no equilíbrio entre agentes oxidantes e antioxidantes, causando danos oxidativos (Qiu *et al.* 2011) em biomoléculas muito importantes, como DNA, lipídios e proteínas (Chang *et al.* 2009). Eventualmente há a geração de radicais livres (sub produtos) e/ou espécies reativas não radicais, resultantes do metabolismo do oxigênio, sendo a mitocôndria a principal fonte geradora por meio da cadeia transportadora de elétrons. O sistema de defesa antioxidante tem a função de inibir e/ou reduzir os danos causados pela ação deletéria dos radicais livres e/ou das espécies reativas não radicais.

A toxicidade da água é uma importante forma de produção de espécies reativas de oxigênio. Ela é proveniente do desenvolvimento da carcinicultura, que está aumentando a injeção de produtos químicos nos meios de cultura (Santos & Keller 1993). Formas de analisar esse dano podem ocorrer por amostragem de hemolinfa, protocolo comum bastante utilizado para pesquisa e produção de camarões e crustáceos de maneira geral, embora isso implique em uma situação estressante para o organismo. Quando o *L. vannamei* é submetido a estresse salino, há normalmente aumento das taxas de glicose no sangue, que é usada como uma fonte rápida de energia (Jaime-Ceballos *et al.* 2008). Além do *L. vannamei* em algumas outras espécies de crustáceos o aumento da glicose e do lactato na hemolinfa foram observados, como nos sirís *Cancer pagurus* (Webster 1996) e *Carcinus maenas* e no lagostim *Orconectes limosus*, após exposição a contaminantes, funcionando como indicador de respostas do organismo frente a algum estresse (Santos & Keller 1993).

Assim, quando internamente há um desbalanço, com aumento de oxidantes no organismo animal, e formação de ERO há caracterização de estresse oxidativo (Qiu *et al.* 2011). Existem diferentes formas de observar a presença destas espécies reativas no organismos submetido a alguma forma de estresse, são os biomarcadores. Os biomarcadores são formas de se avaliar o dano proveniente do estresse ao qual os organismos são expostos (Gabbianelli *et al.* 2003).

4.2. ESTRESSE OSMÓTICO

O estresse osmótico, portanto, é uma forma geradora de estresse oxidativo. O *L. vannamei* é capaz de tolerar uma ampla gama de salinidades no ambiente de 0,5 ppm's a 40 ppm's (Bray *et al.* 1994), estando no grupo dos eurialinos. Essa característica não inclui os peneídeos em geral, existindo algumas espécies estonohalinas, não sendo tolerantes a extensas variações na salinidade (Nunes 2001).

A salinidade é um dos fatores mais importantes que influenciam no estado fisiológico dos animais aquáticos (Xu *et al.* 2018). Estudos demonstraram que os animais aquáticos eurialinos, quando expostos a um estresse salino, são forçados a osmorregular, alterando a expressão de várias enzimas transportadoras. Oscilações de salinidade, assim como para outros fatores ambientais, desencadeiam em adaptações por parte do organismo, respostas com um efeito sobre diferentes funções fisiológicas, e em última análise implicam no crescimento e na sobrevivência dos camarões (Young *et al.* 1989).

A salinidade ambiental varia continuamente devido alterações nas condições climatológicas, tal como precipitação na forma de chuva e taxas de evaporação (Christensen *et al.* 1997) atrelada ao fluxo de entrada de água doce em estuários (Malin *et al.* 1993). A composição iônica da água varia muito entre os locais e profundidade de diferentes corpos d'água como rios, mares e estuários (Mcgraw & Scarpa 2004).

4.2.1 Como o estresse hiposmótico pode influenciar na homeostase do *litopenaeus vannamei*?

Como comentado anteriormente, para o bom desenvolvimento da carcinicultura o conhecimento adequado por parte dos criadores sobre as porções funcional, fisiológica, sistemática e sobre interações e respostas dos organismos quando cultivadas em condições não ideais, é de fundamental importância para um bom cultivo. Fenômenos como aumento da glicose e do lactato são produtos de intensa atividade osmorregulatória, indícios de que o organismo não está em seu perfeito equilíbrio sendo, portanto, obrigado a contornar a toxicidade proveniente destes fatores estressantes, tirando-os de sua homeostase (Furtado *et al.* 2015).

Em cultivos hiposmóticos, estudos revelam que o estresse salino pode reduzir a difusão de sal entre a hemolinfa e o ambiente, pois a água é absorvida a partir do meio, o que pode levar a um inchaço das células, podendo causar até mesmo a morte do organismo (Davis *et al.* 2002). Desta maneira, a capacidade osmorregulatória, por análise de alteração salina, vem sendo usada como ferramenta (biomarcador) para analisar estresse quando o *L. vannamei* é exposto a diferentes formas de estresse, entre elas a baixa salinidade (Lignot *et al.* 2000). Não tem sido dada a atenção devida sobre o efeito da salinidade (baixa e a alta) sobre a sobrevivência e o seu efeito na HOP (pressão osmótica da hemolinfa) em larvas e pós larvas (PL's), (Chong-robles *et al.* 2014), haja vista que crustáceos aquáticos têm diferentes estratégias adaptativas osmorregulatórias, ou padrões osmorregulatórios, para regular a concentração salina da hemolinfa, mas sempre variando com a salinidade local (Péqueux *et al.* 2006).

Os padrões osmorregulatórios em crustáceos variam de osmoconformação para hiper e hipo osmorregulação (Péqueux *et al.* 2006). Para revelar os processos adaptativos e padrões osmorregulatórios em que animais aquáticos são forçados a realizar quando submetidos a alguma forma de estresse na aclimação a salinidade. A maioria dos estudos atuais centra-se sobre o crescimento do indivíduo (Gutiérrez *et al.* 2003), distribuição (Barletta *et al.* 2005), osmorregulação (Vargas-Chacoff *et al.* 2014), produção (El-Zaeem *et al.* 2013) e respostas fisiológicas (Gonzalez 2012) mas alguns poucos abordam a adaptação e processos homeostáticos quando submetidos a estresses hiposmóticos, uma vez que o *L. vannamei* acaba gastando parte de sua reserva energética para sobreviver (Bucke *et al.* 2006).

A tolerância a baixa salinidade (0 a 20 ppm's) é conhecida por adaptação progressiva, a partir de PL2 a PL20 (Sowers *et al.* 2006). Entre as fases de PL10 a PL23, o tempo de sobrevivência depende da combinação, de fatores como a salinidade com cada estágio de desenvolvimento (Jayasankar *et al.* 2009), além de alguns outros fatores, como temperatura (McGraw *et al.* 2004) e Oxigênio dissolvido (Ponce-Palafox *et al.* 1997).

Para organismos submetidos a algum produto químico, estresse físico ou biológico ou experiências oxidativas anormais há ocorrência de reações em suas vias metabólicas aeróbicas, resultando em estresse (Ranby & Rabek 1978). Por exemplo, espécies reativas de oxigênio são produzidas como resultado de uma ampla gama de

estímulos ambientais como, por exemplo, parâmetros físicos e xenobióticos (Morel & Barouki 1999). Assim, condições ambientais hiposmóticas quebram a homeostase do *L. vannamei*, que acaba necessitando acessar reservas energéticas como estratégia para desviar-se dos gastos com reações e espécies reativas de oxigênio e radicais livres, por exemplo, provenientes de cultivos de baixa salinidade.

4.2.2 Orgãos e estruturas envolvidas na osmorregulação

O mecanismo osmorregulatório é importante para o ciclo natural do camarão e para seu cultivo, assim, o *L. vannamei* depende não só da regulação osmótica, mas também da adaptação fisiológica às mudanças de salinidade (Kaeodee *et al.* 2011). Para isso, muitos órgãos estão envolvidos neste controle, incluindo brânquias, apêndices, glândulas antenais, intestino, pedúnculo ocular, músculos e hepatopâncreas (Tiu *et al.* 2007). Sendo o hepatopâncreas a glândula digestiva mais importante para os decápodos (Franceschini-Vicentini *et al.* 2009), estando envolvido na digestão, absorção de nutrientes, no armazenamento, assim como na síntese e excreção das enzimas digestivas (Li *et al.* 2008).

As brânquias têm também grande importância, tanto pela função respiratória quanto pelo ajuste osmótico, sendo continuamente expostas a eventuais substâncias presentes na água, como micróbios e toxinas endógenas / exógenas do ambiente, sendo o status da homeostasia fisiológica do órgão uma resposta direta do estado de saúde do camarão. (Duan *et al.* 2018). Desta maneira, fatores de compreensão, tais como aclimatação a salinidade, que afetam a sobrevivência do camarão marinho, em águas doce, são fundamentais para o avanço da indústria da carcinicultura ao redor do mundo (Mcgraw & Scarpa 2004).

O hepatopâncreas é o principal local de armazenamento de lipídios (Clarke & Wickins 1980), e o lipídio armazenado no hepatopâncreas é utilizado principalmente para a energia gasta durante a muda, manutenção da integridade estrutural e fisiológica das membranas celulares e subcelulares (Gong *et al.* 2004). Estas observações sugerem que caso haja muito gasto energético na osmorregulação o crescimento estará comprometido, graças a uma menor oferta energética necessária para a ecdise do *L. vannamei* (Duan *et al.* 2018).

4.2.3 Qual a importância da osmorregulação em cultivos oligohalinos para o *litopenaeus vannamei*?

De maneira geral o *L. vannamei*, assim como outros peneídeos, libera íons para a porção extracelular, que é menos concentrada que o ambiente oligohalino. A sobrevivência de organismos que habitam o meio aquático resulta em parte da seleção de mecanismos que controlam o equilíbrio osmótico e iônico que mantêm seu meio interno estável (Gong *et al.* 2004). Os crustáceos desenvolveram muitos padrões de regulação osmótica e iônica, responsáveis pela sua ampla distribuição e diversidade, sendo assim utilizados como modelos para uma melhor compreensão dos mecanismos comparativos na osmorregulação, que empregam enzimas transportadoras de íons para manter o volume e a concentração dos fluidos na célula (Faleiros & McNamara 2011).

Os camarões peneídeos necessitam de uma concentração mínima de sais na água para manter o equilíbrio osmótico no meio em que vivem. Em águas salgadas, durante o processo de osmorregulação, camarões marinhos retêm água do meio e excretam sais. Buscando evitar o acúmulo excessivo de íons em seus fluidos corporais e conseqüentemente a desidratação da célula (Duan *et al.* 2018). Em ambientes completamente doces, o animal tende a perder quantidades excessivas de água, retendo muitos íons durante a osmorregulação. Dependendo do tempo de exposição, esta condição leva o animal à morte (Nunes 2001).

Nas últimas décadas pesquisas tem sido realizadas centrando-se na capacidade de osmorregulação do *Litopenaeus vannamei*, assim como nos demais pertencentes da família dos Peneídeos, cerca de doze gêneros aproximadamente (Da Silva 2007), entre eles *Marsupenaeus japonicus*, *Litopenaeus schmitti*, *Farfantepenaeus subtilis*, *F. brasiliensis*, *P. Monodom*, *F. Paulensis* e *L. vannamei* (Chen *et al.* 2014). No entanto, valores referentes a salinidades ideais para o crescimento de juvenis e adultos foram inconsistentes, divergindo informações como o crescimento e sobrevivência deste camarão (Castille & Lawrence 1981), a capacidade imune (Ponce-Palafox Martinez-Palacios & Ross 1997) e a resistência às formas de estresse (Li *et al.* 2008).

As salinidades ideais para alguns autores, em cultivos varia entre 15 e 25 ppm's (Vinatea 1997), para alguns a faixa ótima de salinidade para a cultura de incubação de camarões peneídeos estaria entre 26-32 ppm's (Liao & Chien 2011). Já para outros a salinidade ideal para o crescimento dos peneídeos é entre 25 e 35 (Nunes & Andreatta

2010). A divergência basicamente envolve o fato de a salinidade ideal estar sujeita a influência de muitas outras vertentes, como alguns fatores físico-químicos.

A osmorregulação acaba sendo também uma função fisiológica, além de um campo interessante para entender padrões de distribuição ecológicos, com possíveis aplicações para melhoraria das condições do meio de cultura. Além dela, a concentração osmótica também diminui na hemolinfa com o passar do tempo no *L. vannamei* (Wickins 1976). Por causa disso, larvas podem sobreviver a uma transferência aguda para água doce, enquanto os juvenis são geralmente expostos a mudanças graduais de salinidade, de cerca de 5% por dia (Castille & Lawrence 1981)

O requisito energético necessário para osmorregular pode prejudicar a manutenção da composição da hemolinfa, que é uma proporção considerável da parcela total produzida pelo organismo, que pode ser suplementada através de teores lipídicos na dieta (Hagerman & Uglow 1981). A aclimatação a mudanças de salinidade não só induz a modificações nos processos diretamente relacionados com os mecanismos de transporte de íons, mas também com concentração destes íons e os processos relacionados com o metabolismo lipídico (Pequeux 1995). As adaptações fisiológicas associadas com tais alterações funcionais necessitam de muita energia (Tseng & Hwang 2008), mostrando que a osmorregulação de animais aquáticos tem um custo energético (20% - 50% da energia metabólica total) dispendioso, com finalidade de manter o equilíbrio osmótico intra e extracelular (Tseng & Hwang 2008). Por isso, os estudos sobre a utilização da energia de animais aquáticos sob estresse salino são importantes na compreensão do mecanismo de regulação osmótica para crustáceos aquáticos (Chen *et al.* 2014).

Desta maneira, a osmorregulação é fundamental para o bom funcionamento do organismo, mesmo que sejam em crustáceos tolerantes a bruscas variações salinas como é o caso do *L. vannamei*. A concentração e oferta iônica, equilíbrio osmótico, oferta lipídica na dieta e na água de cultivo são todos fatores importantes para que não haja maiores prejuízos ao crescimento deste camarão.

4.2.4 Íons envolvidos na salinidade e crescimento do *Litopenaeus vannamei*

Generalizando, a salinidade marinha tem sua constituição dada por sete íons principais, sendo eles Sódio, Potássio, Cálcio, Magnésio, Cloreto, Sulfato e

Bicarbonato. São basicamente responsáveis pela salinidade da água (Jahan *et al.* 2018). As outras substâncias dissolvidas dão uma contribuição mínima à salinidade ou aos sólidos totais dissolvidos, mas são importantes do ponto de vista fisiológico dos animais. Os quatro cátions importantes para a osmorregulação são: Sódio (Na^+), Cálcio (Ca^{2+}), Potássio (K^+) e Magnésio (Mg^{2+}) (Albuquerque 2009). Os três principais ânions que contribuem com uma fração substancial na pressão osmótica são: Cloretos (Cl^-), Bicarbonatos (HCO_3^-) e Sulfatos (SO_4^{2-}). Não por acaso, tais íons têm sido apontados como os principais fatores para o sucesso ou fracasso em cultivos do *Litopenaeus vannamei* em águas com baixa salinidade (Valença & Mendes 2004).

A regulação iônica na maior parte dos crustáceos consiste em manter os níveis de Na^+ , K^+ e Ca^{2+} em concentrações superiores à água do mar, e níveis de SO_4^{2-} e Mg^{2+} abaixo da concentração de águas marinhas, enquanto o íon Cl^- é mantido em equilíbrio com a concentração de águas do mar. A contribuição do íon Potássio, para a manutenção da pressão osmótica da hemolinfa, não é alta, mas sua presença é importante na ativação da enzima $\text{Na}^+ \text{K}^+ \text{ATPase}$ (NKA), sendo ela primordial para o transporte de íons e para a osmorregulação (Mantel & Farmer 1983).

O gasto energético destinado a osmorregulação, quando há submissão do *Litopenaeus vannamei* a estresse osmótico, causa também geração de espécies reativas de oxigênio. Haja vista que como já mencionado, o estresse osmótico causa estresse oxidativo no organismo do camarão. Assim, não diferentemente das formas acima relatadas, o comprometimento do crescimento e sobrevivência do *L. vannamei* está também associado à geração de ERO (Wang *et al.* 2009). Parcelas de ERO podem ser diminuídas com um bom sistema antioxidante, presente quando as condições de cultivo são satisfatórias ou quando a oferta energética é suficiente para que o *L. vannamei* não padeça tanto, essa oferta energética pode ser suplementada pela oferta iônica nos cultivos (Jahan *et al.* 2018).

4.2.4.1 Salinidade ou concentração iônica?

Ao contrário da água do mar, a constituição iônica de águas interiores varia muito. A salinidade de uma fonte de água interior, como um poço, não pode ser considerada como a característica principal que a torna capaz de sustentar um cultivo de camarão marinho. Acreditava-se que os parâmetros primordiais para o sucesso do cultivo de camarões marinhos em águas interiores fossem a salinidade, a dureza e a

alcalinidade. Porém, resultados de cultivos e pesquisas recentes têm demonstrado que a composição iônica da água também influencia fortemente no crescimento e na sobrevivência do camarão (Valença & Mendes 2004). Hoje, sabe-se que os íons constituintes da água também são essenciais, incluindo-se aí os macros e os microminerais, sendo associados ao sistema imune do *L. vannamei* (Li *et al.* 2015).

Exemplares do camarão *L. vannamei*, quando em estresse salino, em contato com bactérias *V. Alginolyticus*, isoladas, (considerada um patógeno secundário e oportunista), costumam apresentar letargia e embranquecimento muscular. O estresse é muitas vezes caracterizado por um clareamento da cauda (Fu *et al.* 2007) e cólicas, ocasionando até mesmo a morte (Chao *et al.* 1999). Uma razão provável para essa ocorrência seria proveniente de desequilíbrios iônicos provenientes da água do cultivo ou de reservas nutricionais deficientes na dieta do *Litopenaeu vannamei*. Uma vez que os animais aquáticos podem obter minerais tanto da água do ambiente como através da ração ofertada. Suplementos de íons selecionados podem facilitar melhores índices de sobrevivência e crescimento do camarão em condições oligohalinas (Davis *et al.* 2002).

Análises de 19 amostras de fontes de águas subterrâneas de quatro estados americanos (Flórida, Alabama, Mississippi e Texas) e uma amostra da Austrália revelaram uma forte correlação entre a sobrevivência e o crescimento de pós-larvas e juvenis de *L. vannamei* e a concentração dos íons K^+ , Mg^{2+} , Mn^{2+} e SO_4^{2-} , além dos fatores conhecidos, como os níveis de Na^+ e Cl^- associados a pH e dureza da água local (Saoud *et al.* 2003). A composição ideal em cultivos deve conter Na, Ca, Mg, K, P, Fe, Mn, Zn, B, Mo, Al, Ba, Co, Cl e SO_4 , independente de qual seja a salinidade, a fim de manter taxas de crescimento e sobrevivência satisfatórias em cultivos do *Litopenaeus vannamei* (Davis *et al.* 2002). Todavia, para outros autores o Boro já tem uma importância diminuta, devendo ser dado maior destaque para o metal de transição Cromo (Saoud *et al.* 2003).

Alguns testes de comparação e de macro/micro concentrações vêm testando a presença destes íons. Alguns balanços devem ser considerados, como a relação sódio/potássio e relação potássio / cálcio (Oliveira 2018). Trabalhos pioneiros mostraram que uma razão $Na / K = 1.8$ resultam em baixa sobrevivência, enquanto a razão $Na / K = 2,4$ aumenta sobrevivência em água doce para 80%. O Ca / Mg , ou Ca / Na influenciam negativamente na sobrevivência, contudo se houver aplicação do

Potássio há diminuição do efeito negativo. A relação Ca / Mg / K, que melhor se aplica, indiferentemente de salinidade, é aquela mais próxima da proporção da água do mar 1-3-1 e para Na e K, 1: 28 (ABCC 2018).

A composição iônica de uma água salina parece ser mais importante que a salinidade em relação ao seu efeito na sobrevivência e crescimento do camarão (Saoud *et al.* 2003). A informação de que soluções salinas simples (NaCl) não são adequadas para a cultura de camarão de qualquer salinidade é recorrente, embora na água do mar os íons mais importantes na osmorregulação sejam o cloreto e o sódio (Cawthorne *et al.* 1983).

De maneira geral para a determinação das concentrações iônicas recomendáveis para a água de um cultivo, independentemente da salinidade, o procedimento mais acertado para que não haja comprometimento das funções fisiológicas consiste em multiplicar a salinidade (em ‰) da água do local de cultivo pelo fator do íon desejado. Esses fatores podem ser visualizados pelos valores da tabela a seguir fornecidos pela Associação Brasileira de Criadores de Camarão.

Tabela 1- Concentração iônica padrão em cultivos do *Litopenaeus vannamei*, indiferente da salinidade.

ÍON	FATOR A SER *
CÁLCIO	11,6
MAGNÉSIO	39,1
POTÁSSIO	10,7
SÓDIO	304,5
CLORETOS	551
SULFATOS	78,3

Fonte: Associação Brasileira de Criadores de Camarão – ABCC (2017).

Na tabela 1 não consta o íon bicarbonato, mas é de conhecimento dos criadores que os camarões encontram dificuldade para realizar a muda se a alcalinidade total no local for menor que 50mg/L de CaCO₃. Por esta razão, recomendasse manter sempre a alcalinidade total acima deste valor, para garantir os níveis indicados deste parâmetro. Outra observação importante diz respeito à relação entre o Cálcio e o Magnésio (Ca:Mg) na água do viveiro, que no caso da água do mar é de 1:1,34. O desequilíbrio entre esses dois elementos tem sido apontado como causa de outro problema que afeta a

saúde do camarão cultivado, a câimbra muscular que pode estar associado à morte por dificuldades na alimentação ou respiração caso haja déficit de oxigênio nos tanques (ABCC 2017).

Trabalhos vêm mostrando que quando o camarão é mantido em águas onde a concentração de K^+ é aumentada, até igualar sua concentração com a água do mar, ocorre aumento de <50% para mais de 85% na sobrevivência de PL's (Saoud *et al.* 2003). Outros íons também estão associados à sobrevivência (Mg^{2+} e SO_4^{2-}) foram relatados como importantes na osmorregulação (Mantel & Farmer 1983). Resultados de pesquisas e trabalhos em andamento, sugerem que na presença de uma salinidade adequada, o potássio é o íon que mais se correlaciona com a sobrevivência de Pós-Larvas (Saoud *et al.* 2003). Resultados semelhantes foram encontrados por Gong *et al.* 2004 trabalhando com osmoregulação em camarões na Austrália, assim como por autores trabalhando com o peixe snapper *Pagrus auratus* também apoiam esta informação (Fielder *et al.* 2001).

Para pós-larvas de peneídeos a maior taxa de sobrevivência para a maioria dos exemplares deste grupo está entre PL10 e PL40 (Mair 1980), limitada ao fato de que as águas interiores variam em perfis iônicos nos cultivos (Rosas *et al.* 1999), assim, a tolerância para sobrevivência a essas águas também pode variar, juntando um diferente grupo de PL's. (Roy *et al.* 2009). Pós-larvas costumam ser mais facilmente passíveis a estresse quando não cultivadas em uma água com valores salinos adequados ou carência nutricional dietética específica (Davis *et al.* 2002).

4.2.5 Como pode haver comprometimento do crescimento e sobrevivência do camarão?

Embora uma maior produção no setor carcinícola possa ser obtida a partir do cultivo em baixas salinidades (<5) para o *Litopenaeus vannamei*, em regiões localizadas distante do litoral, diversos problemas têm sido encontrados, tais como a redução de crescimento (Ponce-Palafox *et al.* 1997) e sobrevivência (Palacios *et al.* 2004). Desta maneira, é importante que se saiba quais são estas limitações no cultivo, com finalidade de melhorar o desempenho do *L. vannamei* cultivado em águas oligohalinas, avaliando quando há aumento das chances de perda lipídica proveniente do excesso na produção de ERO no organismo do camarão.

Vários estudos focaram na taxa de crescimento e na sobrevivência de crustáceos, sob diferentes concentrações de sal na água, e demonstraram o efeito da concentração de baixa salinidade sobre o crescimento de camarão, sugerindo que a composição iônica (K^+ / Na^+) pode aumentar o crescimento e sobrevivência dos crustáceos (Esparza-Leal *et al.* 2009). Sabe-se também que a capacidade osmorregulatória do *L. vannamei* diminui naturalmente quando atingem a fase subadulta ou adulta. Sendo os camarões menores são normalmente melhores osmorreguladores, ou seja, possuem mais energia para combater as ERO (Vargas-Albores & Ochoa 1992).

Embora alguns estudos tenham abordado o impacto da salinidade na sobrevivência (Ogle *et al.* 1992), na frequência da muda (Rosas *et al.* 2001), consumo de oxigênio (Villarreal *et al.* 1994), e no crescimento do *L. vannamei* (Ponce-Palafox *et al.* 1997), a salinidade ótima para o crescimento de camarões branco é ainda controversa. Sendo até agora, informações sobre o metabolismo ou a composição bioquímica do *L. vannamei*, em diferentes salinidades, diversificadas pelos fatores já retratados, pluralidade de fatores influenciando no cultivo (Li 2008a).

Adultos maduros e PL's são encontrados naturalmente no oceano, onde a salinidade é de aproximadamente 35 ppm's (Treece & Fox 1993), mas quando salinidade é menor que 22 os ovos fertilizados do *L. vannamei* são incapazes de desenvolver-se normalmente, o que não é diferente em cultivos carcinícolas (Peng *et al.* 2002). As respostas fisiológicas para muitos autores são dadas como essenciais para avaliar o desempenho dos animais nas mais diferentes condições ambientais (Hernández *et al.* 2006). Desta, maneira, o comprometimento do crescimento e da sobrevivência de PL's e adultos do *L. vannamei* está diretamente associado às capacidades de contornar os estresses e osmorregular de forma adequada quando há uma oferta iônica adequada no meio de cultivo, por isso uma dieta iônica adequada e/ou uma oferta de íons na água do cultivo são tão importantes para boas taxas de crescimento e sobrevivência em cultivos do *L. vannamei*.

4.2.6 Balanço energético em cultivos oligohalinos, importância de carboidratos, proteínas e lipídios na dieta

Na última década houve muito progresso nas pesquisas referente aos aspectos fisiológicos e nutricionais e as exigências do camarão branco do pacífico quando cultivado em águas de baixa salinidade. O *L. vannamei*, em águas oligohalinas,

geralmente mostra um crescimento mais lento, imunidade mais baixa, aumento de suscetibilidade a patógenos e uma alta demanda energética. A dieta contendo teores entre 30 e 36% de proteína, 15 a 20% de carboidrato e suplementações de potássio, sódio, vitamina C e E, aminoácidos livres (glicina, alanina, prolina e taurina), antioxidantes e probióticos podem melhorar, e muito, o crescimento e imunidade de camarões criados nestes ambientes (Li *et al.* 2008a).

Trabalhos vêm mostrando que camarões da família dos Peneídeos mantidos em baixa salinidade e alimentados com restrição de carboidrato, necessitam de mais energia para a excreção de amônia do que camarões mantidos em alta salinidade, sendo esses alimentados com altos teores de carboidrato a fim de diminuir a toxicidade pela NH₃ (Rosas *et al.* 2001). Porém, a eficiência produtiva foi aparentemente maior em camarões alimentados sem carboidrato do que o observado em camarões alimentados com elevadas concentrações de carboidrato, independente da salinidade em que estivessem.

A produção de glicose é limitada no camarão por causa da saturação da amilase quando camarões são alimentados com dietas acima de 33% de carboidrato, o que limita a oferta de glicogênio, oferta imediata energética. A glândula digestiva é saturada com glicogênio em camarões alimentados com níveis de carboidrato superiores a 33% na dieta. Este é um ponto de controle do metabolismo de carboidratos, que limita a taxa de crescimento em tais condições, cultivos oligohalinos e restrição de carboidratos na dieta. Desta maneira, o alto custo energético necessário para o metabólico relacionado às dietas com altas concentrações de carboidrato explica por que o *L. vannamei* é bem adaptado a usar a proteína como fonte energética (Rosas *et al.* 1999).

A proteína é o principal e mais caro componente na alimentação aquícola, tendo recebido mais atenção em estudos de exigência nutricional do *L. vannamei*. A exigência dietética de proteína para um crescimento ótimo do *Litopenaeus vannamei* é em uma faixa de 30 a 36% em águas salobras ou salgadas (Kureshy & Davis 2002). No entanto, os relatórios sobre exigência de proteína dietética deste camarão em uma salinidade <5 ppm's são muito limitados e controversos. Para Huang *et al.* 2003, os índices de conversão alimentar e eficiência proteica diminuem com o aumento da oferta de proteína na alimentação, o nível ótimo de proteína dietética para o *L. vannamei* é menor em salinidades mais baixas. Para Li *et al.* 2008b, o *L. vannamei* a sobrevivência em salinidades próximas a zero diminuiu com o aumento de proteína na dieta.

Em baixas salinidades, a taxa de eficiência alimentar aparentemente melhora quando há o aumento proteico na dieta (Wang *et al.* 2005). Já Liu *et al.* 2005 recomendam que dietas com concentrações a partir de 40% de proteína dietética sejam usadas em cultivos de baixa salinidade para melhorar o crescimento e a saúde animal. Da mesma forma que o fator crescimento e condição imunológica aumentam quando o nível de proteína na dieta é aumentando, para o fator da baixa sobrevivência, em baixas salinidades, não houve melhoras.

Concentrações de proteína ótima aparentemente dão melhores respostas, para o crescimento, quando fornecidas juntamente com aminoácidos, que podem melhorar a resistência ao estresse e a sobrevivência, servindo para lidar com o desafio de estresses hiposmóticos. Portanto, a fonte ideal de proteína na dieta ou a combinação de diferentes fontes de proteína devem ser cuidadosamente avaliadas paralelas a outros fatores, como com a temperatura no local de cultura (Li *et al.* 2015). Por exemplo, quando o carangueijo *Chasmagnathus granulata* foi suplementado com oferta proteica e submetido a estresse hiperosmótico algumas reservas lipídicas não foram consumidas, o que normalmente ocorre quando o organismo necessita de obtenção energética imediata (Luvizotto-Santos *et al.* 2003)

As condições nutricionais e imunológicas estão intimamente relacionadas em cultivos de crustáceos (Adachi *et al.* 2003). A caracterização bioquímica de moléculas com algum papel imunológico demonstrou que muitas destas moléculas são proteínas associadas à hemócitos (Destoumieux *et al.* 2001). Vários estudos indicam que a proteína na dieta é o nutriente regulador, pois o equilíbrio energético do camarão, e as condições imunes no sistema fisiológico dependem principalmente das proteínas na alimentação (Rosas *et al.*, 2001). Para Pascual *et al.* 2004, também é possível que caso haja oferta alimentar com conteúdo proteico adequado, ocorra uma melhor resposta imune para o *L. vannamei*.

Dos principais nutrientes de rendimento energético, os lipídios são um dos maiores em densidade energética, e muitos ácidos graxos do metabolismo lipídico são essenciais para o crescimento e desenvolvimento de animais aquáticos (Chen *et al.* 2014). Além disso, fosfolipídios e glicolipídios são indispensáveis componentes da membrana celular, podendo afetar a capacidade de alterar o conteúdo na membrana celular em organismos osmorreguladores (Tseng & Hwang 2008). Portanto, o

metabolismo lipídico deve funcionar corretamente ao responder as alterações de salinidade ambiental de animais aquáticos, alterando a permeabilidade da membrana celular (Tseng & Hwang 2008). Além disso, embora os mecanismos bioquímicos de osmorregulação de crustáceos tenham sido estudados (Romano *et al.* 2012), os mecanismos adaptativos moleculares para a mobilização de energia ainda não são bem conhecidos (Chen *et al.* 2014)

Camarões não toleram muito bem altos níveis de lipídios na dieta, estudos mostram um crescimento reduzido com inclusões acima de 10% de lipídios na alimentação (Gonzales-Felix *et al.* 2002). No entanto, qualidade e quantidade de lipídios têm um papel primordial no crescimento e saúde do camarão. Os camarões têm capacidade muito limitada, ou nenhuma, para biossintetizar um número elevado de moléculas de lipídios, que são essenciais para o crescimento normal, incluindo o colesterol, ácidos graxos altamente insaturados (HUFA) e fosfolipídios. A farinha e o óleo de peixe são muitas vezes as mais importantes fontes de colesterol e (HUFA) na dieta, e o crescente custo destes ingredientes marinhos forçam os criadores a reduzir as inclusões destes nutrientes nos alimentos, mesmo que importantes principalmente quando o estresse salino já é um fator limitante no cultivo (Xu *et al.* 2018).

Embora estes níveis de nutrientes não mostrem diferenças significativas em relação ao desempenho, experimentos em condições controladas mostram que são fundamentais na manutenção da saúde e nas defesas imunológicas, sob condições de desafios e sob condições ambientais instáveis encontradas na produção. Além disso, a condição de energia do camarão é amplamente determinada por suas reservas lipídicas, depositadas no hepatopâncreas (Toledo *et al.* 2016). O *L. vannamei* em qualquer condição, hipo ou hipersalina, tem maior atividade de produção da enzima amilase e um número menor de células I, a qual é destinada para reserva de nutrientes no hepatopâncreas (principal local onde ocorre a lipogênese) do camarão, comparado com camarões de água hipersalina (Li *et al.* 2008b), indicando que a nutrição lipídica pode ter um papel importante na melhoria da capacidade de osmorregulação (Chen 2014). O reforço destas reservas lipídicas no hepatopâncreas foi demonstrado recentemente por van de Braak *et al.* 2002 em ensaios com o camarão branco *Penaeus monodon*, alimentados com ração suplementada com um aditivo melhorador da digestibilidade. As análises histológicas mostraram um aumento de três vezes no percentual de camarões

com um elevado grau de vacuolização lipídica no hepatopâncreas após o uso do aditivo por um mês. (Xu *et al.* 2018)

Até agora, embora muitos estudos tenham sido realizados sobre vários aspectos da nutrição lipídica do *Litopenaeus vannamei* (Gonzalez-Felix *et al.* 2002), algumas informações sobre o metabolismo do lipídio em diferentes salinidades ainda não são bem conhecidas. Um método bem sucedido para a modulação de nutrientes para melhorar o estado fisiológico do *L. vannamei* a baixa salinidade ainda não foi avaliado devido à má compreensão dos mecanismos de via lipídica a que este peixe é exposto sob estresse salino (Chen *et al.* 2014). Desta maneira Carboidratos, Proteínas e Lipídios tem sua relativa importância, principalmente em cultivos oligohalinos. Entretanto, como influenciáveis por outros fatores podem agir também como agentes estressantes nestes cultivos quando ofertados em concentrações fora de uma ideal, mesmo que essa “concentração ideal” não tenha sido feita para estes tipos de cultura.

Somando-se todas as formas de causar dano ao organismo mencionados nesta revisão, os biomarcadores aparecem como ferramentas para medição deste dano, possivelmente, causando ao organismo algum déficit ou dano em maior escala. Em seguida serão abordados dois importantes biomarcadores, a (GST) e a Lipoperoxidação Lipídica (LPO).

4.2.7 Glutathione S- Transferase (GST)

A glutathione S-transferase é uma das principais enzimas em sistemas antioxidantes, que atua diretamente nos radicais livres, sendo o estado de saúde, estresse ambiental e nutrientes alimentares os principais reguladores de suas atividades (Li *et al.*, 2015). Ensaios ecotoxicológicos com auxílio do biomarcador GST linkaram dano no hepatopâncreas do *L. vannamei* quando expostos a concentrações de Cádmio, mesmo que baixas, produzindo alteração das funções do catabolismo protéico, refletindo efeitos deletérios experimentados pelos organismos em condições de exposição (Wang *et al.* 2009).

Esses biomarcadores (ácidos graxos e enzimas) são considerados bons bio-indicadores de estresse devido à sua alta sensibilidade (Filimonova *et al.* 2016). Respostas fisiológicas de organismos aquáticos à salinidade, principalmente em lipídios

e ácidos graxos com diminuição das atividades enzimáticas, também foram relatados em alguns estudos (Romano *et al.* 2014).

Para GST somente um trabalho foi encontrado nas duas plataformas de pesquisa desta revisão, nele diferentes grupos do *L. vannamei* foram alimentados com cinco diferentes rações, contendo diferentes concentrações de Cádmio e Zinco curcumin. Sabe-se que teores de Cádmio, mesmo que baixos, afetam o fígado dos juvenis, mas os que foram alimentados com ração contendo Zinco Zurcumin não apresentaram células com lesão. Exemplares destes camarões, onde não foi observada lesão hepática pelo GST foram expostos a estresse salino agudo, de 29 para 6 ppm's, e após análise em outros exemplares foi observada anulação do caráter protetor do Zn curcumin e lesão grave no fígado, levando a mortalidade acentuada, aumentando ainda mais a capacidade oxidante e de intoxicação no hepatopâncreas dos animais submetidos a estresse salino. Conseqüentemente, a presente pesquisa hipotetiza que a o Zn Curcumin (II) pode desempenhar um papel importante na desintoxicação com hepatotoxicidade e acúmulo induzido pelo cádmio. Este trabalho também avaliou o biomarcador LPO, através de um subproduto, o Malondialdeído (MDA), as mesmas conclusões foram alcançadas para o LPO (MDA), (Yu *et al.* 2016).

4.2.8 Lipoperoxidação lipídica (LPO)

Um nível estável de anti-oxidantes é fornecido pelo equilíbrio entre a geração e eliminação de ROS (Livingstone 2001). Apesar disso, sob condições normais, algumas ROS escapam aos mecanismos de defesa, causando dano aos componentes celulares, induzindo e modificando cascatas reguladoras no organismo como macromoléculas, entre outras (Lushchak 2011). Além disso, quando o sistema de proteção não consegue superar os efeitos ROS induzidas por substâncias tóxicas, o dano oxidativo se acumulará nas células. Segundo Rodrigues *et al.* 2012, os níveis de LPO foram influenciados pela salinidade em caranguejos *Carcinus maenas* coletados na foz do estuário de Lima.

O LPO foi significativamente maior em caranguejos expostos à salinidade de oito ppm's e menor em caranguejos expostos a 45 ppm's. Os níveis mais baixos de LPO encontrados em resposta à hipersalinidade são possivelmente devido a um efeito compensatório combinado dos níveis aumentados de Glutathione Total (GT), também encontrado nestes organismos. O dano oxidativo encontrado em resposta à

hipossalidade pode resultar do aumento estresse oxidativo que não poderia ser compensado por alterações concomitantes nos níveis de GT. Em 2010, o estudo de An e Choi também mostrou que a exposição de conchas de arca a baixa salinidade (25 ppm's) levava a um aumento na concentração de peróxido de hidrogênio e LPO

A peroxidação lipídica é um dos principais problemas do sistema de proteção antioxidante ineficiente segundo Castex *et al.* 2010, por exemplo, Souza *et al.* 2014 observando maior atividade enzimática do sistema de proteção antioxidante e aumento do LPO em camarões cultivados em temperaturas de 15 e 21 ° C. Furtado *et al.* 2016, utilizaram temperaturas acima dos 24° C para reduzir qualquer influência negativa nos dados de LPO. Liao *et al.* 2011, por outro lado, avaliaram o efeito do nitrito (0; 0,5 1,0 e 10 mg / L) no *L. vannamei* juvenil (6-7 cm) em salinidades de 10 ppm's a 22° C por 8h, e observou o aumento de nitrito na hemolinfa de acordo com a concentração de nitrito no meio ambiente ao longo do tempo, o que reflete o aumento de ROS gerado pela exposição ao nitrito.

Neste estudo, o LPO foi observado com o aumento dos níveis de nitrito na salinidade de 8g / L, que ocorreu como resultado de danos causados pelas ROS geradas pela exposição ao nitrito nessa salinidade e pela ineficiência neutralizante do sistema de proteção antioxidante. Em camarões cultivados na salinidade de 24g / L, no entanto, houve redução na LPO. Essa redução pode ser um sinal de que os lipídios hidroperoxidados já haviam sido transformados em outras moléculas, como MDA (Malondialdeído), um produto final de LPO (Doyotte *et al.* 1997).

No estudo de Furtado *et al.* 2015 não houve diferenças significativas para LPO em relação à salinidade, controle (8 ppm) e 24: grupos de tratamento controle não diferiram significativamente ($p > 0,05$). Contudo, Xuying *et al.* 2014, avaliaram o estresse térmico a baixa e alta temperatura em camarão criado em água doce e do mar, e observaram maiores concentrações de MDA no hepatopâncreas do camarão criado em água doce do que os criados na água do mar. Os lipídios nos camarões criados em água doce são, portanto, mais suscetíveis à peroxidação do que os cultivados no mar água, particularmente em condições de baixa temperatura.

Para LPO, foram encontrados dois trabalhos, o primeiro que também aborda o biomarcador GST. Neste segundo diferentes grupos do *L. vannamei* foram submetidos a duas diferentes salinidades, 8 ppm e 24 ppm, testando também outras duas diferentes

concentrações de NO_2 (5mg e 40 mg) na água. Sendo observado que na salinidade de 8g /L, houve aumento dos valores de LPO na presença de nitrito, enquanto na salinidade de 24 g/L, houve uma redução da LPO com aumento de nitrito, indicando que para este biomarcador a salinidade é mais estressante que níveis mais elevados de NO_2 presentes nas águas de cultivo (Furtado *et al.* 2015).

5 CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS

Quanto a revisão bibliográfica concluí-se que o camarão marinho *Litopenaeus vannamei* é bem estudado em cultivos oligohalinos. Além desse estresse, osmótico, demais formas estressantes são também bastante abordadas na literatura. Contudo, algumas lacunas na literatura ainda parecem existir, como por exemplo quais concentrações ideais entre proteínas, carboidratos e lipídios na dieta do *Litopenaeus vannamei* quando criados em cultivos oligohalinos. Assim como informações de como ocorre o metabolismo lipídico em diferentes salinidades. Há também ausência de informações mais acertivas quanto ao gasto energético necessárias diversas etapas para a síntese enzimática durante a osmorregulação do camarão branco do pacífico. Os recentes trabalhos de maneira geral estão testando novos biomarcadores ou associando o organismo a mais de um fator estressante, a fim de se conhecer o estresse associado. Há também grande carência, quase ausência de trabalhos, envolvendo os biomarcadores GST e LPO sob estresse osmótico no *L. Vannamei*, talvez por esse ser um animal eurialino não seja tão interessante para os pesquisadores verificar estresse osmótico nesse animal, que por natureza, osmorregula tão bem.

REFERÊNCIAS

- Adachi K., Hirata T., Nishioka T., Sakaguchi M. 2003. Hemocyte components in crustaceans convert hemocyanin into a phenoloxidase-like enzyme. *Comp. Biochem. Physiol.* **134**: 135 – 141.
- Albuquerque F.S.X. 2009. *As águas-mães: um efluente industrial detentor de um potencial econômico para a indústria salineira do Rio Grande do Norte na produção de Óxido de Magnésio*. MS Dissertation em Meio Ambiente e Desenvolvimento, Universidade Estadual do Rio Grande do Norte, Mossoró, 51p.
- Associação Brasileira de Criadores de Camarão (ABCC). 2017. *Técnicas de manejo e qualidade da água com ênfase no seu balanço iônico*. Ceará, Convênio mapa nº827739/2016. <http://abccam.com.br/wpcontent/uploads/2017/07/apostila-t%C3%89nicas-de-manejo-e-qualidade-da-%C3%81gua-com-%C3%8anfase-no-seu-balan%C3%87o-i%C3%94nico.pdf>, acesso em 12 de maio de 2019.
- Barletta M, Barletta- Bergan A, Saint- Paul U, Hubold G. 2005. The role of salinity in structuring the fish assemblages in a tropical estuary. *Journal of Fish Biology*. **66**(1):45–72.
- Bray W.A., Lawrence A.L., Leung-Trujillo J.R. 1994. The effect of salinity on growth and survival of *Penaeus vannamei*, with observations on the interaction of IHHN virus and salinity. *Aquaculture* **122**:(2–3): 133–146.
- Buckle L.F., Baron B., Hernandez M. 2006. Osmoregulatory capacity of the shrimp *Litopenaeus vannamei* at different temperatures and salinities, and optimal culture environment. *Revista de Biología Tropical* **54**:(3): 745–753.
- Calow P. & Forbes V. E. 1998. How do physiological responses to stress translate into ecological and evolutionary processes?. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular e Integrative Physiology*, **120**:(1): 11-16.
- Castex M, Lemaire P, Wabete N, Chim L., 2010. Effect of probiotic *Pediococcus acidilactici* on antioxidant defences and oxidative stress of *Litopenaeus stylirostris* under *Vibrio nigripulchritudo* challenge. *Fish Shellfish Immunol.* **28**:622–631.
- Castille Jr F.L. & Lawrence A.L. 1981. The effect of salinity on the osmotic, sodium and chloride concentrations in the hemolymph of euryhaline shrimp of the genus *Penaeus*. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology* **68**: 75–80.
- Cawthorne D. F., Beard T., Davenport J., Wickins J. F. 1983, Responses of juvenile *Penaeus monodon* Fabricius to natural and artificial sea waters of low salinity. *Aquaculture*, Amsterdam, **32**: 165-174.
- Chang C. C., Yeh M. S., Cheng W. 2009. Cold shock-induced norepinephrine triggers apoptosis of haemocytes via caspase-3 in the white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Fish e Shellfish Immunology*, **27**: (6): 695-700.
- Chao K.P., Su Y.C., Chen S.C. 1999. Chemical composition and potential for utilization of the *Rhizoclonium* sp. *Journal of Applied Phycology*. **11**:525–33.

Chen K., Li E., Gan L., Wang X., Xu C., Lin H. e Chen L. 2014. Growth and lipid metabolism of the pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* at different salinities. *Journal of Shellfish Research*, **33**:(3) 825-833.

Christensen J.D., Monaco M.E., Lowery T.A. 1997. An index to assess the sensitivity of Gulf of Mexico species to changes in estuarine salinity regimes. *Gulf Res. Rep.* **9**:219–229.

Clarke A. & Wickins J.F. 1980. Lipid content and composition of cultured *Penaeus merguensis* fed with animal food. *Aquaculture*, **20**: 17–27.

Da Silva S.C. 2007. *Estimativa de variabilidade genética de plantéis do camarão marinho Litopenaeus vannamei em laboratórios de maturação do Estado do Ceará, baseado em microssatélites e na região controle mitocondrial*. Ms dissertation, Universidade Federal do Ceará 38p.

Davis D.A, Saoud IP, McGraw WJ, Rouse DB. 2002. Considerations for *Litopenaeus vannamei* reared in inland low salinity waters. *Avances en Nutrición Acuícola VI Memorias del VI Simposium Internacional de Nutrición Acuícola 3*.

Destoumieux D., Saulnier D., Garnier J., Jouffrey C., Bulet P., Bachere E. 2001. Antifungal peptides are generated from the *C. terminus* of shrimp hemocyanin in response to microbial challenge. *Journal Biology Chemistry* 276.

Doyotte A, Cossu C, Jacquin M, Babut M, Vasseur P. 1997. Antioxidant enzymes, glutathione and lipid peroxidation as relevant biomarkers of experimental or field exposure in the gills and the digestive gland of the freshwater bivalve *Unio tumidus*. *Aquatic Toxicology* **39**:93–110.

Duan Y., Wang Y., Dong H., Li H., Liu Q., Zhang J., Xiong D. 2018. Physiological and immune response in the gills of *Litopenaeus vannamei* exposed to acute sulfide stress. *Fish e Shellfish Immunology*, **81**: 161-167.

El-Zaeem S.Y., Ahmed M.M.M., Salama M., El-Maremie H. 2013. Production of salinity tolerant Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* through traditional and modern breeding methods: II. Application of genetically modified breeding by introducing foreign DNA into fish gonads. *African Journal of Biotechnology*, **10**: (4):684–95.

Faleiros R.O. & McNamara J. 2011. *Osmorregulação em camarões Palaemonidae (Decapoda, Caridea): uma abordagem molecular e bioquímica, Panorama da aquicultura*. 5p.

FAO 2018a. Global aquaculture production 1950–2016. *In*:FAO Fishery Statistical Collections. FAO, Rome, Italy. <http://www.fao.org/fishery/statistics/globalaquaculture-production/query/en>, Acessado em 10 de Julho de 2019.

FAO 2018b. The FAO blue growth initiative: strategy for the development af fisheries and aquaculture in eastern Africa (FAO, Rome, Italy): <http://www.fao.org/publications/card/en/c/I8512EN>, Acessado em 15 de abril de 2019.

Fielder D.S., Bardsley W.J., Allan G.L. 2001. Survival and growth of Australian snapper, *Pagrus auratus*, in saline groundwater from inland New South Wales, Australia. *Aquaculture*, **201**: (1-2):73-90.

- Filimonova V., Goncalves F., Marques J.C., De Troch M., Goncalves A.M.M. 2016. Fatty acid profiling as bioindicator of chemical stress in marine organisms: a review. *Ecology Indic.* **67**: 657–672.
- Franceschini-Vicentini I., Ribeiro K., Papa L., Marques J., Vicentini C., Valenti P. 2009. Histoarchitectural features of the hepatopancreas of the Amazon River Prawn *Macrobrachium amazonicum*. *International Journal of Insect Morphology* **27**: (1), 121–128.
- Furtado P. S., Fugimura M. M., Monserrat J. M., Souza D. M., Garcia L. D. O., e Wasielesky W. 2015. Acute effects of extreme pH and its influences on the survival and biochemical biomarkers of juvenile White Shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Marine and freshwater behaviour and physiology*, **48**: (6), 417-429.
- Fu Y.W., Hou W.Y., Yeh S.T., Li C.H., Chen J.C. 2007. The immunostimulatory effects of hot-water extract of *Gelidium amansii* via immersion, injection and dietary administrations on white shrimp *Litopenaeus vannamei* and its resistance against *Vibrio alginolyticus*. *Fish e Shellfish Immunology*; **22** :673–85.
- Gabbianelli R., Lupidi, G., Villarini M., Falcioni G. 2003. DNA damage induced by copper on erythrocytes of gilthead sea bream *Sparus aurata* and mollusk *Scapharca inaequivalvis*. *Arch. Environ. Con. Tox.* **45**: 350–356.
- Gonzalez-Felix M. L., D. M. Gatlin A. L. Lawrence e M. Perez-Velazquez. 2002. Effect of various dietary lipid levels on quantitative essential fatty acid requirements of juvenile pacific White shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Journal World Aquaculture. Soc.* **33**: 330–340.
- Gonzalez R. 2012. The physiology of hyper-salinity tolerance in teleost fish: a review. *Journal of Comparative Physiology Biology.* **182**: (3):321–9.
- Gutiérrez J. L., Jones C. G., Strayer D. L., e Iribarne O. O. 2003. Mollusks as ecosystem engineers: the role of shell production in aquatic habitats. *Oikos*, **101**: (1), 79-90.
- Hagerman L. & Uglow R.F. 1981. Ventilatory behaviour and chloride regulation in relation to oxygen tension in shrimp *Palaemon adspersus* Rathke maintained in hypotonic medium. *Ophelia*, **20**: 193–200.
- Hernández R.M., Bückle R.L.F., Palacios E., Barón S.B. 2006. Preferential behavior of white shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone 1931) by progressive temperature–salinity simultaneous interaction. *Journal Thermal Biology* **31**: 565–572.
- Huang K., Wang W., Lu J. 2003. Protein requirements in compounded diets for *Penaeus vannamei* juveniles. *Journal of Fisheries of China* **10**: 318–324.
- Jahan I., Reddy, A. K., Sudhagar S. A., Harikrishna V., Singh, S., Varghese T., e Srivastava P. P. 2018. The effect of fortification of potassium and magnesium in the diet and culture water on growth, survival and osmoregulation of pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei* reared in inland ground saline water. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **18**: (10), 1235-1243.

- Jaime-Ceballos B., Galindo-López J., Laria-Lamela E., Cupul-Magaña F., e Vega-Villasante F. 2008. Traslado de postlarvas de *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) a diferentes tiempos, salinidades y densidades y su efecto en la supervivencia y algunos marcadores bioquímicos. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, **43**: (3).
- Jayasankar V., Jasmani S., and Nomura T. 2009. Low salinity rearing of the Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*: acclimation, survival and growth of postlarvae and juveniles, *Japan Agricultural Research Quarterly* **43**:345-350.
- Kaeodee M., Pongsomboon S., Tassanakajon A. 2011. Expression analysis and response of *Penaeus monodon* 14-3-3 genes to salinity stress. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B* **159**: 244–251.
- Kureshy N. & Davis D.A. 2002. Protein requirement for maintenance and maximum weight gain for the Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture* **204**: 125–143.
- Lee D.O. & Wickins J.F. 1992. Crustacean farming. *Blackwell scientific publications*, Oxford, UK, p. 330.
- Lee R., Kim G.B., Maruya K.A., Steinert S.A., Oshima Y. 2000. DNA strand breaks (comet assay) and embryo development effects in grass shrimp (*Palaemonetes pugio*) embryos after exposure to genotoxicants. *Marine Environment. Res.* **50**: 553–557.
- Liao I. C., & Chien Y. H. 2011. The pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, in asia: the world's most widely cultured alien crustacean. in in the wrong place-alien marine crustaceans: Distribution, *Biology and Impacts* .**499**: 489-519.
- Li E.C., Chen L.Q., Zeng C., Yu N., Xiong Z., Chen X., Qin J.G. 2008a. Comparison of digestive and antioxidant enzymes activities, haemolymph oxyhemocyanin content and hepatopancreas histology of white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, at various salinities. *Aquaculture* **274**: 80–86.
- Li E.C., Chen L.Q., Zeng C., Xion Z.Q., Lin C., Sun X.J. 2008b. Effects of dietary protein levels on growth, survival, body composition and hepatopancreas histological structure of the white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, at different ambient salinities. *Journal of Fisheries of China* **32**: 425–434.
- Lignot J. H., Spanings-Pierrot C., e Charmantier G. 2000. Osmoregulatory capacity as a tool in monitoring the physiological condition and the effect of stress in crustaceans. *Aquaculture*, **191**: (1-3), 209-245.
- Li, J., Ma, P., Liu, P., Chen, P., e Li, J. 2015 The roles of Na⁺/K⁺-ATPase α -subunit gene from the ridgetail white prawn *Exopalaemon carinicauda* in response to salinity stresses. *Fish and Shellfish Immunology*, **42**: (2), 264-271.
- Lin Y. C. & Chen J. C. 2003. Acute toxicity of nitrite on *Litopenaeus vannamei* (Boone) juveniles at different salinity levels. *Aquaculture*. **224**: (1-4), 193-201.
- Livingstone D. R., 2001. Contaminant-stimulated reactive oxygen species production and oxidative damage in aquatic organisms. *Marine Poll Bull.* **42**:656–666.

- Liu D., He J., Liu Y., Zheng S., Tian L. 2005. Effects of dietary protein levels on growth performance and immune condition of pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* juveniles at very low salinity. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni* **44**: 217–223.
- Lushchak V.I. 2011. Environmentally induced oxidative stress in aquatic animals. *Aquatic Toxicology*. **101**:13–30.
- Luvizotto-Santos R., Lee J. T., Branco, Z. P., Bianchini A., e Nery L. E. M. 2003. *Lipids as energy source during salinity acclimation in the euryhaline crab Chasmagnathus granulata dana, 1851 (crustacea- grapsidae)*. *Journal of Experimental Zoology Part A: Comparative Experimental Biology*, **295**: (2), 200-205.
- Mair J. 1980 Salinity and water-type preferences of four species of postlarval shrimp (Penaeus) from west Mexico. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* **45**:69-82.
- Mallin, M. A., Paerl, H. W., Rudek, J., e Bates, P. W. 1993. Regulation of estuarine primary production by watershed rainfall and river flow. *Marine Ecology-Progress Series*, **93**: 199-199.
- Mantel L.& Farmer L. 1983. Osmotic and ionic regulation. In: Mantel, L. H. (Ed.). *The Biology of Crustacea. Internal Anatomy and Physiological Regulation*. New York: *Academic Press*, v. 5, cap. 2, p.72: 54-161.
- Marques A. R., Neto, J. S. F. e Ferreira F. 2016. Hierarchical clustering and partitioning to characterize shrimp grow-out farms in northeast Brazil. *Aquaculture*, **463**: 106-112.
- McGraw W. J. & Scarpa J. 2004. Mortality of freshwater-acclimated *Litopenaeus vannamei* associated with acclimation rate, habituation period, and ionic challenge. *Aquaculture*, **236**: (1-4), 285-296.
- More, Y. & Barouki R. 1999 Repression of gene expression by oxidative stress. *Biochemical Journal*, **342**: (3), 481-496.
- Nunes A. J. P. 2001. Alimentação para Camarões Marinhos Parte II, desenvolvendo um plano alimentar, *Panorama da Aquicultura* p.14.
- Nunes H. R. & Andreatta E. R.. 2010. Effect of light and aeration on the metamorphosis rate from nauplii to protozoa and larval quality of *Litopenaeus vannamei*. *Biotemas*, **23**: (2), 77-86.
- Ogle J.T., Beaugez K., Lotz J.M. 1992. Effects of salinity on survival and growth of postlarval *Penaeus vannamei*. *Gulf Res. Rep.* **8**: 415–421.
- Oliveira L. 2018. A importância do balanço iônico para a produção semiintensiva e intensiva de camarão, face ao desafio da mancha branca. Associação Brasileira de Criadores de Camarão (ABCC). Disponível em: < <http://abccam.com.br/wp-content/uploads/2016/12/L%C3%A9o-de-Oliveira.pdf>> Acesso em: 11 de julho de 2019.
- Palacios E., Bonilla A., Luna D., Racotta, I.S. 2004. Survival, Na⁺/K⁺-ATPase and lipid responses to salinity challenge in fed and starved white pacific shrimp (*Litopenaeus vannamei*) postlarvae. *Aquaculture*. **234**: 497- 511.

- Pascual C., Zenteno E., Cuzon G., Sa´nchez A., Gaxiola G., Taboada G., Sua´rez, J., Maldonado, T., Rosas, C. 2004. *Litopenaeus vannamei* juveniles energetic balance and immunological response to dietary protein. *Aquaculture* **236**: 431 – 450.
- Peng C, Zheng J, Peng W, He S, Tang T, Wang W. 2002. The embryonic development of *Penaeus vannamei* and effect of temperature and salinity on embryonic development. *J Shanghai Fish Univ* **11**:310–316.
- P´equeux A., Dandrifosse G., Loret S., Charmantier G., Charmantier-Daures M., SpaningsPierrot C., Schoffeniels E. 2006. Osmoregulation: Morphological, physiological, bio-chemical, hormonal, and developmental aspects. in: Forest, J., Klein, J.C.v.V. (Eds.), *The Crustacea*. Brill, Leiden, Boston, pp. 205.
- Poli M. A., Legarda E. C., de Lorenzo M. A., Martins M. A., e do Nascimento Vieira F. 2019. Pacific white shrimp and Nile tilapia integrated in a biofloc system under different fish-stocking densities. *Aquaculture*, **498**: 83-89.
- Ponce-Palafox J., C. A. Martinez-Palacios e Ross L. G. 1997. The effects of salinity and temperature on the growth and survival rates of juvenile white shrimp, *Penaeus vannamei*, Boone, 1931. *Aquaculture* **157**:107–115.
- Prapaiwong N., & Boyd C. E. 2014. Trace elements in waters of inland, low- salinity shrimp ponds in Alabama. *Aquaculture Research*, **45**: (2), 327-333.
- Qiu J., Wang W.N. Wang L.J., Liu Y.F., Wang A.L. 2011. Oxidative stress, DNA damage and osmolality in the Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei* exposed to acute low temperature stress. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C* **154**: (1), 36–41.
- Ranby B. & Rabek J.E. 1978. Singlet Oxygen. In Wiley, Chichester England. 331 pp.
- Re A. D., D´ıaz F., Ponce-Rivas E., Giffard I., Munoz-Marquez M. E., e Sigala-Andrade H. M. 2012. Combined effect of temperature and salinity on the thermotolerance and osmotic pressure of juvenile white shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone). *Journal of Thermal Biology*, **37**: (6), 413-418.
- Rodrigues A. P., Oliveira P. C., Guilhermino L., e Guimaraes L. 2012. Effects of salinity stress on neurotransmission, energy metabolism, and anti-oxidant biomarkers of *Carcinus maenas* from two estuaries of the NW Iberian Peninsula. *Marine biology*, **159**: (9), 2061-2074.
- Romano N., Wu X., Zeng C., Genodepa J., Elliman J. 2014. Growth, osmoregulatory responses and changes to the lipid and fatty acid composition of organs from the mud crab, *Scylla serrata*, over a broad salinity range. *Marine Biology Research* **10**:(5), 460–471.
- Rosas C., Cuzon G., Gaxiola G., Priol Y Le, Pascual C., Rossignol J., Contreras F., Sa´nchez A., Van Wormhoudt A. 2001. Metabolism and growth of juveniles of *Litopenaeus vannamei*: effect of salinity and dietary carbohydrate levels. *Journal Exp. Marine Biology. Ecol.* **259**:(1): 1-22.
- Rosas C., Ocampo L., Gaxiola G., Sanchez, A., Soto, L.A. 1999. Effect of salinity on survival, growth, and oxygen consumption of postlarvae (PL10-PL21) of *Litopenaeus setiferus*. *Journal of Crustacean Biology* **19**:244-251.

Roubach R., Correia E. S., Zaiden S., Martino R. C., e Cavalli R. O. 2003. Aquaculture in Brazil. *World aquaculture-baton rouge*, **34**: (1): 28-35.

Roy L.A., Davis D.A. e Whitis G.N. 2009. Pond- to- pond variability in post- larval shrimp, *Litopenaeus vannamei*, survival and growth in inland low- salinity waters of west Alabama. *Aquaculture research*, **40**: (16):1823-1829.

Santos E. A. & Keller R. 1993 Regulation of circulating levels of the crustacean hyperglycemic hormone: evidence for a dual feedback control system. *Journal of Comparative Physiology B*, **163**:(5), 374-379.

Saoud I.P., D. A. Davis e D.B. Rouse. 2003. Suitability studies of inland well waters for *Litopenaeus vannamei* culture. *Aquaculture* **217**:373–383.

Souza D.M., Martins A.C., Jensen L.V., Wasielesky W. Jr., Monserrat J.M., Garcia L.O. 2014. Effect of temperature on antioxidant enzymatic activity in the Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* in a BFT (Biofloc technology) system. *Marine Freshwater Behavior Physiology* **47**:1–10.

Sowers A.D., Young S.P., Grosell M., Browdy C.L., Tomasso J.R. 2006. Hemolymph osmolality and cation concentrations in *Litopenaeus vannamei* during exposure to artificial sea salt or a mixed-ion solution: Relationship to potassium flux. *Comparative Biochemistry and Physiology, Part A: Molecular e Integrative Physiology*. **145**:176-180.

Toledo T. M., Silva B. C., Vieira F. D. N., Mouriño J. L. P., e Seiffert W. Q. 2016. Effects of different dietary lipid levels and fatty acids profile in the culture of white shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone) in biofloc technology: water quality, biofloc composition, growth and health. *Aquaculture research*, **47**: (6): 1841-1851.

Treece G.D. & Fox J.M. 1993. Design, operation and training manual for an intensive culture shrimp hatchery, 1st edn. *A e M University Sea Grant College*, Texas, p 187.

Tseng Y.C. e Hwang P.P. 2008. Some insights into energy metabolism for osmoregulation in fish. *Comparative Biochemistry and Physiology part C-Toxicology e Pharmacology* **148**: 419–429.

Valença A.R. & Mendes G.N. 2004. Importância da composição iônica da água oligohalina e “doce” no cultivo de *Litopenaeus vannamei*. *Panorama da Aquicultura*, **14**: (86): 23-29.

Van de Braak C.B., Botterblom M.H., Huisman E.A., Rombout J.H., van der Knaap W.P. 2002. Preliminary study on haemocyte response to white spot syndrome virus infection in black tiger shrimp *Penaeus monodon*. *Dis. Aquature Organizate* **51**: 149–155.

Vargas-Albores F. & Ochoa J.L. 1992. The variation of pH osmolality sodium and potassium concentrations in the haemolymph of sub-adult blue shrimp *Penaeus stylirostris* according to size. *Comp. Biochemistry. Physiology*, **102**: 1–5.

Vargas-Chacoff L, Moneva F, Oyarzún R, Martínez D, Muñoz J, Bertrán C, *et al.*, 2014 Environmental salinity-modified osmoregulatory response in the sub-Antarctic notothenioid fish *Eleginops maclovinus*. *Polar biology*. **37**: (9):1235–45.

- Villarreal H., Hinojosa P., Naranjo J. 1994. Effect of temperature and salinity on the oxygen consumption of laboratory produced *Penaeus vannamei* postlarvae. *Comparative Biochemistry Physiology*, **108**: 331–336.
- Vinatea L. 1997. *Princípios químicos da qualidade da água em aquicultura: uma revisão para peixes e camarões*. Florianópolis: UFSC, 166 p.
- Wang X, Ma S., Dong S. 2005 Effects of salinity and dietary protein levels on survival, growth and energy conversion of juvenile *Litopenaeus vannamei*. *Periodical of Ocean University of China* **35**: 33–37.
- Wang W.N., Zhou J., Wang P., Tian T.T., Zheng Y., Liu Y., Mai W.J., Wang A.-L. 2009. Oxidative stress, DNA damage and antioxidant enzyme gene expression in the Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei* when exposed to acute pH stress. *Comp. Biochemistry Physiology C* **150**: (4): 428–435.
- Webster S. 1996. Measurement of crustacean hyperglycaemic hormone levels in the edible crab *Cancer pagurus* during emersion stress. *Journal of Experimental Biology*, **199**: (7), 1579-1585.
- Wheatly M.G. & Henry R.P. 1987. Branchial and antennal gland Na⁺/K⁺- dependent ATPase and carbonic anhydrase activity during salinity acclimation of the euryhaline crayfish *Pacifastacus leniusculus*. *Journal Exp. Biology* **133**:73–86.
- Xu C., Li E., Liu Y., Wang S., Wang X., Chen K. e Chen L. 2018. Effect of dietary lipid level on growth, lipid metabolism and health status of the Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* at two salinities. *Aquaculture nutrition*, **24**: (1), 204-214.
- Xuying J, Fang W, Yunliang L, Zhang D, Shuanglin D. 2014. Immune responses of *Litopenaeus vannamei* to thermal stress: a comparative study of shrimp in freshwater and seawater conditions. *Marine Freshwater Behavior Physiology*. **47**:79–92.
- Young B.A., Walker B., Dixon A.E., Walker V.A. 1989. Physiological adaptation to the environment. *Journal of Animal Science*, **67**: (9): 2426-2432.
- Yu Y. Y., Chen S. J., Chen M., Tian L. X., Niu J., Liu Y. J., e Xu D. H. 2016. Effect of cadmium-polluted diet on growth, salinity stress, hepatotoxicity of juvenile Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*): protective effect of Zn (II)-curcumin. *Ecotoxicology and environmental safety*, **125**: 176-183.