Rodrigo Antonio Ponce de Leon Ferreira de Carvalho

Desenvolvimento de um sistema de recirculação para estudos sobre digestibilidade em condições de alto desempenho para camarões marinhos: avaliação de ingredientes protéicos alternativos à farinha de peixe em diferentes níveis de inclusão em dietas para juvenis de *Litopenaeus vannamei*

Tese apresentada ao Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Ciências, área de Oceanografia Biológica.

Orientador: Prof. Dr. Daniel Eduardo Lavanholi de Lemos

São Paulo

2011

Universidade de São Paulo

Instituto Oceanográfico

Desenvolvimento de um sistema de recirculação para estudos sobre digestibilidade em condições de alto desempenho para o camarão marinho *Litopenaeus vannamei* e a avaliação da digestibilidade de ingredientes protéicos alternativos à farinha de peixe em diferentes níveis de inclusão

Rodrigo Antonio Ponce de Leon Ferreira de Carvalho

Tese apresentada ao Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Ciências, área de Oceanografia Biológica. Versão corrigida. Original disponível no Instituto Oceanográfico.

Julgada em ____/____/____

_____ Prof(a). Dr(a).	_____ Conceito
_____ Prof(a). Dr(a).	_____ Conceito
_____ Prof(a). Dr(a).	_____ Conceito
_____ Prof(a). Dr(a).	_____ Conceito

Dedico esta tese à Mena, Carol e Lalá pelo amor e por me apoiarem sempre.

AGRADECIMENTOS

Esta tese é fruto de muito trabalho e muitos obstáculos vencidos graças ao apoio de muitas pessoas, tantas que eu jamais poderia imaginar.

Agradeço à minha família por todo o apoio fundamental para a realização do meu doutorado. Em especial aos meus pais, à minha filha Larissa por me apoiar e suportar esta fase tão difícil que nos obrigou a ficarmos distantes. À minha esposa Carol, que me incentivou e deu força nos momentos mais difíceis apesar de sofrer tanto com a distância durante estes quatro anos e aos meus irmãos André, Jorge e Adriana pelo incentivo e força além dos sobrinhos privados do tio ao longo destes anos e à Ana pelo carinho e o pequeno Arthur que mal nasceu, mas já ajudou trazendo muita alegria.

Agradeço especialmente ao Prof. Daniel Eduardo Lavanholi de Lemos por aceitar este desafio, confiar em meu empenho e se dedicar a me orientar ao longo destes quatro anos e quatro meses que trouxeram muito aprendizado e crescimento.

Ao Albert Tacon por ser o idealizador e mentor deste grande projeto profissional que foi o meu doutorado, incentivando, dando força, segurança e resolvendo dúvidas enormes com poucas palavras e muita sabedoria. Much Aloha!

Meus sinceros agradecimentos à Universidade de São Paulo, ao Instituto Oceanográfico da USP e seus funcionários e professores por todo o apoio, profissionalismo e acolhida durante o meu doutorado e que foi essencial.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de doutorado e pelos recursos fundamentais para a realização do projeto.

À Guabi e ao Labtec pelo grande apoio fundamental para a realização das análises e montagem do sistema experimental, em especial ao João Manoel Cordeiro Alves, Sandra Biribili, Simone Pessoa, Paula, Sandro e toda a equipe do Grupo Guabi.

À FAPESP pelos recursos e bolsas para os técnicos participantes do projeto.

Agradeço de coração ao Oceanógrafo e amigo Ricardo Ota, Richard ou RH. Sem o qual eu dificilmente conseguiria realizar tudo o que foi planejado. Muito obrigado pela força, pela dedicação e principalmente pela amizade e companheirismo.

Ao Francisco Olbrich por incentivar e apoiar este projeto nos momentos mais importantes.

À Bióloga Vivian Kadry e à Técnica Camila Andrade, que presente ter ganhado duas amigas tão profissionais durante os trabalhos em Ubatuba.

Ao Biólogo e amigo Fábio Matsue pela grande ajuda durante os trabalhos em Ubatuba e por me ajudar a salvar os camarões e a minha pesquisa várias vezes e mais ainda pelas cervejas, sashimis e risadas que tiraram um grande peso do trabalho.

À amiga Fanny, por me ajudar na montagem do sistema e nos experimentos, mesmo grávida do Felipe, pela impressão final e pela amizade que construímos.

Ao Laboratório de Nutrição de Organismos Aquáticos do Labomar/UFC em especial ao professor Alberto Nunes pelo incentivo para realizar este trabalho e ao Engenheiro Agrônomo Hassan pelo suporte na fabricação das rações.

Aos queridos amigos Michel, Fausto, Ligia, Lu, Janete, Martinha, Naira, Mota, Tulia, Rosinha, Bruno, Sérgio, Santoro (pela grande dica na montagem do alimentador dos camarões), Fabiano, Priscila, Carol, Zedu, Kenji, Márcio, Wellington, Felipe, Marcelo, Miguel, Dri, Fabricio, e aos recém Oceanógrafos e graduandos pela amizade e consideração.

À Zezé pela amizade e pela força e às Profas. June e Thais pelo carinho e ajuda ao longo destes quatro anos e aos Professores Phan, Rubens Lopes, Alex Turra, Paulo Sumida e Vicente pela ajuda, amizade e consideração.

Às secretárias da Pós Ana Paula e Silvana pela gentileza e competência. À Mirian, Marlene e Jorge Gruda pela gentileza e consideração. Ao Valter Miyagi pelo suporte na informática. Aos funcionários Wagner, Cida, Rai, Tomás, Marta, Maisa, Flávia e Clara por serem tão gentis e prestativos.

Ao pessoal do setor de transporte, Antonio Carlos, Walter, Sérgio, Edvar e Juvenal sempre prestativos e empenhados em ajudar e não podia deixar de agradecer ao Cláudio companheiro de viagem para Campinas e redondezas transportando as fezes preciosas dos camarões. Sempre com muita descontração.

À Forglass pela fabricação dos tanques e por facilitar a realização dos primeiros testes, obrigado ao Inaldo, Alexandre, Inaldo Jr., Bernardo, Mimi, Fatima e Priscila.

Ao Gilberto, eletricista, pela instalação elétrica e pelo socorro durante os problemas com o compressor que ajudou a salvar a minha pesquisa.

Às queridas Cida, Beth e Vânia por todo o carinho e pelo tempero maravilhoso que certamente tornaram a minha longa estada em Ubatuba mais leve.

Agradeço ao Fernando, Lincoln, Marcos Cidmar, Cida, Sula, Odair, Oziel, Manoel, Messiana, Orlando, Jonathan e Roberto pela amizade e suporte aos trabalhos em Ubatuba.

Ao professor Dalton Carneiro pela ajuda para a realização dos primeiros testes e a Gisele Favero pela ajuda na elaboração das rações.

À equipe da vigilância da base de Ubatuba, os amigos João, Denis, Jamesson ou James, Crystiano, Zé Renato, Celso e José que com profissionalismo e amizade me ajudaram tantas vezes ao longo do trabalho.

Ao pessoal da Comercial Itaguá por facilitar a compra dos materiais necessários para o projeto.

Ao amigo Hisashi e família pelos sashimis e pela receita do camarão alho e óleo e em especial pela amizade tão importante quando se está longe de casa.

À Polinutri, em especial ao colega Santana Jr, Leandro e Suzany pelo apoio no fornecimento dos ingredientes para a ração.

Ao Junio e Maria-Elena da DSM pela gentileza em doar o premix, à Paula Siqueira e Rafael Peixoto Ferreira da IMCOPA pelo fornecimento do concentrado protéico de soja e ao Hilton Hoshima por facilitar a compra da farinha de peixe.

À ABCC pelo incentivo e pelo apoio e aos colegas da EAJ / UFRN pela compreensão e pelo apoio nesta reta final do doutorado. Muito obrigado!

À Rosana Possenti e Patricia do IZ e à Luzia e Fernando da CA da USP pelas análises, com muita gentileza e competência para que desse tudo certo e no prazo.

Ao Sr. Pedro pela gentileza na encadernação dos exemplares da tese.

SUMÁRIO

	pág
RESUMO	
ABSTRACT	
Capítulo 1. Introdução	1
Referências	9
Capítulo 2. Requisitos técnicos, desenho e operação de um sistema de recirculação para pesquisas de digestibilidade com camarões marinhos	11
2.1. Introdução	11
2.2. Materiais e métodos	18
2.3. Resultados e discussão	20
<i>Construção do sistema de recirculação para estudos de digestibilidade com camarões</i>	11
<i>Resultados obtidos no ensaio de validação do sistema de recirculação</i>	17
2.4. Referências	34
Capítulo 3. Hidráulica, perfil de velocidade da água e remoção de sólidos em tanques de dreno simples e de dreno duplo para ensaios de determinação da digestibilidade em camarões marinhos	39
3.1. Introdução	39
3.2. Materiais e métodos	42
<i>Desenho do sistema e hidráulica</i>	42
<i>Medição da velocidade da água e comportamento dos camarões</i>	46
<i>Medição da eficiência de remoção de sólidos</i>	47
<i>Validação do sistema</i>	49
<i>Cálculos e estatísticas</i>	49
3.3. Resultados e discussão	49
<i>Hidráulica</i>	49
<i>Velocidade da água</i>	52
<i>Remoção de sólidos</i>	57
<i>Validação do sistema</i>	63
3.4. Referências	63
Capítulo 4. Avaliação da composição de ingredientes selecionados para a substituição da farinha de peixe em dietas para juvenis de <i>Litopenaeus vannamei</i>	68
4.1. Introdução	68
<i>A farinha de peixe como ingrediente para rações de organismos aquáticos</i>	68
<i>Alternativas para a farinha de peixe</i>	70
<i>Ingredientes para ração animal disponíveis no Brasil</i>	71
4.2. Materiais e métodos	79
<i>Ingredientes</i>	79
<i>Análises químicas</i>	80
<i>Cálculos</i>	81
4.3. Resultados e discussão	82
<i>Composição dos ingredientes</i>	82

<i>Análise do teor de proteína</i>	95
4.4. Referências	97
Capítulo 5. Digestibilidade aparente da proteína e energia e aminoácidos disponíveis em dietas e ingredientes protéicos de origem animal e vegetal e o efeito de diferentes níveis de inclusão em uma dieta referência por juvenis de <i>Litopenaeus vannamei</i> em condições de alto desempenho	103
5.1. Introdução	103
5.2. Materiais e métodos	108
<i>Ingredientes</i>	108
<i>Dietas experimentais</i>	110
<i>Sistema de digestibilidade</i>	116
<i>Manejo dos animais</i>	116
<i>Coleta e conservação das amostras de fezes</i>	117
<i>Análises químicas</i>	118
<i>Cálculos</i>	120
<i>Análises estatísticas</i>	122
5.3. Resultados	122
<i>Qualidade da água</i>	122
<i>Composição das dietas</i>	125
<i>Digestibilidade das dietas</i>	129
<i>Digestibilidade dos ingredientes</i>	136
<i>Correlações</i>	149
5.4. Discussão	150
<i>Qualidade da água e desempenho</i>	150
<i>Dietas experimentais – tamanho das partículas dos ingredientes</i>	152
<i>Digestibilidade das dietas experimentais</i>	153
<i>Digestibilidade dos ingredientes</i>	156
5.5. Referências	180
Capítulo 6. Avaliação de fontes protéicas de origem animal e vegetal alternativos à farinha de peixe em diferentes níveis de inclusão sobre uma dieta referência no desempenho de juvenis do camarão marinho <i>Litopenaeus vannamei</i> em sistema de recirculação.	194
6.1. Introdução	194
6.2. Materiais e métodos	197
<i>Ingredientes</i>	197
<i>Dietas experimentais</i>	198
<i>Desenho experimental</i>	198
<i>Origem e manutenção dos camarões</i>	200
<i>Manutenção do sistema e manejo dos camarões</i>	201
<i>Análises químicas</i>	201
<i>Cálculos</i>	201
<i>Análises estatísticas</i>	202
6.3. Resultados	203
<i>Qualidade da água</i>	203

<i>Composição das dietas</i>	204
<i>Desempenho dos camarões</i>	204
<i>Desempenho dos camarões no teste longo</i>	212
6.4. Discussão	215
<i>Qualidade da água</i>	215
<i>Desempenho dos camarões</i>	216
<i>Composição das dietas e desempenho</i>	217
<i>Efeito do ingrediente no desempenho dos camarões</i>	221
6.5. Referências	231
Considerações finais	243

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Ciclo de vida dos camarões peneídeos.....	2
Figura 1.2. Desenho do estômago dos Peneídeos.....	3
Figura 1.3. Participação percentual das diferentes fontes de carne na produção mundial de carnes (Fonte: USDA, 2010 e FISHSTAT, 2010).....	5
Figura 1.4. Produção de camarões marinhos no Brasil: área cultivada (ha), produção (t) e exportações (t).....	7
Figura 2.1. Etapas seguidas para o desenho, construção e operação do sistema para a realização de estudos de digestibilidade com o camarão marinho <i>Litopenaeus vannamei</i>	18
Figura 2.2. Layout dos sistemas 1 e 2 do laboratório de recirculação para estudos de digestibilidade com camarões do Laboratório de Aquicultura Marinha do Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo na base de Ubatuba.....	23
Figura 2.3. Desenho da coluna de decantação instalada abaixo da bacia central do tanque experimental para estudos de digestibilidade com camarões em sistema de recirculação do Laboratório de Aquicultura da Universidade de São Paulo.....	25
Figura 2.4. Esquerda – Vista lateral de um tanque experimental com a coluna de decantação. Direita. Vista superior dos tanques cobertos dos sistemas 1 e 2 do laboratório de recirculação para estudos de digestibilidade com camarões do Laboratório de Aquicultura Marinha do Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo na base de Ubatuba.....	26
Figura 2.5. Desenho dos processos de fluxo do sistema de recirculação para estudos de digestibilidade com camarões marinhos do Laboratório de Aquicultura Marinha do Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo.....	28
Figura 3.1. Desenho dos tanques com modificações para a avaliação da velocidade da água e da remoção de sólidos para estudos de digestibilidade com camarões marinhos.....	43
Figura 3.2. Da esquerda para a direita: Bacia central com tampa de vidro e adaptador com furos para os testes com os tanques tipo-Guelph; vista lateral da bacia central com o tubo de 50 mm tipo <i>stand pipe</i> e o tubo de 100 mm externamente; vista superior do <i>stand pipe</i> com o tubo externo de 100 mm.....	44
Figura 3.3. Vazão de abastecimento, taxa de carga superficial e % do fluxo no dreno primário ou secundário em diferentes tipos de tanque e diâmetros de dreno.....	52
Figura 3.4. Perfis de velocidade da água nos três perímetros dos quarto sistemas de tanque em função da vazão e diâmetro dos drenos primário e secundário.....	55
Figura 3.5. Porcentagem de peletes removidos pela bacia central e recuperados no clarificador ou colunas de decantação de acordo com o sistema, vazão de abastecimento e diâmetro do dreno secundário ou único	59

Figura 5.1. Variação da temperatura nos sistemas 1 e 2 durante as rodadas 1 e 2 para a determinação dos coeficientes de digestibilidade de ingredientes protéicos para juvenis de <i>L. vannamei</i> em sistema de recirculação.....	124.
Figura 6.1. Crescimento (g sem-1) de juvenis do <i>Litopenaeus vannamei</i> alimentados com as dietas REF – referência, FPX – farinha de peixe, CPS – concentrado protéico de soja, FVI – farinha de vísceras de frango com baixa gordura, GLM – glúten de milho, FCO – farinha de carne e ossos e PEN – farinha de penas hidrolisadas nas inclusões de 10, 20 e 30%. Valores médios e barras de erro.....	208
Figura 6.2. Taxa de crescimento específico (TCE) de juvenis de <i>Litopenaeus vannamei</i> alimentados com as dietas REF – referência, FPX – farinha de peixe, CPS – concentrado protéico de soja, FVI – farinha de vísceras de frango com baixa gordura, GLM – glúten de milho, FCO – farinha de carne e ossos e PEN – farinha de penas hidrolisadas nas inclusões de 10, 20 e 30%. Valores médios e barras de erro (dp).....	208
Figura 6.3. Fator de conversão alimentar de juvenis do <i>Litopenaeus vannamei</i> alimentados com as dietas REF – referência, FPX – farinha de peixe, CPS – concentrado protéico de soja, FVI – farinha de vísceras de frango com baixa gordura, GLM – glúten de milho, FCO – farinha de carne e ossos e PEN – farinha de penas hidrolisadas nas inclusões de 10, 20 e 30%. Valores médios e barras de erro.....	209
Figura 6.4. Sobrevivência de juvenis do <i>Litopenaeus vannamei</i> alimentados com as dietas REF – referência, FPX – farinha de peixe, CPS – concentrado protéico de soja, FVI – farinha de vísceras de frango com baixa gordura, GLM – glúten de milho, FCO – farinha de carne e ossos e PEN – farinha de penas hidrolisadas nas inclusões de 10, 20 e 30%. Valores médios e barras de erro.....	209
Figura 6.5. Taxa de eficiência protéica bruta relativa (TEPB-R) e taxa de eficiência protéica digestível relativa (TEPD-R) do <i>Litopenaeus vannamei</i> alimentado com dietas contendo diferentes ingredientes nos níveis de inclusão de 10%, 20% e 30%.....	211
Figura 6.6. Crescimento, sobrevivência e fator de conversão alimentar (FCA) dos camarões <i>Litopenaeus vannamei</i> alimentados com as dietas CPS30 e FVI30 após 8 semanas.....	213

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1.1. Sistemas de cultivo de camarões marinhos em função de diferentes parâmetros de cultivo (adaptado de Tacon, 2003).....	3
Tabela 2.1. Resultados sobre as características dos tanques experimentais em estudos de digestibilidade com camarões marinhos segundo o levantamento sobre as condições experimentais adotadas em laboratórios que realizam pesquisa sobre digestibilidade de camarões marinhos na América do Sul, América Central, América do Norte, Europa, Ásia e Oceania.....	13
Tabela 2.2. Práticas de manutenção da qualidade da água em estudos de digestibilidade com camarões marinhos segundo o levantamento sobre as condições experimentais adotadas em laboratórios que realizam pesquisa sobre digestibilidade de camarões marinhos na América do Sul, América Central, América do Norte, Europa, Ásia e Oceania.....	14
Tabela 2.3 Condições experimentais em estudos de digestibilidade com camarões marinhos segundo o levantamento sobre as condições experimentais adotadas em laboratórios que realizam pesquisa sobre digestibilidade de camarões marinhos na América do Sul, América Central, América do Norte, Europa, Ásia e Oceania.....	15
Tabela 2.4- Dietas experimentais em estudos de digestibilidade com camarões marinhos segundo o levantamento sobre as condições experimentais adotadas em laboratórios que realizam pesquisa sobre digestibilidade de camarões marinhos na América do Sul, América Central, América do Norte, Europa, Ásia e Oceania.....	16
Tabela 2.5. Regime alimentar em estudos de digestibilidade com camarões marinhos segundo o levantamento sobre as condições experimentais adotadas em laboratórios que realizam pesquisa sobre digestibilidade de camarões marinhos na América do Sul, América Central, América do Norte, Europa, Ásia e Oceania	16
Tabela 2.6. Procedimentos experimentais em estudos de digestibilidade com camarões marinhos segundo o levantamento sobre as condições experimentais adotadas em laboratórios que realizam pesquisa sobre digestibilidade de camarões marinhos na América do Sul, América Central, América do Norte, Europa, Ásia e Oceania.....	17
Tabela 2.7- Níveis de garantia da composição centesimal, da energia bruta, relação proteína:energia, cálcio, fósforo e vitaminas informada pelo fabricante da dieta comercial fornecida aos juvenis no L. vannamei durante a validação do sistema de recirculação, com base matéria natural em g 100g-1 exceto quando especificado.....	19
Tabela 2.8- Peso inicial, densidade de estocagem inicial, peso e biomassa final, dias de cultivo e desempenho em termos de crescimento em gramas por semana e taxa de crescimento específico (TCE), sobrevivência e fator de conversão alimentar (FCA) de juvenis de Litopenaeus vannamei cultivados	

recirculação 1 e 2 do laboratório de aquicultura do Instituto Oceanográfico da USP.....	30
Tabela 2.9. Coeficientes de digestibilidade aparente da matéria-seca (DAMS), proteína bruta (DAPB) e energia bruta (DAE) de uma dieta por juvenis do camarão marinho <i>Litopenaeus vannamei</i> nos sistemas de digestibilidade por decantação e sifonagem	31
Tabela 2.10. Peso inicial, peso final, crescimento (g/semana), fator de conversão alimentar e sobrevivência de juvenis do camarão marinho <i>Litopenaeus vannamei</i> nos sistemas de digestibilidade por decantação e sifonagem.....	32
Tabela 2.11. Características dos métodos de coleta de fezes de camarões marinhos por sifonagem e decantação.....	33
Tabela 3.1. Dimensões e detalhes do clarificador e das colunas de decantação avaliados para a realização de estudos de digestibilidade com camarões marinhos.....	45
Tabela 3.2. Desenho experimental dos testes para a avaliação do efeito de quatro sistemas, três vazões de abastecimento e diferentes diâmetros de dreno em um tanque para a realização de estudos de digestibilidade com camarões marinhos.....	46
Tabela 3.3. Dados da hidráulica e parâmetros de operação dos sistemas com dreno duplo (tipo-Cornell e tipo-central) e dreno simples (Guelph-F e Guelph-L) avaliados em relação à velocidade da água e remoção de sólidos em estudos com camarões marinhos.....	51
Tabela 3.4. ANOVA de 3 vias para a velocidade da água nos tanques de dreno duplo tipo-Cornell e tipo-central de acordo com o sistema, vazão de abastecimento e diâmetro do dreno secundário.....	53
Tabela 3.5. ANOVA de duas vias para velocidade da água nos sistemas Guelph-F e Guelph-L segundo o sistema e a vazão de abastecimento.....	54
Tabela 3.6. ANOVA de três vias para a recuperação dos peletes em tanques de dreno duplo de acordo com o sistema, vazão de abastecimento e diâmetro do dreno secundário.....	58
Tabela 3.7. ANOVA de duas vias para a recuperação de peletes nos tanques de dreno simples em função do sistema e vazão de abastecimento.....	58
Tabela 3.8. Número de peletes recuperados nos diferentes sistemas, diâmetros de dreno e vazões de abastecimento (média±dp, n=3).....	60
Tabela 4.1. Composição determinada dos ingredientes protéicos avaliados: centesimal, conteúdo de energia, extratos não-nitrogenados e aminoácidos: AAE: Arginina-ARG; Fenilalanina-FEN; Histidina-HIS; Isoleucina-ISO; Leucina-LEU; Lisina-LIS; Metionina-MET; Treonina-TRE; Triptofano-TRI; Valina-VAL. AANE: Alanina-ALA; Ác. aspártico-ASP; Cistina-CIS; Glicina-GLI; Ác. glutâmico-GLM; Prolina-PRO; Serina-SER e Tirosina-TIR. Valores expressos % do peso com base na matéria natural	

exceto quando identificado.....	83
Tabela 4.2. Comparação entre a composição centesimal e da energia bruta determinada dos ingredientes protéicos analisados neste estudo e a composição encontrada na literatura.....	85
Tabela 4.3. Composição determinada dos aminoácidos essenciais (mais cistina e tirosina) dos ingredientes avaliados expressos em % por peso do ingrediente (matéria natural), participação % no total de aminoácidos essenciais (mais cistina e tirosina) e AA score para o camarão e índices. Arginina-ARG; Isoleucina-ISO; Leucina-LEU; Lisina-LIS; Cistina-CIS; Metionina-MET; Fenilalanina-FEN; Tirosina-TIR; Treonina-TRE; Triptofano-TRI; Valina-VAL e Histidina-HIS (n=2).....	88
Tabela 4.4. Diferença % entre a quantidade determinada individual e total de aminoácidos essenciais e não-essenciais dos ingredientes teste avaliados neste trabalho e os ingredientes segundo referências (com base na matéria-seca). Arginina-ARG; Fenilalanina-FEN Histidina-HIS; Isoleucina-ISO; Leucina-LEU; Lisina-LIS; Metionina-MET; Treonina-TRE; Triptofano-TRI; Valina-VAL; Alanina-ALA; Ác. aspártico-ASP; Cistina-CIS; Glicina-GLI; Ác. glutâmico-GLU; Prolina-PRO; Serina-SER; Tirosina-TIR.....	89
Tabela 4.5. Composição determinada dos ingredientes protéicos avaliados: cálcio, fósforo, sódio, magnésio, manganês, zinco, ferro, cobre, cobalto e selênio. Valores expressos em relação ao peso com base na matéria natural e em g 100g ⁻¹ para o cálcio e o fósforo e valores em mg Kg ⁻¹ para os microminerais.....	94
Tabela 4.6. Composição determinada dos ingredientes protéicos avaliados: ácidos graxos saturados e ácidos graxos insaturados. Valores expressos em g 100g ⁻¹ do peso com base na matéria natural exceto quando identificado.....	95
Tabela 4.7- Níveis de proteína nos ingredientes calculada a partir da: (1) multiplicação do nitrogênio por 6,25, (2) multiplicação do nitrogênio por fatores específicos para cada alimento segundo Tacon et al. (2009), (3) soma dos aminoácidos ou proteína verdadeira e (4) proteína determinada através do método Dumas. Valores expressos em matéria-seca.....	96
Tabela 5.1- Composição dos ingredientes protéicos avaliados para dietas de juvenis de <i>Litopenaeus vannamei</i> com base matéria natural em g 100g ⁻¹ , exceto quando especificado: centesimal, energia bruta, extratos não-nitrogenados (ENN) e aminoácidos essenciais (AAE) e aminoácidos não essenciais (AANE): AAE: Arginina-ARG; Fenilalanina-FEN; Histidina-HIS; Isoleucina-ISO; Leucina-LEU; Lisina-LIS; Metionina-MET; Treonina-TRE; Triptofano-TRI; Valina-VAL. AANE: Alanina-ALA; Ác. aspártico-ASP; Cistina-CIS; Glicina-GLI; Ác. glutâmico-GLM; Prolina-PRO; Serina-SER e Tirosina-TIR.....	109
Tabela 5.2- Formulação das dietas referência e teste contendo os ingredientes protéicos: farinha de peixe, concentrado protéico de soja, farinha de vísceras de frango, glúten de milho, farinha de carne e ossos e farinha de penas hidrolisadas incluídas nos níveis de 10, 20 e 30% na dieta referência para a determinação da digestibilidade da matéria-seca, proteína e energia de juvenis do <i>Litopenaeus</i>	

<i>vannamei</i>	111
Tabela 5.3- Delineamento experimental das avaliações da digestibilidade de seis ingredientes protéicos nos níveis de inclusão de 10, 20 e 30% para juvenis do <i>L. vannamei</i> em duas rodadas experimentais.....	113
Tabela 5.4- Composição centesimal e da energia bruta determinada para as dietas referência e teste elaboradas para a avaliação da digestibilidade de ingredientes para juvenis no <i>L. vannamei</i> com base matéria natural em g 100g ⁻¹ exceto quando especificado.....	114
Tabela 5.5- Composição determinada dos aminoácidos essenciais (AAE) e aminoácidos não-essenciais (AANE) das dietas referência e teste elaboradas para a avaliação da digestibilidade de ingredientes protéicos para juvenis no <i>L. vannamei</i> com base matéria natural em g 100g ⁻¹ da dieta. AAE: Arginina-ARG; Fenilalanina-FEN; Histidina-HIS; Isoleucina-ISO; Leucina-LEU; Lisina-LIS; Metionina-MET; Treonina-TRE; Valina-VAL. AANE: Alanina-ALA; Ác. aspártico-ASP; Cistina-CIS; Glicina-GLI; Ác. glutâmico-GLM; Prolina-PRO; Serina-SER e Tirosina-TIR.....	115
Tabela 5.6. Níveis de oxigênio dissolvido (OD), temperatura (T°C), condutividade, salinidade, pH, amônia não-ionizada (NH ₃ -un), nitrito (NO ₂) e nitrato (NO ₃) nos sistemas 1 e 2 durante as rodadas 1 e 2 para a determinação dos coeficientes de digestibilidade de ingredientes protéicos para juvenis de <i>L. vannamei</i> em sistema de recirculação.....	124
Tabela 5.7. Participação percentual dos aminoácidos essenciais, mais a cistina e a tirosina, no total de aminoácidos essenciais da dieta referência e das dietas teste contendo ingredientes protéicos para juvenis do <i>L. vannamei</i> : base matéria natural. Arginina-ARG; Fenilalanina-FEN; Histidina-HIS; Isoleucina-ISO; Leucina-LEU; Lisina-LIS; Metionina-MET; Treonina-TRE; Valina-VAL; Cistina-CIS; e Tirosina-TIR.....	127
Tabela 5.8. Recomendações de aminoácidos essenciais mais cistina e tirosina em % dos AAE, AA score em %, número de AAs abaixo do recomendado, AA limitante, índice de AA, score médio em %, score químico em % e déficit de AA dos aminoácidos essenciais mais cistina e tirosina da dieta referência e das dietas teste contendo ingredientes protéicos para juvenis do <i>L. vannamei</i> base matéria natural. Arginina-ARG; Fenilalanina-FEN; Histidina-HIS; Isoleucina-ISO; Leucina-LEU; Lisina-LIS; Metionina-MET; Treonina-TRE; Valina-VAL, Cistina-CIS e Tirosina-TIR.....	128
Tabela 5.9. Perda de matéria-seca determinada na dieta referência e nas dietas teste (média ±dp) contendo os ingredientes protéicos avaliados para juvenis do <i>Litopenaeus vannamei</i> após 5 minutos de exposição e submetido à agitação a 100 cpm na salinidade de 35 ‰ e temperatura de 27°C.....	129
Tabela 5.10. Análise de variância (ANOVA) de 2 vias para a digestibilidade aparente da matéria-seca, proteína bruta, proteína verdadeira e energia bruta das dietas teste contendo seis ingredientes protéicos nos níveis de inclusão de 10, 20 e 30% em função do tipo de ingrediente, nível de inclusão e sua interação	

em dietas para juvenis do <i>Litopenaeus vannamei</i>	130
Tabela 5.11- Coeficientes de digestibilidade aparente para a matéria seca (DAMS), proteína bruta (DAPB), proteína verdadeira (DAPV), diferença % entre a DAPB e a DAPV e energia bruta (DAE) das dietas referência nas rodadas 1 e 2 e dietas teste nos níveis de inclusão 10, 20 e 30%)por juvenis do <i>Litopenaeus vannamei</i> . Valores expressos em média $\pm$ desvio padrão	131.
Tabela 5.12. Disponibilidade aparente dos aminoácidos essenciais (AAE) e aminoácidos não-essenciais (AANE) das dietas referência e teste elaboradas para a avaliação da digestibilidade de ingredientes protéicos para juvenis no <i>L. vannamei</i> em % da dieta. AAE: Arginina-ARG; Fenilalanina-FEN; Histidina-HIS; Isoleucina-ISO; Leucina-LEU; Lisina-LIS; Metionina-MET; Treonina-TRE; Valina-VAL. AANE: Alanina-ALA; Ác. aspártico-ASP; Cistina-CIS; Glicina-GLI; Ác. glutâmico-GLM; Prolina-PRO; Serina-SER e Tirosina-TIR. Valores expressos em média $\pm$ desvio padrão (n=3).....	133
Tabela 5.13. Análise de variância (ANOVA) de 2 vias para a digestibilidade aparente da matéria-seca, proteína bruta e energia bruta de seis ingredientes protéicos incluídos em dietas teste nos níveis de inclusão de 10, 20 e 30% em função do tipo de ingrediente, do nível de inclusão e sua interação em dietas para juvenis do <i>Litopenaeus vannamei</i>	136
Tabela 5.14- Digestibilidade aparente da matéria-seca (DAMS), digestibilidade aparente da proteína bruta (DAPB), digestibilidade da proteína verdadeira (DAPV) e digestibilidade aparente da energia (DAE) de seis ingredientes protéicos incluídos em dietas teste nos níveis de 10, 20 e 30% para juvenis do <i>L. vannamei</i> . Valores expressos em média $\pm$ desvio padrão	137
Tabela 5.15. Preço em US\$ ton ⁻¹ dos ingredientes protéicos, coeficientes de digestibilidade aparente da proteína bruta (DAPB), proteína bruta (PB), proteína digestível (PD), valor em US\$ por kg de PB e PD, coeficientes de digestibilidade aparente da proteína verdadeira (DAPV), proteína verdadeira (PV), proteína verdadeira digestível (PVD), valor em US\$ por kg de PVD, coeficientes de digestibilidade aparente da energia (DAE), energia bruta (EB), energia digestível (ED), valor em US\$ por kg de ED proteí, proteína verdadeira e energia bruta; níveis de proteína bruta, proteína verdadeira, energia bruta; proteína digestível, proteína verdadeira, proteína verdadeira digestível e energia digestível; custo da proteína digestível, proteína verdadeira digestível e energia digestível de ingredientes protéicos para juvenis do <i>L. vannamei</i> em três níveis de inclusão. Valores em g 100g ⁻¹ , exceto quando especificado. Base matéria natural (n = 3).....	140
Tabela 5.16. Análise de variância (ANOVA) de 2 vias para a disponibilidade aparente dos aminoácidos dos seis ingredientes protéicos incluídos em dietas teste nos níveis de inclusão de 10, 20 e 30% em função do tipo de ingrediente, do nível de inclusão e sua interação em dietas para juvenis do <i>Litopenaeus vannamei</i>	141
Tabela 5.17. Disponibilidade aparente dos aminoácidos essenciais (AAE) e aminoácidos não-essenciais (AANE) dos ingredientes protéicos incluídos nos níveis de 10, 20 e 30% nas dietas teste elaboradas para	

juvenis do *Litopenaeus vannamei* em % do aminoácido no ingrediente. AAE: Arginina-ARG; Fenilalanina-FEN; Histidina-HIS; Isoleucina-ISO; Leucina-LEU; Lisina-LIS; Metionina-MET; Treonina-TRE; Valina-VAL. AANE: Alanina-ALA; Ác. aspártico-ASP; Cistina-CIS; Glicina-GLI; Ác. glutâmico-GLM; Prolina-PRO; Serina-SER e Tirosina-TIR. Valores expressos em média $\pm$ desvio padrão142

Tabela 5.18. Aminoácidos essenciais (AAE) e aminoácidos não-essenciais (AANE) disponíveis nos ingredientes protéicos incluídos nos níveis de 10, 20 e 30% nas dietas teste elaboradas para juvenis do *Litopenaeus vannamei*. Valores médios expressos em % do aminoácido no ingrediente base matéria natural.. AAE: Arginina-ARG; Fenilalanina-FEN; Histidina-HIS; Isoleucina-ISO; Leucina-LEU; Lisina-LIS; Metionina-MET; Treonina-TRE; Valina-VAL. AANE: Alanina-ALA; Ác. aspártico-ASP; Cistina-CIS; Glicina-GLI; Ác. glutâmico-GLM; Prolina-PRO; Serina-SER e Tirosina-TIR144

Tabela 5.19. AA score em %, número de AAs abaixo do recomendado, AA limitante, índice de AA, score médio em %, score químico em % e déficit de AA dos aminoácidos essenciais mais cistina e tirosina de ingredientes protéicos incluídos nos níveis de 10, 20 e 30% nas dietas teste para juvenis do *L. vannamei* base matéria natural. Arginina-ARG; Fenilalanina-FEN; Histidina-HIS; Isoleucina-ISO; Leucina-LEU; Lisina-LIS; Metionina-MET; Treonina-TRE; Valina-VAL, Cistina-CIS e Tirosina-.....145

Tabela 5.20. Preço em US\$ ton⁻¹ dos ingredientes protéicos, aminoácidos disponíveis e preço em US dólar por kg de aminoácido disponível nos seis ingredientes protéicos para juvenis do *Litopenaeus vannamei* em três níveis de inclusão. Valores em g 100g⁻¹ do ingrediente, exceto quando especificado, base matéria natural . ARG – arginina, MET – metionina, LIS – lisina, CIS – cistina, FEN – fenilalanina, TIR – tirosina e somatório dos aminoácidos essenciais - $\sum$ AAE¹.139

Tabela 6.1. Composição centesimal e da energia determinadas para as dietas referência e teste elaboradas para a avaliação da digestibilidade e do desempenho em função do ingrediente e do nível de inclusão em dietas para juvenis no *L. vannamei*. Valores base matéria natural em g 100g⁻¹ exceto quando especificado.....199

Tabela 6.2. Desenho experimental adotado na rodada 1, na rodada 2 e no teste longo realizado em paralelo às duas rodadas para a avaliação do crescimento, conversão alimentar e sobrevivência de juvenis do *Litopenaeus vannamei* alimentados com dietas contendo ingredientes protéicos nos níveis de inclusão de 10%, 20% e 30% com três repetições (tanques) por tratamento.....200

Tabela 6.3. Análise de variância (ANOVA) de duas vias ($P < 0,05$) para os efeitos do sistema experimental e da rodada no crescimento (g semana⁻¹ e TCE) de juvenis camarão *L. vannamei* alimentados com dietas contendo diferentes ingredientes protéicos em sistema de recirculação.....205

Tabela 6.4. Análise de variância (ANOVA) de 2 vias ($P < 0,05$) para os efeitos do ingrediente e do nível de inclusão no crescimento (g semana⁻¹), fator de conversão alimentar e sobrevivência de juvenis do *Litopenaeus vannamei* alimentados com as dietas teste contendo seis ingredientes protéicos nos níveis de inclusão de 10%, 20% e 30% em sistema de recirculação.....205

Tabela 6.5. Peso inicial e final, crescimento, sobrevivência, conversão alimentar, taxa de eficiência

protéica bruta (TEPB) e digestível (TEPD) de juvenis do <i>Litopenaeus vannamei</i> alimentados com dietas contendo ingredientes protéicos nas inclusões de 10, 20 e 30% expressos como média $\pm$ desvio padrão.....	207
Tabela 6.6. Taxa de eficiência protéica bruta (TEPB), taxa de eficiência protéica digestível (TEPD), taxa de eficiência protéica bruta relativa (TEPB-R) e taxa de eficiência protéica digestível relativa (TEPD-R) de juvenis do <i>Litopenaeus vannamei</i> alimentado com dietas contendo diferentes ingredientes nos níveis de inclusão de 10, 20 e 30% expressos como média $\pm$ desvio padrão.....	210
Tabela 6.7. Oferta média diária de proteína bruta e proteína digestível de juvenis do <i>Litopenaeus vannamei</i> alimentado com dietas contendo diferentes ingredientes nos níveis de inclusão de 10, 20 e 30% expressos como média $\pm$ desvio padrão.....	212
Tabela 6.8. Peso inicial (Pi g), crescimento semanal (g sem ⁻¹ e TCE) e sobrevivência (%) de juvenis do <i>L. vannamei</i> alimentados com as dietas teste CPS30 e FVI30 durante o experimento de longa duração nas semanas 1 a 4, 5 a 8 e 1 a 8.....	213
Tabela 6.9. Correlações a taxa de crescimento semanal (g semana ⁻¹) e a composição centesimal, energia bruta, proteína e energia digestível e relação proteína digestível: energia digestível das dietas teste contendo diferentes ingredientes nos níveis de inclusão de 10, 20 e 30% para juvenis de <i>Litopenaeus vannamei</i> . Valores expressos em g 100g ⁻¹ exceto quando especificado. As correlações foram significativas quando $P < 0,05$	214
Tabela 6.10. Correlações entre o crescimento e: AA escore da metionina mais o AA escore da lisina, crescimento, AA escore médio, déficit de AAs e coeficientes de digestibilidade da metionina, lisina, ARG+LIS+MET e a soma dos AAs disponíveis nas dietas teste contendo diferentes ingredientes nos níveis de inclusão de 10, 20 e 30% para juvenis de <i>Litopenaeus vannamei</i> . As correlações foram significativas quando $P < 0,05$	215

RESUMO

Esta tese enfocou a validação de um sistema de recirculação para estudos de digestibilidade de camarões marinhos e a determinação dos coeficientes de digestibilidade de ingredientes protéicos em diferentes níveis de inclusão para a elaboração de dietas para camarões marinhos. O sistema de recirculação compreendeu o projeto de um tanque para estudos de digestibilidade com camarões e entre os diferentes sistemas avaliados, o Guelph-L foi o mais eficiente porque combinou uma alta eficiência de remoção de sólidos com um melhor perfil de velocidade da água e menor distância percorrida pelas partículas de fezes ou alimento não consumido. Os ensaios de digestibilidade com os seis ingredientes protéicos: farinha de peixe (FPX), concentrado protéico de soja (CPS), farinha de vísceras de frango (FVI), glúten de milho (GLM), farinha de carne e ossos (FCO) e farinha de penas hidrolisadas (PEN) incluídos na dieta referência nos níveis de 10, 20 e 30% mostraram que a digestibilidade aparente dos ingredientes foi significativamente influenciada pelo seu nível de inclusão nas dietas teste e esta influência foi mais intensa nos ingredientes glúten de milho e farinha de vísceras de frango, que apresentaram maiores desbalanços de aminoácidos. Os ingredientes que apresentaram os maiores coeficientes de digestibilidade aparente para a matéria-seca, proteína bruta, energia bruta e disponibilidade de aminoácidos foram a FPX e o CPS, enquanto que os menores custos para a proteína e energia digestível foram a FCO, CPS e PEN. O crescimento, sobrevivência e conversão dos camarões alimentar foram significativamente influenciados pelo tipo de ingrediente teste nas dietas, mas não pelo nível de inclusão e apresentaram a seguinte ordem de crescimento em g semana⁻¹: FPX > CPS > PEN > FVI > FCO > GLM. Os coeficientes de digestibilidade aparente das dietas descreveram melhor o crescimento semanal do que os coeficientes de digestibilidade dos ingredientes, apesar da fraca correlação.

Palavras-chave: *Litopenaeus vannamei*, sistema de recirculação, substituição da farinha de peixe, ingredientes para ração, digestibilidade, disponibilidade de aminoácidos, desempenho.

ABSTRACT

This thesis focused on the validation of an aquaculture recirculation system (RAS) for shrimp digestibility studies and the determination of the digestibility coefficients of protein sources at different inclusion levels for shrimp feeds. The recirculation system for digestibility studies proved to be adequate for its purpose and shrimp growth rates was equal to or higher than those experienced in the farms. The recirculated system comprised the Project of a tank for shrimp digestibility studies with marine shrimp which permitted the output of high quality faecal samples in quantity, reliability in the shorter time as possible. Among the systems evaluated the Guelph-L was the most efficient as it combined a high solids removal efficiency with an reasonable water velocity profile and the shortest distance for the feces and feed particles from the tank bottom to the collection tube. The digestibility trials were conducted with six protein sources: fish meal (FPX), soy protein concentrate (CPS), poultry by product meal (FVI), corn gluten meal (GLM), meat and bone meal (FCO) and hydrolyzed feather meal (PEN) at the inclusion rates of 10, 20 and 30% showed that the apparent digestibility of the protein sources was significantly affected by their inclusion levels in the test diets and this effect was more intense for the protein sources corn gluten meal and poultry by product meal, that displayed the greatest amino acids imbalance. The ingredients that presented the highest coefficients for the apparent dry matter, protein and energy digestibility and amino acids availability was fish meal and soy protein concentrate and the lowest cost for the digestible protein and energy was meat and bone meal, soy protein concentrate and hydrolyzed feather meal. The growth rates, survival and economical feed conversion ratio was significantly affected by the ingredient type, contrary to the inclusion level, and presented the following growth rate in g week⁻¹ order: FPX > CPS > PEN > FVI > FCO > GLM. The diet apparent digestibility coefficients described weekly growth rate better than ingredient apparent digestibility coefficients, despite the weak correlation.

Key words: *Litopenaeus vannamei*, recirculated system, fish meal replacement, feed ingredients, digestibility, amino acids availability, performance.

Capítulo 1. Introdução

Histórico e ciclo de vida

O camarão marinho *Litopenaeus vannamei*, vulgarmente conhecido como camarão cinza ou camarão branco, pertence à Ordem dos crustáceos Decápodes, Subordem Dendrobranchiata, Superfamília Penaeoidea, família Penaeidae e gênero *Litopenaeus* (Pérez-Farfante e Kensley, 1997). O primeiro registro dos peneídeos aconteceu em 1759 quando Seba de Amsterdam nominou e desenhou um peneídeo Norte Americano. Em 1815, Rafinesque reconheceu que os peneídeos representavam um grupo distinto dentro dos decápodas e os nominou Penedia, o que foi corrigido para Penaeidae em 1955. Em 1997, Isabel Perez Farfante e Brian Kensley propuseram uma mudança na grafia dos gêneros de alguns peneídeos para *Litopenaeus*, *Fenneropenaeus*, *Marsupenaeus* e *Farfantepenaeus*. Com a mudança, a espécie de camarão marinho *Penaeus vannamei* passou a se chamar *Litopenaeus vannamei* (Pérez-Farfante e Kensley, 1997, Treece, 2000).

O cultivo de camarões foi durante muitos anos um produto secundário da criação de peixes na Ásia e a carcinicultura moderna iniciou em 1930 com o fechamento do ciclo de vida do camarão *Marsupenaeus japonicus*. A criação comercial iniciou no Japão e no Equador no início da década de 60 e nos Estados Unidos no início da década de 70. Na época, a espécie cultivada era o *M. japonicus* que foi substituída pelo *Litopenaeus vannamei* e *Litopenaeus stylirostris* após a sua entrada acidental em um viveiro cujo dique havia quebrado (Treece, 2000).

A reprodução do ciclo de vida dos camarões peneídeos em condições de laboratório foi a principal responsável pela expansão da criação de camarões marinhos. O ciclo de vida inicia com a migração dos adultos para o mar aberto em busca de água com características oceânicas com salinidade e temperatura estáveis para a maturação e a desova. Os náuplios eclodem em águas oceânicas e à medida que passam para os estágios larvais seguintes se deslocam em direção aos estuários que funcionam como berçários naturais ricos em alimento onde os animais crescem e se transformam em juvenis quando então iniciam a migração para o mar aberto para um novo ciclo (Treece, 2000). (Figura 1.1.)

Figura 1.1. Ciclo de vida dos camarões peneídeos (adaptado de Treece, 2000).

Hábito alimentar e sistema digestivo

O *Litopenaeus vannamei* é uma espécie bentônica de hábito alimentar onívoro ou detritívoro que se alimenta devagar, manipulando o alimento e mastigando-o externamente, ao dilacerar o alimento e reduzi-lo a pequenas partículas com os seus apêndices, seguido pela trituração através das partes calcificadas do estômago (Ceccaldi, 1997, Houser e Akiyama, 1997, Tacon e Akiyama, 1997).

O sistema digestivo dos crustáceos possui as funções de: ingestão, transporte dos nutrientes, mecânica da digestão, hidrólise, absorção e armazenagem dos nutrientes e transporte das fezes. A sua estrutura compreende a boca, intestino anterior, intestino médio e intestino posterior (Ceccaldi, 1997). Figura 1.2.

Figura 1.2. Desenho do estômago dos Peneídeos

Sistemas de cultivo de camarões marinhos

Os camarões marinhos são cultivados em diferentes sistemas classificados basicamente em função do sistema empregado, da densidade de estocagem e do aporte de nutrientes que consequentemente implicará em diferentes níveis de produtividade. A tabela 1.1. abaixo apresenta alguns parâmetros considerados na classificação dos diferentes sistemas.

Tabela 1.1. Sistemas de cultivo de camarões marinhos em função de diferentes parâmetros de cultivo (adaptado de Tacon, 2003).

	<i>Extensivo</i>	<i>Semi-intensivo</i>	<i>intensivo</i>
<i>Tipo de tanques</i>	viveiros	viveiros	viveiros, raceways, tanques
<i>Tamanho dos tanques</i>	Até 100ha	1 – 20ha	0,1 – 2ha
<i>Densidade de estocagem</i>	< 5/m ²	5 - 25/m ²	> 25/m ²
<i>Renovação da água</i>	0 a 5%/dia	5 a 20%/dia	25 a 100%/dia
<i>Aeração</i>	Não	Parcial ou contínua	Parcial ou contínua
<i>Fertilização</i>	Pouca ou nenhuma	Sem/ com alimentação	Nenhuma ou completa
<i>Alimentação</i>	Pouca ou nenhuma	Sem/com fertilização	Completa
<i>Mão de obra</i>	< 0,1trabalhador/ha	0,1- 0,5 trabalhador/ha	1-3 trabalhador/ha
<i>Produtividade</i>	< 1t/ha/ano	1 – 5t/ha/ano	>5t/ha/ano
<i>Custo de produção</i>	US\$1 – 3/kg	US\$2 – 6/kg	US\$4 – 8/kg

No Brasil, até o ano de 2005, a maioria das fazendas adotava o sistema de cultivo intensivo com densidades próximas a 50 camarões/m² (Amaral et al, 2003), contudo, nos anos seguintes as densidades foram reduzidas para níveis abaixo de 30 camarões/m², um patamar característico do sistema semi-intensivo (Nunes et al., 2011).

Histórico da carcinicultura no Brasil

A carcinicultura marinha no Brasil deu os seus primeiros passos no início da década de 70, nas regiões Sul, Sudeste e Nordeste do País. Os primeiros estudos sobre o cultivo de camarões no Brasil foram realizados em Fevereiro de 1973 através da Companhia Souza Cruz na Baía de Sepetiba, RJ, com o *Litopenaeus Schimitti*. Aproximadamente dois meses após esta iniciativa o Núcleo de Pesquisas Marinhas do

Banco de Desenvolvimento do Rio Grande do Norte, o que mais tarde daria origem à Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte (EMPARN) iniciou a suas pesquisas com o *Farfantepenaeus brasiliensis*, que foi substituído entre 1976 e 1978 pelo camarão *Marsupenaeus japonicus*, conhecido como kuruma, que mais tarde mostraria ser inadequado devido à sua baixa tolerância às condições ambientais da região Nordeste do Brasil. Na região Sul, as primeiras experiências em laboratório foram realizadas pela Associação de Crédito e Assistência Pesqueira de Santa Catarina (ACARPESC) fez as primeiras com o *Farfantepenaeus paulensis* (Silva e Nogueira, 1988).

Nas fazendas, a criação era realizada em grandes viveiros de 20 a 80 ha onde os camarões eram povoados em baixa densidade e criados de forma extensiva, com alimentação natural produzida nos próprios viveiros com ajuda das fertilizações orgânicas e inorgânicas (Amaral, et al. 2003). Em 1983-1984 foi introduzida a espécie *Litopenaeus vannamei*, em 1983 o *Litopenaeus stylirotris* (camarão azul do pacífico), em 1984 e o *Fenneropenaeus penicillatus* (camarão da cauda vermelha) e em 1985 foram realizadas tentativas de cultivo com o *F. paulensis*, *F. subtilis* e *L. Schmittii* (Silva e Nogueira, 1988; Guerrelhas, 2003).

Nesta época foram desenvolvidas novas tecnologias de maturação, reprodução e manejo em viveiros, entretanto os níveis de produtividade de 500 a 800 Kg/ha/ano obtidos até então não eram satisfatórios. A falta de uma ração comercial adequada às exigências nutricionais destas espécies foi um dos principais obstáculos nesta época. Nos três anos subseqüentes a 1985, os criadores acompanharam o fracasso do desenvolvimento de rações de desempenho satisfatório e o seu custo elevado reduzindo a margem de lucro culminou na rejeição destas rações e no retorno ao sistema de produção extensivo praticado anteriormente (Amaral, et al., 2003).

Inicialmente restrita às fazendas Maricultura da Bahia e Valença da Bahia Maricultura, a espécie *Litopenaeus vannamei* começou a se espalhar pelo Brasil no início da década de 90 e em pouco tempo provou ser a espécie que iria levar a indústria ao salto tecnológico que se verificou desde então, graças à sua resistência e facilidade de adaptação às nossas condições naturais (Amaral, et al., 2003). Além destas características foi fundamental a evolução das rações balanceadas, que embora fossem formuladas a partir de dados gerados em outros países e, portanto, em condições

distintas àquelas encontradas no Brasil, permitiram ganhos de produtividade cada vez maiores e taxas de conversão alimentar mais eficientes.

Produção mundial de camarões marinhos

O pescado é a fonte de proteína animal mais produzida no mundo respondendo por 41% de toda a carne ofertada no planeta em 2010, seguido pelos suínos, aves e bovinos, em contraste com a participação do pescado na oferta de proteína de origem animal no Brasil que corresponde a apenas 5% do total (Figura 1.3).

Em termos de consumo, o pescado representa cerca de 16% do consumo global de proteína animal e 6,1% de toda a proteína consumida no mundo. A oferta de pescado e o consumo de pescado per capita têm crescido a uma taxa próxima de 3,1% nas últimas três décadas, enquanto que a população mundial cresceu a uma taxa de 1,7% no mesmo período (FAO, 2010). Esta expansão do consumo de pescado somente tem sido possível graças ao aumento da produção do pescado cultivado.

Figura 1.3. Participação percentual das diferentes fontes de carne na produção mundial de carnes (Fonte: USDA, 2010 e FISHSTAT, 2010).

A pesca e a aquicultura produziram juntas 142,3 milhões de toneladas de pescado em 2008 e deste total 52,5 milhões de toneladas foram cultivados em fazendas em águas continentais (63%) e águas marinhas (37%). Do total de pescado capturado 27,2 milhões de toneladas foram destinados para a fabricação de farinha e óleo de peixe,

o que reduz o volume destinado para consumo humano para 115 milhões de toneladas, dos quais a aquicultura contribui com 45% (FAO, 2010).

Apesar de ser verificada uma redução em seu ritmo de crescimento, a aquicultura ainda é o setor de produção animal que mais cresce no mundo e, entre os anos de 2000 e 2008, a aquicultura cresceu a uma taxa média de 6,2% ao ano, enquanto que a pesca apresentou um declínio médio de 0,5% (FAO, 2010). Do total produzido pela aquicultura (excluindo as algas), cerca de 55% corresponde a peixes de água doce, 24% corresponde à produção de moluscos, 9,5% corresponde à produção de crustáceos, 6,3% corresponde à produção de peixes diádromos, 3,4% corresponde a peixes marinhos e cerca de 1% corresponde a outros animais aquáticos (FAO, 2010).

Em 2008 a produção mundial de camarões marinhos atingiu 6,1 milhões de toneladas dos quais 49% foram produzidos em fazendas (FAO, 2010) e para o ano de 2010 a estimativa é de que a produção tenha atingido 3,5 milhões de toneladas e ultrapassado a produção de camarões através da pesca (Jory, 2011). O camarão marinho *Litopenaeus vannamei* é a espécie de camarão mais cultivada no mundo e a sua produção é equivalente a 45% do total de crustáceos produzidos no mundo, sendo que a grande maioria dos crustáceos cultivados corresponde aos camarões de cultivo. Os principais países produtores de camarão cultivado em 2010 foram a China (899,6 mil t), Tailândia (548,8 mil t), Vietnã (357,7 mil t), Indonésia (333,8 mil t), Equador (145 mil t), Bangladesh (110 mil t), Índia (94,2 mil t), México (91,5 mil t) e o Brasil na nona posição com 72,5 mil toneladas.

Com a introdução do *L. vannamei* a produção nacional cresceu a uma taxa média de 67% até atingir 90,2 mil toneladas em 2003, o que levou o país a ocupar a sexta posição entre os maiores produtores de camarão cultivado do mundo (Figura 1.2). Nos anos seguintes, uma série de episódios atingiu a indústria e causou uma queda acentuada da produção nacional. Estes episódios iniciaram com a ação antidumping movida pelos pescadores norte-americanos e a desvalorização do dólar combinada à queda dos preços mundiais, mas se agravaram com o surgimento do vírus da mionecrose infecciosa (IMNV) e como resultado no ano seguinte a produção caiu para cerca de 75 mil toneladas e se manteve em um patamar próximo às 65 mil toneladas até 2009 e atingiu cerca de 70 mil toneladas em 2010 (Jory, 2011, Rocha, 2011), (Figura 1.4).

Figura 1.4. Produção de camarões marinhos no Brasil: área cultivada (ha), produção (t) e exportações (ton). (Adaptado de Rocha, 2011).

Nos últimos anos, a produção nacional de camarões marinhos se concentrou na espécie *L. vannamei* e supre aproximadamente 2 em cada 3 kg de camarões produzidos no Brasil, e a área produtiva está concentrada na região Nordeste onde os Estados do Ceará e do Rio Grande do Norte são responsáveis por cerca de 70% da produção nacional. No Brasil, a carcinicultura é responsável pela criação de aproximadamente 50 mil empregos diretos e indiretos em áreas carentes de oportunidades na região Nordeste (Rocha, 2011).

A expansão do cultivo de camarões no Brasil tem sido possível, entre outros fatores, graças à melhoria da qualidade das rações a partir das pesquisas realizadas com a espécie *L. vannamei* em diferentes países e muito embora haja espaço para um nível de aperfeiçoamento ainda maior o peso significativo da ração nos custos de produção, onde representa 45% dos custos totais de produção do camarão cultivado na região Nordeste do Brasil (Borges et al., 2007).

O impacto da ração nos custos de produção do camarão cultivado tende a crescer em função das mudanças no panorama de alimentação do mundo que surgirão no futuro em resposta ao aumento da população e à limitação da expansão ou até mesmo a redução das áreas agriculturáveis em todo o globo. Diante destas questões, a aquicultura deverá, em breve, enfrentar desafios e oportunidades para consolidar a sua importância

como alternativa para a alimentação humana e, dentre esses desafios, está a conversão eficiente de matérias primas de qualidade em alimento aquático nutritivo (Lemos et al., 2010).

Este trabalho é o resultado de um projeto dedicado à avaliação de ingredientes alternativos à farinha de peixe em dietas para o camarão marinho *Litopenaeus vannamei*. Para a realização desta pesquisa, foi necessário planejar um laboratório para estudos de digestibilidade com camarões marinhos em sistema de recirculação e desenvolver um tanque adaptado para estudos de digestibilidade com camarões marinhos. Nos próximos cinco capítulos serão apresentados o projeto do laboratório de recirculação para estudos de digestibilidade com camarões marinhos onde são detalhados os requisitos do sistema, os seus conceitos básicos e componentes (Capítulo 2). O capítulo seguinte mostra os detalhes do desenvolvimento do tanque para estudos de digestibilidade com camarões marinhos (Capítulo 3); em seguida são apresentadas as características dos ingredientes avaliados para a confecção das dietas neste estudo (Capítulo 4); os ensaios de digestibilidade realizados com os ingredientes alternativos à farinha de peixe em diferentes níveis de inclusão em uma dieta referência (Capítulo 5) e os resultados de desempenho dos camarões alimentados com dietas contendo os ingredientes alternativos em diferentes níveis de inclusão (Capítulo 6).

Referências

- AMARAL, R., ROCHA, I.P., LIRA JR., G.P. Shrimp Feeding and Feed Consumption: The Brazilian Experience. In. Responsible Aquaculture for a Secure Future: Proceedings of a Special Session on Shrimp Farming. World Aquaculture (Darryl E. Jory, Editor). The World Aquaculture Society, Baton Rouge, Louisiana 70803, United States. p. 267-276, 2003.
- BORGES, D.A., BEZERRA, M. A. , FURTADO-NETO, M.A.A . Avaliação do ponto de equilíbrio e lucratividade aplicados a sistemas de produção de camarão marinho no estado do Ceara, Brasil. Arquivos de Ciências do Mar , v. 40, p. 42- 46, 2007.
- CECCALDI, H.J. Anatomy and Physiology of The Digestive System. In: Crustacean Nutrition, Advances in World Aquaculture Vol. 6. (D'Abramo, L.R., Conklin, D.E. e Akiyama, D.M. eds). World Aquaculture Society, Baton Rouge, L.A., v.6, p. 261–291, 1997.
- FAO. The State of World Fisheries and Aquaculture. FAO Fisheries and Aquaculture Department, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 218p., 2010.
- FISHSTAT. Total Fishery Production Data Base. Disponível em <http://www.fao.org/fishery/statistics/software/fishstat/en#2> Acessado em 02 de Setembro de 2010.
- GUERRELHAS, A.C.B. Shrimp Hatcheries: Successful History of PL Production in Brazil. In. Responsible Aquaculture for a Secure Future: Proceedings of a Special Session on Shrimp Farming. World Aquaculture (Darryl E. Jory, Editor). The World Aquaculture Society, Baton Rouge, Louisiana 70803, United States. p. 91-97. 2003.
- JORY, D. Global Production Estimates Key Element of GOAL 2010 Program. Global Aquaculture Advocate, January/February, p. 10-12, 2011.
- HOUSER, R.H., AKIYAMA, D.M. Feed Formulation Principles. In: Crustacean Nutrition, Advances in World Aquaculture Vol. 6. (D'Abramo, L.R., Conklin, D.E. e Akiyama, D.M. eds). World Aquaculture Society, Baton Rouge, L.A., v.6, p. 493–519, 1997.

- LEMOS, D., RIBEIRO, C.C., CARVALHO, R. TACON, A.G.J. Alimentação no mundo até 2050: cenários, desafios e oportunidades para a aquicultura. *Panorama da Aqüicultura*, v. 20, p. 44-49, 2010.
- NUNES, A.J.P., MADRID, R.M., ANDRADE, T.P. Carcinicultura Marinha no Brasil: Passado, Presente e Futuro. *Panorama da Aquicultura*, v.21, p.26-33, 2011.
- PÉREZ FARFANTE, I., KENSLEY, B. 1997. Penaeoid and Sergestoid Shrimps and Prawns of the World: Keys and Diagnoses for the Families and Genera. *Memoires du Museum National d'Histoire Naturelle*, tome 175. Muséum National d'Histoire Naturelle. Paris, France. 233p.
- ROCHA, I.P. Carcinicultura Brasileira: Processos tecnológicos, impactos sócio-econômicos, sustentabilidade ambiental, entraves e oportunidades. *Revista da ABCC*, ano XII, n. 1, p.26-34, 2011.
- SILVA, J.R.M.C., NOGUEIRA, A.L.M. Perfil da alimentação nas fazendas de criação de camarões marinhos e de água doce do Brasil. *Informe FAO, Projeto GCP/RLA/075/ITA*. Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação. São Paulo, Brasil, 79p., 1988.
- TACON, A.G.J., AKIYAMA, D.M. Feed Ingredients. In: *Crustacean Nutrition, Advances in World Aquaculture Vol. 6*. (D'Abramo, L.R., Conklin, D.E. e Akiyama, D.M. eds). World Aquaculture Society, Baton Rouge, L.A., v.6, p. 411–472, 1997.
- TACON, A.G.J. Global Review of Feeds and Feed Management Practices in Shrimp Aquaculture. Report prepared under the World Bank, NACA, WWF and FAO Consortium Program on Shrimp Farming and the Environment. Work in Progress for Public Discussion. Published by the Consortium. 68p., 2002.
- TREECE, G.D. Shrimp Culture. In: *Encyclopedia of Aquaculture*. (Robert R. Stickney, ed.). John Wiley e Sons, Inc. 2000. p. 805 – 868.
- USDA. Livestock and Poultry. World Markets and Trade. United States Department of Agriculture. Foreign Agricultural Service, April 2010. Disponível em: http://www.fas.usda.gov/livestock_arc.asp. Acessado em 02 de Outubro de 2010.

Capítulo 2. Requisitos técnicos, desenho e operação de um sistema de recirculação para pesquisas de digestibilidade com camarões marinhos

2.1. Introdução

Ao contrário do que se verifica com os animais terrestres, o estudo sobre nutrição de organismos aquáticos ainda está em sua infância, uma vez que a aquicultura é uma atividade recente, quando comparada aos demais segmentos de produção animal e é complicada pelo fato de que o ambiente aquático limita, de certa forma, o acompanhamento do desempenho dos animais durante o cultivo.

Um problema grave para a interpretação e comparação dos resultados de pesquisas sobre nutrição para crustáceos tem sido a falta de padronização das condições e procedimentos experimentais e até a adoção de procedimentos que podem interferir nos resultados como, por exemplo, o desenho experimental inadequado, formulação de dietas que não atendem as exigências da espécie, o processamento das dietas sem os cuidados necessários nas etapas de moagem, mistura e extrusão dos peletes, o uso de ingredientes puros, condições de cultivo estressantes e metodologias analíticas ineficazes (D'Abramo e Castell, 1997).

Além destes, outro aspecto merecedor de atenção é a aplicabilidade dos dados gerados nas pesquisas às condições práticas enfrentadas em uma fazenda e para isto as condições experimentais devem combinar estabilidade do ambiente com baixo estresse e máxima utilização dos nutrientes da ração para a expressão do potencial máximo de crescimento da espécie (Akiyama, 1992; Tacon, 1996, Glencross et al., 2007).

Os principais aspectos críticos apontados na literatura estão relacionados às condições dos cultivos experimentais, às dietas, ao regime alimentar e aos estudos de digestibilidade (Tacon, 1996, D'Abramo e Castell, 1997), conforme detalhado abaixo:

1- Ambiente de cultivo

- Unidade experimental – espaço, formato, cor, luminosidade,
- Qualidade da água (T°C, OD, N, S, contaminantes e partículas),
- Fotoperíodo,
- Controle sanitário,
- Interações intra-específicas.

2- Dietas experimentais

- Recomendações nutricionais da espécie em condições práticas,
 - Dieta referência x dieta prática,
 - Especificações do processamento da dieta,
 - Especificações dos ingredientes,
 - Estabilidade.
- 3- Regime alimentar
- Horários,
 - Restrita ou *ad libitum*,
 - Competição.
- 4- Métodos para digestibilidade
- Sistema,
 - Inclusão dos ingredientes teste,
 - Coleta, tratamento e conservação das amostras.

Revisão de literatura

A revisão de literatura compreendeu os estudos sobre digestibilidade com camarões marinhos disponíveis nas bases de dados no período de 1989 a 2010 que refletissem as práticas de 19 diferentes laboratórios localizados na Américas do Norte, América Central, América do Sul, Europa, Ásia e Oceania. Foram selecionados 19 artigos científicos que refletissem as condições de um laboratório específico e os trabalhos repetidos de um mesmo laboratório foram desconsiderados. Para isto foram selecionadas informações específicas sobre as características das unidades experimentais, os controles da qualidade da água, características das dietas experimentais, o regime alimentar e os procedimentos experimentais nos ensaios de digestibilidade.

Esta revisão de literatura mostrou que muitas características das condições experimentais e dos métodos utilizados nas pesquisas sobre digestibilidade de camarões marinhos estão associadas aos aspectos críticos enumerados acima.

O uso de tanques pequenos e de baixo volume em estudos de nutrição de crustáceos foi defendido por D'Abramo e Castell (1997) que desenvolveu um sistema para estudos com o *Macrobrachium rosenbergii* em tanques individuais. Para camarões marinhos, especialmente o *Litopenaeus vannamei* o confinamento individual de juvenis em aquários de 14 L resultou em um desempenho inferior ao de animais da mesma prole mantidos em tanques de 200 L (Oliveira, 2008), que por serem maiores oferecem uma condição compatível com o cultivo nas fazendas.

Esta informação coincide com os dados obtidos no levantamento que apontam para uma tendência recente, ou a partir de 2003, dos laboratórios de nutrição de camarões marinhos em utilizar tanques de maior volume (acima de 200L) e no formato circular em estudos de digestibilidade com camarões marinhos em detrimento das unidades individualizadas. Uma modificação importante iniciada a partir de 2001 foi a utilização de tanques com fundo cônico. Um fato que chamou a atenção foi a falta de informações sobre as dimensões e o formato dos tanques em 58 e 42% dos trabalhos consultados, respectivamente (Tabela 2.1).

Apesar de sua importância para a manutenção das condições experimentais o controle da qualidade da água é realizado de diferentes formas e faltam informações importantes como a filtração da água ou não, que correspondeu a 42% dos trabalhos consultados (Tabela 2.2).

Tabela 2.1- Características dos tanques experimentais em estudos de digestibilidade com camarões marinhos segundo o levantamento sobre as condições experimentais adotadas em laboratórios que realizam pesquisa sobre digestibilidade de camarões marinhos na América do Sul, América Central, América do Norte, Europa, Ásia e Oceania (n=19)

Período	%	Volume do tanque L	%	Dimensões	%	Fundo	%	Formato	%
Antes de 1990	5	< ou = 100	53	Informa	42%	Plano	32	Circular	26
1990 a 2000	16	100 a 250	26	Não informa	58%	Cônico	16	Retangular	32
2000 a 2010	79	250 a 500	16			Duplo	11	nd	42
		> 500	5			nd	42		

nd – não disponível. Fonte: Akiyama et al., 1989.; Merican e Shim, 1995.; Cousin et al., 1996.; Sudaryono et al., 1999.; Divakaran et al., 2000.; Martinez-Palacios et al., 2001.; Davis et al., 2002; Bautista-Teruel et al., 2003.; Forster et al., 2003.; Lin et al., 2004.; Molina-Poveda e Morales, 2004.; Goytortua-Bores et al., 2006.; Guo e Huang, 2006.; Siccardi et al., 2006; Smith et al., 2007; Vasagam et al., 2007; Hernández et al., 2008.; Yang et al, 2009; Cruz-Suárez et al., 2009.

Tabela 2.2- Práticas de manutenção da qualidade da água em estudos de digestibilidade com camarões marinhos segundo o levantamento sobre as condições experimentais adotadas em laboratórios que realizam pesquisa sobre digestibilidade de camarões marinhos na América do Sul, América Central, América do Norte, Europa, Ásia e Oceania (n=19).

Fonte	%	Filtração	%	Análises ¹	%	Salinidade	%	Temperatura	%
Salgada	89	Especifica	26	OD, T, S, pH, N	47%	> 26 PSU	84	Controlada	32
Salobra	5	Não especifica	42	OD, T, S	26%	10 a 26	5	Não controlada	68
Doce	0	nd	32	T,S	16	< 10	5		
nd	5			nd	11	nd	5		

¹OD = oxigênio dissolvido, T = temperatura, S = salinidade, N = compostos nitrogenados. Fonte: Akiyama et al., 1989.; Merican e Shim, 1995.; Cousin et al., 1996.; Sudaryono et al, 1999.; Divakaran et al., 2000.; Martinez-Palacios et al., 2001.; Davis et al., 2002; Bautista-Teruel et al., 2003.; Forster et al., 2003.; Lin et al., 2004.; Molina-Poveda e Morales, 2004.; Goytortua-Bores et al., 2006.; Guo e Huang, 2006.; Siccardi et al., 2006; Smith et al., 2007; Vasagam et al., 2007; Hernández et al., 2008.; Yang et al, 2009; Cruz-Suárez et al., 2009.

Cerca de metade das pesquisas não analisou todos os parâmetros de qualidade da água recomendados ou não especificaram as análises e a maioria não controla ou não especifica a existência de controles da temperatura. Este ponto é controverso porque ao mesmo tempo em que se espera que as pesquisas sejam aplicadas às condições das fazendas incluindo as variações ambientais, a falta de controle de um determinado parâmetro pode dificultar a sua aplicação em outras situações e a comparação entre resultados de pesquisas diferentes. Este baixo controle se deve ao fato de que a maior parte dos sistemas (53%) é aberto, ou seja, não há recirculação da água. Pouco mais da metade dos trabalhos (58%) não apresenta os dados de densidade utilizados e aqueles que apresentam tendem para densidades equivalentes ao sistema semi-intensivo (20 a 50 animais/m²). A densidade de animais é um aspecto importante uma vez que o número de indivíduos confinados em um determinado espaço vai resultar em relações intra-específicas que podem afetar o seu desempenho positivamente ou não, mas que invariavelmente acontecem durante o cultivo nas fazendas (Tabela 2.3).

Tabela 2.3 - Condições experimentais em estudos de digestibilidade com camarões marinhos segundo o levantamento sobre as condições experimentais adotadas em laboratórios que realizam pesquisa sobre digestibilidade de camarões marinhos na América do Sul, América Central, América do Norte, Europa, Ásia e Oceania (n=19).

Temperatura °C	%	Recirculação	%	Aeração	%	Densidade (indivíduos/m ²)	%
> ou = a 30	16	Total	32	Artificial	47	> 50	11
26 a 30	68	Parcial	16	nd	53	20 a 50	21
< 26	5	Sistema aberto	53			< 20	11
nd	11					nd	58

Fonte: Akiyama et al., 1989.; Merican e Shim, 1995.; Cousin et al., 1996.; Sudaryono et al., 1999.; Divakaran et al., 2000.; Martinez-Palacios et al., 2001.; Davis et al., 2002; Bautista-Teruel et al., 2003.; Forster et al., 2003.; Lin et al., 2004.; Molina-Poveda e Morales, 2004.; Goytortua-Bores et al., 2006.; Guo e Huang, 2006.; Siccardi et al., 2006; Smith et al., 2007; Vasagam et al., 2007; Hernández et al., 2008.; Yang et al, 2009; Cruz-Suárez et al., 2009.

As dietas experimentais foram em sua maioria não purificadas, o que condiz com a tendência das pesquisas aplicadas a situações práticas, no entanto o processo de fabricação ainda é, de certa forma, rudimentar ao utilizar moedores de carne (74%) ao invés das peletizadoras e extrusoras utilizadas no processo industrial. A inclusão do ingrediente teste nas dietas obedece a estratégias diferentes e pouco mais da metade dos trabalhos substitui parte da dieta completa pelo ingrediente teste, enquanto 28% dos trabalhos substituem um determinado ingrediente, em geral a farinha de peixe, pelo ingrediente que se deseja testar. Vale destacar que estas pesquisas provavelmente estão avaliando a digestibilidade de dietas completas e não de ingredientes de forma individual. Seguindo os primeiros trabalhos sobre o método de digestibilidade, a inclusão do ingrediente teste em 39% dos trabalhos é fixa em 30% e outros 39% realizou a inclusão em níveis variáveis, o que segue uma tendência mais recente. O uso de aglutinantes esteve presente em 42% dos estudos, a despeito da sua possível influência negativa na digestibilidade (D'Abramo e Castell, 1997), (Tabela 2.4).

A oferta das dietas experimentais é feita, na maioria dos casos, até os animais atingirem a saciedade e de forma manual. A utilização de alimentadores automáticos é uma prática mais recente e os estudos que utilizaram os aparelhos iniciaram em 2003. O horário de alimentação é predominantemente diurno (32%) ou diurno e noturno (32%), porém como a maioria dos estudos (37%) não especifica os horários é bem provável que o horário diurno prevaleça (Tabela 2.5).

Tabela 2.4- Dietas experimentais em estudos de digestibilidade com camarões marinhos segundo o levantamento sobre as condições experimentais adotadas em laboratórios que realizam pesquisa sobre digestibilidade de camarões marinhos na América do Sul, América Central, América do Norte, Europa, Ásia e Oceania (n=19).

Tipo de dieta	%	Fabricação	%	Inclusão do ingrediente teste	%	% inclusão do ingrediente teste	%	Aglutinante	%
Purificada	0	Extrusada	0	Na dieta	56	> 50	17	Aditivo	42
Semi-purificada	11	Peletizada	11	Substitui ingrediente	28	30	39	Ingrediente	26
Não-purificada	89	Moedor	74	Porção variável da dieta	17	<30	6	Não incluso	26
		nd	16			variável	39	nd	5

Fonte: Akiyama et al., 1989.; Merican e Shim, 1995.; Cousin et al., 1996.; Sudaryono et al., 1999.; Divakaran et al., 2000.; Martinez-Palacios et al., 2001.; Davis et al., 2002; Bautista-Teruel et al., 2003.; Forster et al., 2003.; Lin et al., 2004.; Molina-Poveda e Morales, 2004.; Goytortua-Bores et al., 2006.; Guo e Huang, 2006.; Siccardi et al., 2006; Smith et al., 2007; Vasagam et al., 2007; Hernández et al., 2008.; Yang et al, 2009; Cruz-Suárez et al., 2009.

O método de digestibilidade por sifonagem foi utilizado em 84% dos estudos e o método por decantação é mais recente uma vez que 100% destes trabalhos foram realizados após 2001. A maior parte dos trabalhos (42%) adotou um intervalo de coletas das amostras igual ou inferior a 1 hora, dos quais 75% corresponde ao período posterior ao ano 2000. Esta particularidade do método é importante para assegurar a qualidade das amostras. Em relação à limpeza das unidades experimentais, pouco mais da metade dos estudos (53%) a realiza após a alimentação, o que é pouco considerando a interferência que as partículas de ração não consumidas podem causar nas amostras. O tratamento das amostras na maioria dos estudos foi a filtragem (37%) seguida pelo congelamento (58%). (Tabela 2.6).

Tabela 2.5- Regime alimentar em estudos de digestibilidade com camarões marinhos segundo o levantamento sobre as condições experimentais adotadas em laboratórios que realizam pesquisa sobre digestibilidade de camarões marinhos na América do Sul, América Central, América do Norte, Europa, Ásia e Oceania (n=19).

Quantidade	%	Método	%	Período	%
Saciedade	42	Automático	11	Diurno	32
Fixa	26	Manual	84	Diurno/Noturno	32
Segundo consumo	16	nd	5	nd	37
nd	16				

Fonte: Akiyama et al., 1989.; Merican e Shim, 1995.; Cousin et al., 1996.; Sudaryono et al., 1999.; Divakaran et al., 2000.; Martinez-Palacios et al., 2001.; Davis et al., 2002; Bautista-Teruel et al., 2003.; Forster et al., 2003.; Lin et al.,

2004.; Molina-Poveda e Morales, 2004.; Goytortua-Bores et al., 2006.; Guo e Huang, 2006.; Siccardi et al., 2006; Smith et al., 2007; Vasagam et al., 2007; Hernández et al., 2008.; Yang et al, 2009; Cruz-Suárez et al., 2009.

Tabela 2.6- Procedimentos experimentais em estudos de digestibilidade com camarões marinhos segundo o levantamento sobre as condições experimentais adotadas em laboratórios que realizam pesquisa sobre digestibilidade de camarões marinhos na América do Sul, América Central, América do Norte, Europa, Ásia e Oceania (n=19).

Método	%	Intervalo de coleta	%	Limpeza	%	Concentração da amostra	%	Conservação da amostra	%
Sifonagem	84	< 1 hora	42	Pré-alimentação	37	Filtragem	37	Congelamento	58
Decantação	16	1 a 2 horas	32	Pós-alimentação	53	Centrifugação	5	Liofilização	32
		2 a 4 horas	16	nd	11	Estufa	11	Secagem	11
		nd	11			nd	37	nd	

Fonte: Akiyama et al., 1989., Merican e Shim, 1995.; Cousin et al., 1996.; Sudaryono et al, 1999.; Divakaran et al., 2000.; Martinez-Palacios et al., 2001.; Davis et al., 2002; Bautista-Teruel et al., 2003.; Forster et al., 2003.; Lin et al., 2004.; Molina-Poveda e Morales, 2004.; Goytortua-Bores et al., 2006.; Guo e Huang, 2006.; Siccardi et al., 2006; Smith et al., 2007; Vasagam et al., 2007; Hernández et al., 2008.; Yang et al, 2009; Cruz-Suárez et al., 2009.

As pesquisas sobre digestibilidade *in vivo* são realizadas em laboratórios com tanques ou aquários, em geral cilindro-cônico para peixes e cilíndricos ou retangulares com fundo plano ou com declinação suave para camarões. Para camarões, o volume dos tanques e aquários varia entre 19 e 500 litros.

Como os sistemas fechados ou de recirculação atendem bem às exigências dos estudos sobre nutrição são muito utilizados em laboratórios de pesquisa e a sua adoção em fazendas intensivas está crescendo. Isto se deve a algumas vantagens em comparação aos sistemas abertos, tais como: maior controle das condições físico-químicas de qualidade da água, baixo custo de aquecimento, maior controle sanitário, economia da água e baixo impacto externo. Uma grande vantagem destes sistemas é que além de atenderem bem às necessidades das estruturas de pesquisa se tornaram também atrativos para a produção comercial de peixes marinhos e de água doce em países como a Noruega, Holanda, Canadá, Estados Unidos, Espanha, Japão, Chile e Austrália em função da reciclagem da água e minimização dos efluentes (Labatut e Olivares, 2004; Summerfelt et al., 2004; Vinci et al., 2004; Schipp e Gore, 2007).

Na última década aconteceram grandes avanços no desenvolvimento de sistemas de recirculação, tanto na biofiltração e reciclagem da água, através dos biofiltros de leito

fluidizado (cerca 3,5 vezes mais eficiente do que um filtro de gotejamento ou *trickling*), como também na engenharia dos tanques e sistemas de remoção de resíduos sólidos que reduzem os custos de tratamento da água e melhoram a eficiência dos sistemas (Losordo et al., 1999; Vinci et al., 2004; Pfeiffer e Malone, 2006; Summerfelt, 2006). As tecnologias para a reciclagem da água e a remoção dos sólidos em sistemas intensivos atendem bem as necessidades de um laboratório para estudos de nutrição de espécies aquáticas, especialmente nos estudos de digestibilidade nos quais a remoção dos sólidos é crítica já que as fezes são a matéria-prima principal deste tipo de pesquisa.

O objetivo deste trabalho foi construir um sistema experimental para a realização de estudos de digestibilidade com camarões marinhos que possibilite coletar amostras em quantidade e qualidade suficientes para a obtenção de dados confiáveis e em condições de ótimo desempenho e baixo estresse para os camarões.

2.2. Materiais e métodos

Este projeto compreendeu nove etapas acompanhadas por revisões na literatura e consulta a especialistas para subsidiar o desenho do sistema, do tanque protótipo e os ajustes necessários para o funcionamento do sistema conforme esperado (Figura 2.1).

Figura 2.1. Etapas seguidas para o desenho, construção e operação do sistema para a realização de estudos de digestibilidade com o camarão marinho *Litopenaeus vannamei*

A validação do sistema de recirculação foi realizada com juvenis de *Litopenaeus vannamei* com peso médio de aproximadamente 5 g em 35 tanques, sendo 17 no sistema 1 e 18 no sistema 2. A densidade de estocagem nos tanques foi de 40 camarões m², exceto nos tanques 2 e 3 onde as densidades foram 39 e 38 camarões m², respectivamente. A duração do ensaio foi em média 127 dias no sistema 1 e 108 dias no sistema 2. Durante os ensaios, os camarões foram alimentados com ração Potimar 38 Active fabricada pela Guabi Nutrição Animal Ltda. (Tabela 2.7) em quantidades que variaram com o tamanho e a temperatura da água (Forster et al., 2003) através de um alimentador automático com a oferta contínua de ração entre 00:00 e 07:00 horas.

Durante o ensaio de validação do sistema de recirculação os parâmetros de qualidade da água foram mantidos nos níveis adequados para o *Litopenaeus vannamei*, os quais são: oxigênio dissolvido acima de 3,0 mgL⁻¹ (Seidman e Lawrence, 1985), salinidade e temperatura média na faixa de 28 a 30°C e 33 a 40ppt, respectivamente (Ponce-Palafox et al., 1997), amônia não-ionizada (NH_{3-un}) inferior a 0,16 mgL⁻¹ (Lin e Chen, 2001), nitrito (NO₂) menor que 25,7 mgL⁻¹ (Lin and Chen 2003) e NO₃ abaixo de 220 mgL⁻¹ (Kuhn et al., 2010).

Tabela 2.7- Níveis de garantia da composição centesimal, da energia bruta, relação proteína:energia, cálcio, fósforo e vitaminas informada pelo fabricante da dieta comercial fornecida aos juvenis no *L. vannamei* durante a validação do sistema de recirculação, com base matéria natural em g 100g⁻¹ exceto quando especificado.

Nutriente	nível	valor
PB	mínimo	38
EB MJ Kg	calculada	16,5
FB	máximo	5
PB:EB (g proteína MJ-1)	calculada	23,0
EE	mínimo	7,5
MM	máximo	13
Umidade	máximo	10
Cálcio	máximo	3
Fósforo	mínimo	1,45
Vitamina A		13000 UI
Vitamina D3		2500 UI
Vitamina E		200 UI
Vitamina C		500 mg

Fonte: Guabi Nutrição Animal, Ltda.

De forma complementar à validação dos sistemas de recirculação, um ensaio piloto foi realizado para validar o método para a determinação da digestibilidade nos sistemas de digestibilidade por decantação e sifonagem com juvenis de *Litopenaeus vannamei*. Camarões com peso médio em torno de 10g foram estocados na densidade de 45 indivíduos por tanque (62,5/m²) em três tanques equipados com saída de água pelo fundo do tanque e decantador para a avaliação da digestibilidade por decantação e em três tanques com o fundo liso e saída de água pela lateral do tanque para a avaliação da digestibilidade por sifonagem.

O estudo durou 13 dias e os camarões foram alimentados com uma dieta referência (cuja composição é detalhada no Capítulo 5 sobre digestibilidade) através de um alimentador automático com a oferta contínua de ração por 7 horas, entre 00:00 e 07:00hs e novamente às 12:30 durante 30 minutos para que as coletas fossem realizadas ao longo do dia. As coletas e análises das fezes, bem como o cálculo dos coeficientes de digestibilidade da matéria-seca, proteína bruta e energia bruta foram realizados conforme descrito no Capítulo 5 sobre digestibilidade, exceto a coleta do sistema por sifonagem que foi realizada nos mesmos intervalos da coleta por decantação e através de uma mangueira com 13mm de diâmetro para a sifonagem das fezes que eram retidas em uma tela com malha de 500µm e em seguida transferidas para o sistema de filtração das amostras conforme descrito naquele capítulo 5, sobre de digestibilidade.

Os resultados a seguir foram divididos em duas partes: 1- construção do sistema de recirculação para estudos de digestibilidade com camarões marinhos e 2- resultados obtidos no teste piloto sobre os sistemas de digestibilidade. No capítulo seguinte (3) estão detalhados os estudos realizados com o protótipo do tanque experimental e a definição dos seus componentes.

2.3. Resultados e discussão

Construção do sistema de recirculação para estudos de digestibilidade com camarões

Localização do projeto

O laboratório de recirculação para estudos de digestibilidade com camarões foi construído no galpão do Laboratório de Aquicultura da base de pesquisas do Instituto

Oceanográfico da USP localizada na Praia do Lamberto, em Ubatuba, litoral norte de São Paulo. O galpão possui 200m² e está posicionado a cerca de 10,0 m da preamar e aproximadamente 2,0 m acima do nível do mar.

Premissas básicas

As premissas básicas para a construção do sistema de recirculação para estudos de digestibilidade com camarões marinhos foram as seguintes;

- Dispor de tanques em número suficiente para realizar até doze tratamentos com três repetições de forma simultânea, ou menos tratamentos com mais repetições, totalizando 36 unidades experimentais.
- Distribuir as unidades experimentais em dois sistemas de recirculação independentes, mas com as mesmas estruturas de forma a possibilitar a operação de apenas um sistema, distribuir as unidades experimentais em dois sistemas para evitar riscos de perda de todas as repetições em caso de falhas e possibilitar a realização de estudos com condições ambientais distintas em cada um dos sistemas, como salinidade e temperatura.
- Instalar os sistemas em recirculação que combine requisitos técnicos para a manutenção de camarões em condições experimentais com a engenharia aplicada ao sistema de cultivo em recirculação e coleta de sólidos.
- Oferecer condições ambientais controladas em termos de qualidade da água que permitam que os animais apresentem um alto desempenho, principalmente em termos de crescimento e sobrevivência, equivalente ou superior ao obtido nas fazendas.
- Contar com sistemas de segurança para evitar prejuízos ao funcionamento do sistema em caso de queima de bombas e de compressores de ar, por meio de .

Desenho

O sistema de recirculação, que também pode ser operado em regime aberto, é composto por dois sistemas de recirculação independentes, sistema 1 e sistema 2. Cada

sistema era composto por 18 tanques experimentais de 500 L cada, totalizando 36 tanques, uma caixa de efluentes de 1.000L, uma caixa de abastecimento de 1.000L e um sistema de filtração contendo 2 bombas de 0,5 cv e um filtro de areia com capacidade para 50 Kg e aquecedores para a manutenção da temperatura da água em 27°C. O sistema 1 possuía um biofiltro fluidizado para a filtração biológica e apesar desta filtração adicional a água nos dois sistemas manteve os mesmos níveis de compostos nitrogenados devido à remoção diária dos sólidos das unidades experimentais. Um sistema de tratamento de efluentes atende os dois sistemas.

O layout do sistema de recirculação adequou o espaço disponível no Laboratório de Aquicultura do Instituto Oceanográfico da USP e a estrutura existente para a disposição dos tanques e sistemas de abastecimento, conforme apresentado na Figura 2.2.

Figura 2.2. Layout dos sistemas 1 e 2 do laboratório de recirculação para estudos de digestibilidade com camarões do Laboratório de Aquicultura do Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo na base de Ubatuba.

Tanques experimentais

A construção dos tanques foi precedida por um estudo para o seu desenvolvimento, conforme detalhado no Capítulo 3. Após o estudo iniciou-se a fabricação dos tanques e dos seus componentes na indústria Forglass localizada no município de Macaíba, Rio Grande do Norte. O processo de fabricação dos tanques e seus componentes foi acompanhado pelo pesquisador responsável por este projeto e as peças acabadas foram submetidas a uma verificação final com o auxílio de uma lista de verificação contendo todas as medidas e especificações originais.

Cada um dos 36 tanques de 500 L possuía dimensões de 1.040 x 675 mm (diâmetro x altura) com uma inclinação de 5° em direção à bacia central medindo 170 x 50 x 65 mm (diâmetro superior e inferior e altura) e estavam equipados com uma coluna de decantação individual para a concentração dos sólidos (fezes e sobras de ração) para análise e funcionavam como clarificadores que permitem uma otimização no tratamento dos efluentes (Twarowska et al. 1997; Cripps e Berghein, 2000; Summerfelt et al. 2004, Davidson e Summerfelt, 2004; Johnson e Chen, 2006). As colunas de decantação possuíam um volume de 8,9 L e dimensões de 400 x 150mm (altura e diâmetro) com fundo cônico e adaptado para o encaixe por rosca de um tubo Falcon de 50 ml, além de um plug de 60mm no terço final da coluna para facilitar o acesso durante a limpeza. A coluna de decantação foi instalada abaixo da bacia central e era ligada ao tanque por meio de um registro de esfera de 50 mm Ø para o controle do fluxo de água colado a um tubo de água fria com 50mm de diâmetro que direcionava os sólidos para o funil da coluna de decantação (Figuras 2.3 e 2.4).

Um fundo falso regulável evitava o acesso dos animais ao dreno central sem impedir a passagem da ração não consumida e das fezes. O fundo falso consistia em uma tampa de fibra de vidro com 180 mm de diâmetro laminada em um tubo de PVC de 50 mm de diâmetro por 400 mm de comprimento chanfrado e com quatro aberturas para a passagem da água com cerca de 25mm de diâmetro na extremidade que se encaixava em uma luva de PVC 50 mm laminada no meio da bacia central. Nesta luva foi colado um pedaço de cano do mesmo diâmetro e também chanfrado medindo 60 mm de comprimento. Desta forma ao girar o tubo com a tampa, o chanfro deste se encaixava ou se afastava do chanfro da bacia

fechando ou abrindo o espaço entre a tampa e o fundo do tanque, respectivamente para impedir a fuga dos camarões sem prejudicar a saída dos sólidos. Uma abertura de cerca de cinco mm foi utilizada ao longo dos ensaios e não havia saída de água pela abertura no centro da bacia.

Figura 2.3. Desenho da coluna de decantação instalada abaixo da bacia central do tanque experimental para estudos de digestibilidade com camarões em sistema de recirculação do Laboratório de Aquicultura da Universidade de São Paulo.

Cada tanque experimental possuía uma cobertura de plástico para diminuir a perda de calor para o meio externo, evitar a fuga dos camarões e diminuir a luminosidade dentro dos tanques (Figura 2.4). Os detalhes do desenvolvimento do protótipo do tanque experimental para digestibilidade se encontram no Capítulo 3.

Figura 2.4. Esquerda – Vista lateral de um tanque experimental com a coluna de decantação. Direita. Vista superior dos tanques cobertos dos sistemas 1 e 2 do laboratório de recirculação para estudos de digestibilidade com camarões do Laboratório de Aquicultura Marinha do Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo na base de Ubatuba.

Sistema de abastecimento e tratamento da água

As instalações hidráulicas do abastecimento foram montadas com tubos de PVC para água fria. Foram usados tubos com 50 mm de diâmetro no sistema de filtração da água e 32 mm de diâmetro nas entradas de água dos tanques experimentais. No sistema de drenagem dos tanques experimentais foram utilizados tubos de esgoto com 50 mm de diâmetro.

Cada sistema era composto por um reservatório de abastecimento de 1.000L posicionado a 160 cm do piso com um extravasor superior de emergência e quatro saídas inferiores com registros de esfera e tubos de 50 mm por onde passa a água de abastecimento para cada sistema com 18 tanques experimentais.

Cada tanque experimental possuía uma entrada de água de 32 mm com registros de esfera para ajuste da vazão e um coletor de sólidos para a coleta das amostras e por onde saíam os efluentes. Os efluentes foram destinados ao reservatório de 1.000 L posicionado a 15,0 cm do piso.

O bombeamento da água em cada um dos sistemas foi realizado através de duas bombas de ½cv trifásicas que funcionavam em regime alternado e acionadas por bóias de nível. Quando o reservatório de abastecimento estava abaixo do nível estabelecido a bomba é acionada e a água do reservatório de efluentes é bombeada através do filtro de areia, que

realiza a filtração mecânica, e do biofiltro fluidizado, que realiza a filtração biológica até encher o reservatório de abastecimento. O bombeamento é interrompido quando o nível do reservatório de efluentes estava abaixo do estabelecido para evitar a entrada de ar no sistema.

A água que abastecia os sistemas era captada diariamente diretamente do mar e armazenada em cisternas e destas passava por filtros de cartucho de 5 e 25 μ m e um filtro de ultra-violeta antes de entrar no sistema através dos tanques de efluentes de onde era bombeada junto com a água dos tanques através do sistema de filtração.

O sistema foi operado em regime fechado e a entrada de água nova serviu para repor as perdas ocasionadas pelas amostragens, limpeza, evaporação e retrolavagem dos filtros. A água de retrolavagem dos filtros era destinada a tanques de sedimentação de 2m³ e após a decantação dos sólidos em suspensão o sobrenadante passa por filtração física em filtros de cartucho e filtro de ultravioleta e bombeada para os tanques externos onde era clorada e descartada. Os sólidos decantados eram depositados em fossa séptica.

Um esquema detalhado dos processos de fluxo do sistema de abastecimento e tratamento da água é apresentado na Figura 2.5.

Sistema de aeração

A aeração dos tanques experimentais era fornecida por um compressor de 4cv instalado na casa de máquinas. A instalação pneumática compreendia tubulação de ferro galvanizado com 50 mm na saída do compressor até cerca de 1,5 m de distância onde foi feita uma junção com tubulação de PVC de água fria com 50 mm de diâmetro que conduzia o ar a uma distância de cerca de 10 m até a metade do galpão. Deste ponto foi adaptada uma tubulação de PP com ½” de diâmetro que foi montada em forma de anel na parte superior dos tanques experimentais e de onde saía uma mangueira de ar com uma pedra porosa por tanque a 15 cm do fundo para o suprimento de ar de forma individual. Um sistema de emergência foi montado para fornecer aeração em caso de falta de energia ou problemas com o compressor principal e compreendia dois compressores de 1/3cv e um gerador portátil movido à diesel.

Figura 2.5 Desenho dos processos de fluxo do sistema de recirculação para estudos de digestibilidade com camarões marinhos do Laboratório de Aquicultura do Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo.

Aquecimento

Cada sistema de recirculação possuía aquecedores elétricos distribuídos da seguinte forma: três aquecedores de imersão com potência de 800 W e um aquecedor de imersão com potência de 1.500 W com termostatos instalados em cada um dos reservatórios de efluentes. Um aquecedor de fluxo com potência de 1.500 W instalado no sistema 1 após o biofiltro fluidizado. A opção de instalar este aquecedor adicional apenas no sistema 1 se deve à localização deste sistema que fica mais próximo ao mar e exposto às frentes frias que causavam a diminuição da temperatura.

Instalações elétricas

As instalações necessárias ao funcionamento do sistema compreenderam cabos dimensionados para cada equipamento, ligados a um painel principal com a chave geral e dois painéis com disjuntores distribuídos da seguinte forma: 1- disjuntores geral, quadro de

bombas e disjuntor de proteção DR para o desligamento de todo o sistema em caso de curto circuitos provocados por acidentes, 2- disjuntores para os aquecedores e filtros ultra-violeta e 3- disjuntores para tomadas e iluminação.

Cada sistema de recirculação possuía um conjunto de duas bombas que funcionavam em regime alternado e eram controladas por um painel de comando trifásico com partida direta com sinaleiro de status liga/desliga e emergência/defeito e botoeiras para o funcionamento manual ou automático.

Manutenção dos animais reserva

Um tanque de PVC com 5,0 m de diâmetro e capacidade para 15 m³ foi utilizado para a manutenção dos animais até o início dos experimentos e também como estoque reserva de animais. Este tanque era operado em regime fechado com bioflocos.

Sistema de alimentação

O fornecimento da alimentação dos camarões nas unidades experimentais foi realizado através de alimentadores automáticos (Baby belt feeder, Aquatic Ecosystems, FL) com esteira acionada por um mecanismo mecânico à corda com um ciclo de funcionamento de 20 horas.

Resultados obtidos no ensaio para a validação dos sistemas de recirculação

Os resultados obtidos nos ensaios para a validação dos sistemas de recirculação 1 e 2 mostraram que o desempenho dos camarões alimentados com as rações comerciais foi satisfatório e homogêneo quando comparados entre os tanques e entre os dois sistemas de recirculação (Tabela 2.8). Os camarões dos tanques 32, 33 e 36 apresentaram taxas de crescimento um pouco inferior ao dos demais tanques sem que fosse observada uma razão evidente que explicasse estas diferenças e sim uma suspeita de que uma possível vazão

mais forte pode ter causado a decantação da ração em um tempo inferior ao dos demais tanques criando menos oportunidades de alimentação para os camarões.

Tabela 2.8- Peso inicial, densidade de estocagem inicial, peso e biomassa final, dias de cultivo e desempenho em termos de crescimento em gramas por semana e taxa de crescimento específico (TCE), sobrevivência e fator de conversão alimentar (FCA) de juvenis de *Litopenaeus vannamei* cultivados recirculação 1 e 2 do laboratório de aquicultura do Instituto Oceanográfico da USP.

SISTEMA 1									
Tanques	Peso inicial g	Densidade/m²	Peso final g	Biomassa final g	Dias de cultivo	g/semana	TCE*	Sobrevivência	FCA
1	6,1	40	20,9	776	98	1,1	0,55	95%	1,5
2	4,7	39	21,3	787	176	0,7	0,37	95%	2,2
3	3,1	38	20,9	816	160	0,8	0,52	100%	1,7
4	5,1	40	23,7	834	130	1,0	0,51	88%	1,6
5	4,9	40	26,0	777	130	1,1	0,56	78%	1,8
7	5,3	40	20,3	794	118	0,9	0,49	98%	1,6
8	5,4	40	24,8	824	126	1,1	0,53	83%	1,7
9	4,9	40	22,2	667	118	1,0	0,56	75%	2,0
10	4,9	40	19,9	739	117	0,9	0,52	93%	1,7
11	5,7	40	22,4	850	125	0,9	0,48	95%	1,6
12	4,8	40	21,2	805	125	0,9	0,52	95%	1,6
13	5,2	40	20,0	783	116	0,9	0,50	98%	1,6
14	5,8	40	24,0	960	124	1,0	0,50	100%	1,4
15	5,2	40	22,8	869	124	1,0	0,52	95%	1,5
16	5,0	40	21,4	878	123	0,9	0,51	100%	1,5
17	4,8	40	20,7	828	123	0,9	0,52	100%	1,6
18	5,1	40	22,2	775	123	1,0	0,52	88%	1,7
17	5,1	39,8	22,0	809,5	126,8	0,9	0,5	92%	1,7
	0,6	0,5	1,7	63,2	17,3	0,1	0,0	0,1	0,2
SISTEMA 2									
Tanques	Peso inicial g	Densidade/m²	Peso final g	Biomassa final g	Dias de cultivo	g/semana	TCE*	Sobrevivência	FCA
19	5,8	40	22,8	745	118	1,0	0,50	80%	1,8
20	6,2	40	22,6	860	118	1,0	0,48	95%	1,5
21	5,0	40	21,4	834	112	1,0	0,56	98%	1,4
22	4,5	40	20,5	800	112	1,0	0,59	98%	1,4
23	5,2	40	22,3	869	113	1,1	0,56	98%	1,4
25	5,3	40	22,2	789	110	1,1	0,56	88%	1,5
26	5,8	40	21,2	846	110	1,0	0,51	100%	1,4
27	5,4	40	21,9	770	110	1,0	0,55	88%	1,6
28	5,6	40	22,7	755	108	1,1	0,56	80%	1,6
29	6,2	40	23,5	814	108	1,1	0,54	85%	1,5
31	5,5	40	24,5	917	105	1,3	0,62	95%	1,2
32	5,6	40	14,0	618	98	0,6	0,41	100%	2,0
33	5,5	40	13,3	611	97	0,6	0,40	100%	2,0
34	5,8	40	21,5	821	104	1,1	0,55	95%	1,4
35	5,8	40	22,8	864	104	1,1	0,57	95%	1,3
36	5,3	40	14,1	435	97	0,6	0,44	78%	3,5
18	5,5	40,0	20,7	771,8	107,8	1,0	0,5	92%	1,7
	0,4	0,0	3,6	122,5	6,6	0,2	0,1	0,1	0,5

*TCE = taxa de crescimento específico

Resultados obtidos no ensaio piloto para a validação do método de digestibilidade

Os resultados do ensaio piloto para avaliar o método de digestibilidade para camarões marinhos mostraram que a coleta de fezes por decantação resultou em coeficientes de digestibilidade aparente da matéria-seca, proteína bruta e energia bruta significativamente superiores aos obtidos na coleta de fezes por sifonagem, contrário ao esperado (Tabela 2.9). Uma possível causa para este resultado pode ser o fato de que no sistema por sifonagem as fezes permanecem expostas à lixiviação e manipulação pelos camarões até a sua coleta e a contaminação das amostras pelas sobras de ração. O regime de alimentação também pode ter contribuído para este resultado uma vez que a ração não consumida permanecia no fundo do tanque durante todo o período de alimentação, que iniciava às 00:00s e terminava às 07:00hs, o que favorecia o consumo até a sua retirada na limpeza realizada após o período de alimentação. O consumo foi negativamente associado à digestibilidade de dietas pelo *L. vannamei* (Davis e Arnold, 1993) e também pode ter sido a causa da menor digestibilidade das dietas no sistema de digestibilidade por sifonagem neste estudo.

Tabela 2.9- Coeficientes de digestibilidade aparente da matéria-seca (DAMS), proteína bruta (DAPB) e energia bruta (DAE) de uma dieta para juvenis do camarão marinho *Litopenaeus vannamei* nos sistemas de digestibilidade por decantação e sifonagem na densidade de 62,6 camarões m⁻² (valores expressos em média $\pm$ desvio padrão, n=3)¹.

Sistema	DAMS	dp	DAPB	dp	DAE	dp
Decantação	58,15 ^a	1,79	54,51 ^a	1,22	72,42 ^a	0,48
Sifonagem	51,06 ^b	1,30	42,95 ^b	1,58	66,76 ^b	0,91

¹Letras diferentes na mesma coluna indicam diferenças significativas (ANOVA P < 0,05).

O ganho de peso dos camarões mantidos em sistemas de digestibilidade por decantação e sifonagem não apresentaram diferenças estatísticas significativas, porém numericamente o ganho de peso e o fator de conversão alimentar no sistema de digestibilidade por sifonagem foram maior e menor, respectivamente, do que os valores observados no sistema

por decantação. Esta pequena diferença também pode ter sido influenciada pelo regime de alimentação que favoreceu o consumo de ração pelos camarões no sistema de sifonagem (Tabela 2.10).

Tabela 2.10- Peso inicial, peso final, crescimento (g/semana), fator de conversão alimentar e sobrevivência de juvenis do camarão marinho *Litopenaeus vannamei* nos sistemas de digestibilidade por decantação e sifonagem (valores expressos em média $\pm$ desvio padrão, n=3)¹.

Sistema	Peso inicial (g)	dp	Dias	Peso final (g)	dp	g/semana	dp	FCA	dp	Sobrevivência (%)	dp
Decantação	9,10	1,80	13	10,97	1,97	1,01	0,14	1,05	0,06	97,78	0,02
Sifonagem	8,47	1,73	13	10,67	2,07	1,18	0,09	0,94	0,08	97,22	0,01

¹Não foram observadas diferenças significativas (ANOVA $P < 0,05$).

Os resultados deste teste piloto foram comprometidos pelos regimes de alimentação e limpeza utilizados e o fato de que os coeficientes de digestibilidade aparente foram inferiores no sistema de digestibilidade por sifonagem em relação ao sistema de digestibilidade por decantação não significam que estes dados são mais fidedignos uma vez que o que se busca em um sistema é a obtenção de amostras com a melhor qualidade possível em termos de perdas reduzidas e baixo grau de deterioração. A exposição das fezes e ração não consumidas mesmo que por intervalos inferiores ou próximos de uma hora, que se mostraram adequados para a coleta de fezes em estudos de digestibilidade com camarões marinhos (Smith e Tabrett, 2004), deixa dúvidas sobre os efeitos da exposição na qualidade das amostras.

Neste estudo, foi observado que a coleta de fezes no método por decantação traz mais pontos positivos do que o método por sifonagem, principalmente pela menor interferência das partículas de ração não consumidas nas amostras, menor grau de coprofagia e menor estresse nos animais.

A coleta das fezes por sifonagem no tanque de 500 L com 1,0 m de diâmetro foi dificultada pela dimensão da área do fundo e resultou em um tempo de coleta 3 vezes

superior ao tempo necessário em um tanque no método por decantação, o que restringe, portanto, a adoção deste sistema de coleta para tanques de maior volume. Uma lista completa dos principais aspectos observados em relação aos dois métodos está listada abaixo (Tabela 2.11).

Tabela 2.11- Características dos métodos de coleta de fezes de camarões marinhos por sifonagem e decantação.

	Sifonagem	Decantação
Tamanho do tanque	Menor, limitado ao método de coleta	Maior, limitado apenas pela hidráulica do sistema
Quantidade de animais	Limitada pela coleta	Limitada ao bem estar animal
Demanda de mão de obra	Alta	Média
Estresse para os animais	Maior	Menor
Coprofagia	Alta	Baixa
Consumo de exuvias	Depende da coleta	Baixa
Lixiviação da ração e das fezes	Depende da coleta	Baixa
Tempo de coleta	6 minutos por tanque	2 minutos por tanque
Probabilidade de erro	Maior	Menor

Além das vantagens descritas acima, o sistema de digestibilidade por decantação permitiu, em estudos preliminares, que os animais atingissem um crescimento compatível ou superior àquele obtido em condições práticas de criação em fazendas, com um índice de sobrevivência acima de 90% e fatores de conversão alimentares abaixo de 2, valores dentro da faixa recomendada para pesquisas de nutrição com camarões marinhos (Tacon, 1996, Akiyama, 1992).

2.4. Referências

- AKIYAMA D.M. Future considerations for shrimp nutrition and the aquaculture feed industry. In: Proceedings of the Special Session on Shrimp Farming (ed. by J.Wyban), World Aquaculture Society, Baton Rouge, LA, USA, p. 198-205, 1992.
- BAUTISTA-TERUEL, M. N., EUSEBIO P. S., WELSH, T.P. Utilization of feed pea, *Pisum sativum*, meal as a protein source in practical diets for juvenile tiger shrimp, *Penaeus monodon*. Aquaculture, v. 225, p.121-131, 2003.
- COUSIN, M., CUZON, G., GUILLAUME, J. Digestibility of starch in *Penaeus vannamei*: in vivo and in vitro study on eight samples of various origin, Aquaculture, v. 140, p. 361-372, 1996.
- CRIPPS, S.J., BERGHEIN, A. Review: Solids management and removal for intensive land-based aquaculture production systems. Aquacult. Eng., v. 22, p.33-56, 2000.
- CRUZ-SUÁREZ, L.E., TAPIA-SALAZAR, M., VILLARREAL-CAVAZOS, D., BELTRAN-ROCHA, J., NIETO-LÓPEZ, M.G., LEMME, A., RICQUE-MARIE, D. Apparent dry matter, energy, protein and amino acid digestibility of four soybean ingredients in white shrimp *Litopenaeus vannamei* juveniles. Aquaculture, v. 292, p. 87–94, 2009.
- D'ABRAMO, L.R., CASTELL, J.D. RESEARCH METHODOLOGY. IN: CRUSTACEAN NUTRITION. D'ABRAMO, L.R., CONKLIN, D.E., AKYIAMA, D.M. Advances in World Aquaculture Vol. 6. The World Aquaculture Society, 1997.
- DAVIDSON, J., SUMMERFELT, S.T. Solids removal from a coldwater recirculating system – comparison of a swirl separator and a radial-flow settler. Aquaculture, v.33, p. 47-61, 2004.
- DAVIS, A.D., ARNOLD, C.R. Evaluation of five carbohydrate sources for *Penaeus vannamei*. Aquaculture, v. 114, p.285-292, 1993.
- DIVAKARAN, S., VELASCO, M., BEYER, E., FORSTER, I., TACON, A. Soybean meal apparent digestibility for *Litopenaeus vannamei*, including a critique of methodology. In: Cruz -Suárez, L.E., Ricque-Marie, D., Tapia-Salazar, M., Olvera-Novoa, M.A. y Civera-

- Cerecedo, R., (Eds.) Avances en Nutrición Acuícola V. Memorias del V Symposium Internacional de Nutrición Acuícola. 19-22 Noviembre, 2000. Mérida, Yucatán, México.
- FORSTER, I.P., DOMINY, W., OBALDO, L. TACON, A.G.J. Rendered meat and bone meals as ingredients of diets for shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931). Aquaculture, v. 219, p. 655-670, 2003.
- GLENCROSS, B.D., BOOTH, M., ALLAN, G.L. A feed is only as good as its ingredients – a review of ingredient evaluation strategies for aquaculture feeds. Aquac. Nutr. v. 13, p. 17–34, 2007.
- GOYTORTUA-BORES, E., CIVERA-CERECEDO, R., ROCHA-MEZA, S., GREEN-YEE, A., PARTIAL replacement of red crab (*Pleuroncodes planipes*) meal for fish meal in practical diets for the white shrimp *Litopenaeus vannamei*. Effects on growth and in vivo digestibility, Aquaculture, v. 256, p. 414-422, 2006.
- GUO, R., LIU, Y.-J., TIAN, L.-X. e HUANG, J.-W. Effect of dietary cornstarch levels on growth performance, digestibility and microscopic structure in the white shrimp, *Litopenaeus vannamei* reared in brackish water. Aquaculture Nutrition, v. 12, p. 83–88, 2006.
- HERNÁNDEZ, C., OLVERA-NOVOA, M.A., AGUILAR-VEJAR, K., GONZÁLEZ-RODRÍGUEZ, B., PARRA, I.A.P. Partial replacement of fish meal by porcine meat meal in practical diets for Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). Aquaculture, v. 277, p. 244–250, 2008.
- JOHNSON, W., CHEN, S. Performance evaluation of radial/vertical flow clarification applied to recirculation aquaculture systems. Aquacult. Eng., v. 34, p. 47-55, 2006.
- KUHN, D.D., SMITH, S.A., BOARDMAN, G.D., ANGIER, M.W., MARSH, L., FLICK, G.J. Chronic toxicity of nitrate to Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*: Impacts on survival, growth, antennae length, and pathology. Aquaculture, v. 309, p. 109–114, 2010.

- LABATUT, R.A., OLIVARES, J.F. Culture of turbot (*Scophthalmus maximus*) juveniles using shallow raceways tanks and recirculation. *Aquacultural Engineering*, V. 32, p. 113–127, 2004.
- LIN, Y-C., CHEN, J-C. Acute toxicity of ammonia on *Litopenaeus vannamei* Boone juveniles at different salinity levels. *J. Experimental Marine Biology and Ecology*. v. 259, p. 109–119, 2001.
- LIN, Y-C., CHEN, J-C. Acute toxicity of nitrite on *Litopenaeus vannamei* (Boone) juveniles at different salinity levels. *Aquaculture*, v. 224, p.193–201, 2003.
- LIN, H.Z., GUO, Z., YANG, Y., ZHENG, Z., LI, Z. Effect of dietary probiotics on apparent digestibility coefficients of nutrients of white shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone). *Aquaculture Research*, v. 35, p. 1441-1447, 2004.
- LOSORDO, T.M., MASSER, M.P., RAKOCY, J.E. Recirculating Aquaculture Tank Production Systems: A Review of Component Options. SRAC Publication No. 453, April 1999.Revised. 12p, 1999.
- MARTINEZ-PALACIOS, C.A., CABANILLAS BELTRÁN, H. PONCE-PALAFOX, J., CHÁVEZ SÁNCHEZ, MA.C. AND ROSS, L.G. A modified chamber designed for estimation of digestibility in shrimp. *North American Journal of Aquaculture*. v. 63, p. 252-255, 2001.
- MERICAN, Z.O., SHIM, K.F. Apparent digestibility of lipid and fatty acids in residual lipids of meals by adult *Penaeus monodon*, *Aquaculture*, v. 133, p. 275-286, 1995.
- MOLINA-POVEDA, C., MORALES, M.E. Use of a mixture of barley-based fermented grains and wheat gluten as an alternative protein source in practical diets for *Litopenaeus vannamei* (Boone). *Aquaculture Research*, v. 35, p. 1158-1165, 2004.
- OLIVEIRA, G.F. Metodologia otimizada para a determinação de digestibilidade de dietas para camarões marinhos em cultivo. Dissertação de Mestrado, Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, 114p, 2008

- PFEIFFER, T., MALONE, R. Nitrification performance of a propeller-washed bead clarifier supporting a fluidized sand biofilter in a recirculating warmwater fish system. *Aquacult. Eng.*, v. 34, p. 311–321, 2006.
- PONCE-PALAFOX, J., MATINEZ-PALACIOS, C.A., ROSS, L.G. The effects 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.
- SCHIPP, G., GORE, D. Recirculating Marine Aquaculture Systems. Report on an ISS Institute/ DEST Overseas Travel Fellowship. Published by International Specialised Skills Institute, Melbourne. ISS Institute, 101/685, Burke Road Camberwell, 3124. Australia. February 2007. Disponível em: <http://www.nt.gov.au/dpifm/Fisheries/index.cfm?Header=Reports,%20Papers%20and%20Strategic%20Plans> . Acessado em 20 de Dezembro de 2007.
- SEIDMAN, E.R., LAWRENCE, A.L. 1985. Growth, feed digestibility, and proximate body composition of juvenile *Penaeus vannamei* and *Penaeus monodon* grown at different dissolved oxygen levels. *Journal World Mar. Soc.*, v. 16, p. 333–346, 1985.
- SICCARDI, A.J., LAWRENCE, A.L., GATLIN, D.M., FOX, J.M., CASTILLE, F.L., PEREZ-VELAZQUEZ, M., GONZÁLEZ-FÉLIX, M.L., 2006. Digestibilidad aparente de energía, proteína y material seco de ingredientes utilizados en alimentos balanceados para el camarón blanco del Pacífico *Litopenaeus vannamei*. In: Cruz-Suárez, L.E., Ricque-Marie, D., Tapia-Salazar, M., Nieto-López, M.G., Villarreal-Cavazos, D.A., Puello-Cruz, A.C., García-Ortega, A. (Eds.), *Avances en Nutrición Acuícola VIII*. Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, Mexico, pp. 213–237.
- SMITH, D.M., TABRETT, S.J. Accurate measurement of in vivo digestibility of shrimp feeds. *Aquaculture*, p. 232, v. 563–580, 2004.
- SMITH, D.M., TABRETT, S.J., GLENCROSS, B.D., IRVIN, S.J., BARCLAY, M.C. Digestibility of lupin kernel meals in feeds for the black tiger shrimp, *Penaeus monodon*. *Aquaculture*, v. 264, p. 353 – 362, 2007.

- SUDARYONO, A., TSVETNENKO, E., HUTABARAT, J., SUPRIHARYONO, E. Lupin ingredients in shrimp (*Penaeus monodon*) diets: influence of lupin species and types of meals. *Aquaculture*, v. 171, p. 121–133, 1999.
- SUMMERFELT, S.T. Design and management of conventional fluidized-sand biofilters. *Aquacult. Eng.*, v. 34, p. 275–302, 2006.
- SUMMERFELT, S.T., WILTON, G., ROBERTS, D., RIMMER, T., FONKALSRUD, K. Developments in recirculating systems for Arctic char culture in North America. *Aquacult. Eng.* v. 30, p. 31-71, 2004.
- TACON, A.G.J. Nutritional studies in crustaceans and the problems of applying research findings to practical farming systems. *Aquaculture Nutrition*, v.1, p.165-174, 1996.
- TWAROWSKA, J.G., WESTERMAN, P.W., LOSORDO, T.M. Water treatment and waste characterization evaluation of an intensive recirculating fish production system. *Aquacult. Eng.* v. 16, p. 133-147, 1997.
- VASAGAM, K.P.K., BALASUBRAMANIAN, T., VENKATESAN, R. Apparent digestibility of differently processed grain legumes, cow pea and mung bean in black tiger shrimp, *Penaeus monodon* Fabricius and associated histological anomalies in hepatopancreas and midgut. *Animal Feed Sci. Tech.*, v. 132, p. 250–266, 2007.
- VINCI, B.J., SUMMERFELT, S.T., CREASER, D.A., GILLETTED, K. Design of partial water reuse systems at White River NFH for the production of Atlantic salmon smolt for restoration stocking. *Aquacult. Eng.*, v. 32, p. 225–243, 2004.
- YANG, Q., ZHOU, X., ZHOU, C., TAN, B., CHI, S., DONG, X. Apparent digestibility of selected feed ingredients for white shrimp *Litopenaeus vannamei*, Boone. *Aquaculture Research*, p. 1-9, 2009.

Capítulo 3. Hidráulica, perfil de velocidade da água e remoção de sólidos em tanques de dreno simples e de dreno duplo para ensaios de determinação da digestibilidade em camarões marinhos

3.1. Introdução

A determinação da digestibilidade é um componente chave na avaliação da qualidade dos ingredientes e o método indireto com o uso de marcadores nas dietas tem sido o mais utilizado nos estudos para a determinação da digestibilidade de espécies aquáticas. Para isto são utilizados diferentes sistemas compostos por tanques com tamanhos, formatos e dimensões variadas e na maioria dos casos a coleta das fezes é feita por sifonagem enquanto que em alguns estudos são coletadas em colunas de decantação semelhantes às utilizadas nos primeiros estudos sobre digestibilidade em peixes (Cho e Slinger, 1979).

Nos estudos sobre digestibilidade com camarões marinhos os tanques possuem volumes que variam de 20 a 500 litros e são comumente retangulares ou cilíndricos e com o fundo plano ou ligeiramente cônico (Smith et al., 2007; Glencross et al., 2002; Cruz-Suárez et al., 2007, Forster et al., 2003). A grande variedade de sistemas e procedimentos dificulta a comparação entre os resultados e a eficiência destes sistemas é na maioria dos casos incerta uma vez que o sistema experimental pode não ter sido validado.

A diversidade de condições experimentais, incluindo: origem dos ingredientes, fabricação das dietas, condições de cultivo e procedimentos trazem receios quanto à variabilidade e a aplicabilidade dos dados e alguns autores ressaltam a importância de se oferecer um ambiente estável, com baixo estresse e que permita o melhor uso dos nutrientes para que o animal desenvolva todo o seu potencial de crescimento (Tacon, 1996, D'Abramo and Castell, 1997, Smith e Tabrett, 2004, Glencross, 2007).

Ao contrário da maioria das espécies de peixe, realizar estudos de digestibilidade com camarões é mais complexo devido aos fatos de que os camarões consomem o alimento de

forma lenta, são coprófagos e bentônicos, o que dificulta o controle do consumo de alimento, a remoção das sobras e a coleta das fezes de tamanho diminuto e frágeis que são facilmente partidas, consumidas ou ficam presas nos apêndices dos animais. Considerando estes aspectos, o desenvolvimento de sistemas eficientes para a realização de estudos de nutrição com camarões se faz necessário para que os métodos experimentais sejam, padronizados para que os seus resultados sobre o valor nutricional dos ingredientes e das dietas para camarões sejam mais precisos e comparáveis e proporcionem um melhor desempenho através de condições experimentais mais adequadas.

Para os estudos de digestibilidade, os sólidos dissolvidos na água e decantados na forma de fezes e ração não consumida são de especial importância para a manutenção da qualidade da água, especialmente em sistemas de recirculação, tanto para a coleta das amostras como para a mensuração da digestibilidade, respectivamente. Além destes aspectos, a remoção dos sólidos em estudos de digestibilidade traz alguns questionamentos, um deles diz respeito ao estresse causado pela coleta das amostras de fezes por sifonagem, o que não é desejado uma vez que o estresse pode interferir no bem estar dos animais e consequentemente nos resultados distanciando, portanto, as condições experimentais da prática, o que deve ser evitado (Tacon, 1996; D'Ábramo e Castell, 1997). O segundo é em relação à lixiviação das amostras já que no intervalo das coletas por sifonagem as fezes que permanecem no fundo dos tanques estão sujeitas a ação da água em movimento e ao contato com os animais que ao manipular e consumir as fezes causam alterações na relação cromo: nutrientes. Um terceiro diz respeito à lixiviação das próprias dietas na água caso não sejam removidas em um curto espaço de tempo após o consumo e durante os procedimentos de limpeza pré-coleta.

Na aquicultura, o manejo para a redução dos sólidos pode seguir basicamente duas estratégias, são elas: a redução da quantidade de sólidos produzidos por meio da otimização do fator de conversão alimentar e o tratamento dos efluentes para remover os sólidos antes que estes sejam descartados nos corpos d'água receptores (Brinker e Rösch, 2005). A otimização das dietas e do fator de conversão alimentar requer informações sobre a disponibilidade dos ingredientes, que por sua vez é obtida nos estudos sobre crescimento e digestibilidade, enquanto que a redução dos sólidos nos sistema de cultivo demanda

conhecimentos específicos sobre a engenharia dos sistemas de recirculação e as técnicas para a remoção de sólidos nestes sistemas.

No campo da engenharia aplicada à aquicultura, muitos estudos são voltados para a remoção de sólidos em sistemas de cultivo e novas tecnologias como o uso de clarificadores proporciona uma remoção eficiente das fezes e da ração não consumida nos tanques de cultivo (Davidson e Summerfelt, 2004; Vinci et al., 2004) e possuem uma aplicação potencial nos estudos sobre nutrição de peixes e camarões, mas, apesar de alguns estudos terem aplicado os conceitos de engenharia para o desenvolvimento de tanques para o cultivo intensivo de camarões (Freeman e Duerr, 1991; Tseng et al., 1998; Vasagan et al., 2009) nenhum estudo enfatizou a engenharia dos tanques para a remoção dos sólidos ou a aplicação destes conceitos nos estudos de nutrição.

A aplicação destes conceitos para a nutrição é importante para o controle do consumo de alimentos e as análises do material fecal. O material fecal, a ração não consumida e os finos podem ser reduzidos rapidamente a partículas bem menores devido a turbulência da água, movimentação dos animais no tanque, lixiviação e o bombeamento e a remoção de partículas pequenas é mais difícil do que as partículas maiores (Summerfelt et al., 2000).

A hidráulica do tanque exerce um impacto direto no perfil da velocidade da água que por sua vez aumenta a descarga dos sólidos através do deslocamento da massa do meio do tanque para o centro e deste para o decantador. Estudos detalhados realizados por Davidson e Summerfelt (2004) e Labatut et al. (2007) ajudam a compreender os fatores envolvidos na hidráulica dos tanques e a aplicar este conhecimento na nutrição de organismos aquáticos trazendo a realidade do laboratório para perto das condições práticas (Tacon, 1996).

O objetivo deste estudo é desenvolver um sistema que permita a realização de estudos de digestibilidade em camarões marinhos com a coleta de fezes e rações eficiente, com o mínimo estresse para os camarões permitindo que ao longo dos ensaios de digestibilidade estes expressem todo o seu potencial de crescimento. Para isto foram avaliados dois sistemas usados para a remoção de sólidos na aquicultura em relação à velocidade da água e à eficiência na remoção dos sólidos: o dreno duplo, no qual o primeiro dreno se destina à

maior parte da água e o segundo à maior parte dos sólidos e o dreno simples por onde todo o efluente é drenado.

3.2. Materiais e Métodos

Desenho do sistema e hidráulica

Neste estudo foram avaliados a hidráulica, o perfil de velocidade da água e a remoção dos sólidos a partir da adaptação de dois desenhos de sistemas para a remoção dos sólidos: 1- tanques de dreno duplo (Tipo-Cornell e Tipo-central); e 2- tanques de dreno simples: Guelph adaptado por Forster et al. (2003); referido como Guelph-F; Guelph adaptado por Lee (2002), referido como Guelph-L; e Guelph adaptado por Tibbets et al. (2006), referido como Guelph-T. Um tanque circular de 500L foi adaptado para avaliar todos os desenhos com as suas modificações. O corpo do tanque mediu 1040 mm de diâmetro e 675 mm de altura e o fundo possuía uma inclinação de 5° em direção ao centro em forma de bacia medindo 170 x 50 x 65 mm (diâmetro superior e inferior e altura, respectivamente), referida ao longo do texto como bacia central e muito embora o termo em inglês *bottom drain* signifique dreno de fundo o termo bacia central foi adotado para diferenciá-la dos drenos primário e secundário. Foi aplicado *gel coat* de cor branca no interior do tanque para permitir a visualização dos resíduos no fundo do tanque e evitar que compostos químicos presentes na resina intoxicassem os camarões, muito embora na primeira etapa os testes tenham sido realizados na ausência dos camarões. A avaliação do sistema Guelph-T foi descontinuada porque mesmo na menor vazão avaliada os peletes de ração não decantaram como esperado e foram carregados pela corrente ao longo da tubulação de 50mm. Os desenhos dos tanques e as modificações realizadas são apresentadas abaixo na Figura 3.1.

Figura 3.1- Desenho dos tanques com modificações para a avaliação da velocidade da água e da remoção de sólidos para estudos de digestibilidade com camarões marinhos

O tanque Tipo-Cornell possuía um dreno primário e um dreno secundário. O dreno primário consistia em um tubo de PVC de 60mm posicionado a 370mm do fundo para a saída da água a partir da superfície e o dreno secundário em tubo de PVC de 15mm foi posicionado no fundo da bacia central, no fundo do tanque, tangenciando a parede lateral e com uma inclinação de 2° para baixo e com a sua abertura no sentido anti-horário.

A bacia central era parcialmente fechada por uma tampa de vidro com 180 mm de diâmetro apoiada em um adaptador liso de PVC de 50 mm de diâmetro por 70 mm de altura, resultando em um espaço de cinco mm entre a tampa e o fundo do tanque e uma saída de água única na bacia central através do dreno secundário.

No tanque Tipo-central, a saída primária da água se dava pela parte superior do tubo encaixado na luva da bacia central que funcionava como um *stand pipe*, drenando a água superficial pelo centro do tanque. Por fora deste tubo foi encaixado um segundo tubo

medindo 500 mm de altura por 100 mm de diâmetro e com furos oblongos medindo 100 x 20 mm ao longo de toda a lateral para simular uma proteção contra a fuga dos camarões pelo tubo central. O dreno secundário foi o mesmo utilizado na avaliação do Tipo-Cornell (Figura 3.2). Nos testes com os tanques tipo Guelph o adaptador liso que fechava o fundo da bacia central recebeu quatro furos rentes à bacia central e com 25 mm de diâmetro para permitir a saída dos sólidos e da água por uma única abertura ou um único dreno e para os testes o dreno secundário foi fechado por dentro e por fora da bacia. Todas as observações e resultados sobre dreno secundário se aplicam exclusivamente aos tanques de dreno duplo.

Figura 3.2- Da esquerda para a direita: Bacia central com tampa de vidro e adaptador com furos para os testes com os tanques tipo-Guelph; vista lateral da bacia central com o tubo de 50 mm tipo *stand pipe* e o tubo de 100 mm externamente; vista superior do *stand pipe* com o tubo externo de 100 mm.

Os tanques com dreno duplo foram avaliados com um clarificador enquanto que os tanques tipo Guelph foram avaliados com colunas de decantação conforme descrito abaixo na Tabela 3.1.

Tabela 3.1- Dimensões e detalhes do clarificador e das colunas de decantação avaliados para a realização de estudos de digestibilidade com camarões marinhos.

	Clarificador	Coluna Guelph-F	Coluna Guelph-L
Diâmetro	Corpo do cone 352mm x 100mm 122mm. Fundo do cone 122 mm x 15mm		150mm
Altura	Corpo 480mm e cone 160mm	1400mm	Corpo da coluna 450mm e cone 120 mm
Volume (L)	23,5 L	11,0 L	8,90 L
Detalhes	Entrada com 15mm de diâmetro e posicionada com uma inclinação de 5° e 245mm abaixo do perímetro superior. Saída com 25mm posicionada 25mm abaixo do perímetro superior. Registro de esfera com 15mm no fundo do cone	Registro de esfera com 20mm na parte inferior da coluna	Dreno lateral com 50mm e saída com 20mm drain no fundo do funil.

Todos os sistemas foram avaliados em separado e abastecidos com a mesma fonte de água doce. Foi mantida uma altura manométrica de 6,0 m em relação à superfície dos tanques e o abastecimento de água foi realizado através de um tubo de PVC de 32 mm de diâmetro no sentido anti-horário e paralelo à parede do tanque. A vazão da água foi mensurada usando um balde calibrado e um cronômetro (Summerfelt et al., 2000). Cada medição foi precedida por um intervalo de 8 minutos para a estabilização da corrente ao longo do tanque e a vazão foi conferida no início de cada medição. Vestígios de sujeira, como areia, no fundo do tanque foram evitados para não interferir na remoção dos sólidos.

O perfil da velocidade da água e a remoção de sólidos, neste caso particular da ração foram avaliados em cada um dos quatro sistemas (Figura 1), três vazões de abastecimento e três diâmetros de dreno secundário, para os tanques com dreno duplo, e dois diâmetros de

dreno secundário para o tanque tipo Guelph-F e um diâmetro de dreno secundário para o Guelph-L, totalizando 27 tratamentos (Tabela 3.2).

Tabela 3.2- Desenho experimental dos testes para a avaliação do efeito de quatro sistemas, três vazões de abastecimento e diferentes diâmetros de dreno em um tanque para a realização de estudos de digestibilidade com camarões marinhos¹.

Sistema	Diâmetro do dreno primário e secundário (mm)	Vazão de abastecimento L min ⁻¹		
		8	12	16
Tipo-Cornell	6	T1	T2	T3
	12.7	T4	T5	T6
	19	T7	T8	T9
Tipo-central	6	T10	T11	T12
	12.7	T13	T14	T15
	19	T16	T17	T18
Guelph-F	25	T19	T20	T21
	50	T22	T23	T24
Guelph-L	50	T25	T26	T27

¹T - tratamentos

Medição da velocidade da água e comportamento dos camarões

A velocidade da água foi medida cronometrando a distância percorrida por um objeto com flutuabilidade neutra sendo transportado sem obstáculos pelo fluxo rotacional em distâncias estabelecidas da parede do tanque (aproximadamente 20 mm, 20m mm e 40 mm) representando três áreas do tanque, os perímetros interno, médio e externo (Davidson e Summerfelt, 2004). Uma régua foi utilizada para orientar o objeto tomando o cuidado para não interferir em na sua trajetória e em sua velocidade. As observações foram realizadas em triplicata e em relação a um ponto fixo. A velocidade da água foi calculada Segundo as formulas 1 e 2:

$$P = 2\pi r \quad (1)$$

Onde P é o perímetro do tanque e r é o raio. O perímetro externo foi calculado a partir do diâmetro médio que foi a soma do diâmetro superior (1080 mm) e inferior (950 mm), o perímetro médio foi calculado dividindo o perímetro externo por dois e o perímetro interno foi calculado com base no diâmetro da circunferência interna que foi 250 mm.

$$V = \frac{P}{t} \quad (2)$$

Onde t é o tempo decorrido para que o objeto desse uma volta completa ao redor do tanque tendo por referência uma marca na parede do tanque.

O efeito da velocidade da água no comportamento natatório dos camarões foi avaliado em um tanque tipo-central estocado com 43 camarões (60 m²) *Litopenaeus vannamei* com peso médio igual a 8g e abastecido com água marinha (35 ‰) nas vazões de 8, 12 e 16 L min⁻¹.

Medição da eficiência de remoção de sólidos

A eficácia da remoção de sólidos em termos de recuperação dos peletes foi avaliada em triplicata, após a estabilização da vazão e da velocidade da água, adicionando 20 peletes de ração comercial para camarões em um ponto que estava 150 mm atrás da queda d'água e após cinco minutos os peletes que restaram no fundo do tanque eram sifonados e contados, tomando cuidado para remover primeiro aqueles próximo à entrada da bacia central para evitar que saíssem após o tempo estabelecido. O número de peletes retidos no clarificador ou na coluna de decantação também foram contados e a eficiência de remoção dos sólidos foi calculada em porcentagem de peletes removidos através da bacia central (P_{rem}) e peletes

recuperados no clarificador ou na coluna de decantação (P_{rec}), de acordo com as formulas 3 e 4:

$$P_{rem} = \frac{20 - n_{rem}}{20} 100 \quad (3)$$

Onde n_{rem} é o número de peletes removidos através da bacia central.

$$P_{rec} = \frac{N_{rec}}{20} 100 \quad (4)$$

Onde n_{rec} é o número de peletes recuperados no clarificador ou na coluna de decantação.

Após cada medição era dada uma forte descarga de água no tanque para remover partículas que eventualmente ficaram presas na bacia central, no clarificador e na coluna de decantação. Em cada medição foram utilizados peletes novos e secos do mesmo produto. Os peletes de ração mediram 4,70 mm em comprimento por 2,45mm de diâmetro e tinham uma gravidade específica igual a 1,2.

Dois testes adicionais foram realizados no sistema de dreno duplo para avaliar efeito do ângulo do dreno secundário posicionando uma segunda saída no ângulo de 90° em relação à parede da bacia central para comparação com a saída no ângulo de 0° com a parede da bacia central.

No segundo teste, uma tubulação de abastecimento com três pontos de saída de água foi comparada ao abastecimento com o tubo com 32 mm de diâmetro. Foi adotada uma vazão de 12 Lmin⁻¹ e utilizado um dreno secundário com diâmetro igual a 12.7mm. O abastecimento com três pontos foi uma tentativa de aumentar o fluxo de massa para

incrementar a remoção dos sólidos e consistia em um tubo de 25 mm na horizontal e sobre a superfície do tanque de onde saíam três tubos verticais de 25 mm de diâmetro com registros de esfera que injetavam a água de abastecimento nas profundidades de 100 mm, 290 mm e 500 mm abaixo da superfície da água e distantes 70 mm, 220 mm e 410 mm da lateral do tanque.

Validação do sistema

Após os testes de hidráulica e remoção de sólidos 36 tanques Guelph-L foram fabricados para a realização de estudos de nutrição com camarões e os dados da etapa anterior foram validados em um estudo para a determinação do desempenho e da digestibilidade em juvenis do *Litopenaeus vannamei*.

Cálculos e estatísticas

Foram realizadas análises de variância (ANOVA) de duas e de três vias para testar as diferenças na velocidade da água e a eficiência na recuperação dos peletes em tanques com drenos duplos e drenos simples. Diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos em relação à eficiência de recuperação dos peletes foram avaliadas pelo teste de Tukey (Zar, 2000). As análises estatísticas foram realizadas com o software STATISTICA® 9.0 (StatSoft) e os efeitos considerados significativos quando $P < 0,05$.

3.3. Resultados e discussão

3.1 Hidráulica

A relação diâmetro:profundidade recomendada para evitar a má homogeneização da água em tanques com peixes varia de 3 a 5 (Timmons e Ebeling, 2007) e embora a relação diâmetro:profundidade do tanque empregado neste estudo tenha sido igual a 2,3:1 e menor

do que o recomendado, ainda pareceu adequada para os camarões pois não foram observados camarões concentrados em determinada área e nem dificuldades na remoção dos sólidos (Tabela 3.3). Outros estudos com camarões em sistemas intensivos de baixo volume apresentaram relações diâmetro:profundidade entre 1,06 e 1,16 (Freeman e Duerr, 1991), 3,54 (Barón et al., 2004), 1,42 (Vasagan et al., 2009) e 4,71 (Ray et al., 2010).

As taxas de renovação hidráulica (TRH) em todos os tanques nas vazões de 8, 12 e 16 L min⁻¹ corresponderam a 50, 33 e 25 minutos, respectivamente e foram inferiores aos 10 minutos recomendados para tanques de cultivo de peixe com volumes inferiores a 1 m³ (Timmons and Ebeling, 2007). Altas taxas de renovação hidráulica são desejáveis porque aumentam a renovação da água carreando mais oxigênio para dentro do tanque, no entanto velocidades da água muito elevadas podem dificultar a manutenção dos camarões no fundo do tanque em função do seu hábito bentônico, como discutido a seguir.

Nos tanques de dreno duplo, a vazão no dreno secundário aumentou com o seu diâmetro, mas não houve influência da vazão de abastecimento. Já a porcentagem do fluxo de água total saindo pelo dreno secundário diminuiu com o aumento da vazão de abastecimento e aumentou com o diâmetro do dreno de fundo.

A porcentagem do fluxo de água saindo através do dreno secundário variou de 7,3% no dreno com 6 mm de diâmetro na vazão de 16 L min⁻¹ a 100% no dreno com 19 mm de diâmetro nas vazões de 8 e 12 L min⁻¹ indicando que o diâmetro do dreno secundário estava superdimensionado para estas vazões e como resultado toda a água foi drenada através do dreno secundário (Tabela 3.3, Figura 3.3). A principal vantagem dos drenos duplos em sistemas de aquicultura em recirculação (SAR) é a remoção da maior fração dos sólidos suspensos concentrados em um caudal de água representando de 5 a 20% da drenagem total, reduzindo, portanto, o volume de água no tratamento posterior. Isto aumenta a sua eficiência pois a maior fração dos efluentes apresenta uma baixa concentração de sólidos e sai através do dreno lateral na parede dos tanques ou através do dreno central (Cripps and Bergheim, 2000; Davidson and Summerfelt, 2005, Timmons and Ebeling, 2007).

Tabela 3.3- Dados da hidráulica e parâmetros de operação dos sistemas com dreno duplo (tipo-Cornell e tipo-central) e dreno simples (Guelph-F e Guelph-L) avaliados em relação à velocidade da água e remoção de sólidos em estudos com camarões marinhos.

	Sistema																	
	Dreno duplo tipo-Cornell									Dreno duplo tipo-central								
Parâmetro / Vazão de abastecimento L_{min}^{-1}	8	12	16	8	12	16	8	12	16	8	12	16	8	12	16	8	12	16
Diâmetro do tanque (m)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Profundidade operacional	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Volume operacional (m^3)	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Relação diâmetro:profundidade do tanque	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3
Diâmetro da tubulação de abastecimento (mm)	32,0	32,0	32,0	32,0	32,0	32,0	32,0	32,0	32,0	32,0	32,0	32,0	32,0	32,0	32,0	32,0	32,0	32,0
Vazão de abastecimento (L_{min}^{-1})	8,0	12,0	16,0	8,0	12,0	16,0	8,0	12,0	16,0	8,0	12,0	16,0	8,0	12,0	16,0	8,0	12,0	16,0
Taxa de renovação hidráulica através do tanque (min)	50,0	33,3	25,0	50,0	33,3	25,0	50,0	33,3	25,0	50,0	33,3	25,0	50,0	33,3	25,0	50,0	33,3	25,0
Diâmetro do dreno primário ou dreno secundário (mm)	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0
Vazão no dreno primário ou dreno secundário (L_{min}^{-1})	7,4	11,5	15,5	2,8	5,9	10,5	0,0	0,0	2,3	7,2	11,6	15,2	1,9	6,9	10,3	0,0	0,0	4,0
Diâmetro do dreno secundário (mm)	6,0	6,0	6,0	12,7	12,7	12,7	19,1	19,1	19,1	6,0	6,0	6,0	12,7	12,7	12,7	19,1	19,1	19,1
Vazão no dreno secundário (L_{min}^{-1})	1,2	1,4	1,2	6,2	6,3	5,6	12,0	12,9	13,7	1,2	1,3	1,2	5,7	6,1	6,4	12,0	12,0	11,7
Porcentagem do fluxo total do tanque drenado através do dreno duplo ou dreno simples em % da vazão de saída total	14,1%	10,5%	7,3%	68,9%	51,9%	34,8%	100,0%	100,0%	85,8%	14,1%	9,8%	7,5%	75,2%	46,9%	38,4%	100,0%	100,0%	74,6%
Taxa de carga superficial descartada através do dreno secundário ou dreno simples por m^2 de área de fundo do tanque	1,7	1,9	1,7	8,7	8,9	7,9	16,9	18,2	19,3	1,7	1,8	1,7	8,1	8,6	9,0	16,9	16,9	16,5
Velocidade da água (ms^{-1})	0,3	0,4	0,5	0,3	0,4	0,5	0,3	0,4	0,5	0,3	0,4	0,5	0,3	0,4	0,5	0,3	0,4	0,5
Water velocity primary/single drain (ms^{-1})	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0
Water velocity secondary drain (ms^{-1})	0,7	0,8	0,7	0,8	0,8	0,7	0,7	0,8	0,8	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7	0,7

	Guelph-F						Guelph-L		
	8	12	16	8	12	16	8	12	16
Parâmetro / Vazão de abastecimento L_{min}^{-1}	8	12	16	8	12	16	8	12	16
Diâmetro do tanque (m)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Profundidade operacional	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Volume operacional (m^3)	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Relação diâmetro:profundidade do tanque	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3
Diâmetro da tubulação de abastecimento (mm)	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0
Taxa de renovação hidráulica através do tanque (min)	50,0	33,3	25,0	50,0	33,3	25,0	50,0	33,3	25,0
Diâmetro do dreno primário (mm)	25,0	25,0	25,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0
Vazão no dreno primário;/simples (L_{min}^{-1})	8,0	12,0	15,2	7,7	12,0	15,9	8,0	12,0	16,0
Diâmetro do dreno secundário (mm)	na	na	na	na	na	na	na	na	na
Vazão no dreno secundário (L_{min}^{-1})	na	na	na	na	na	na	na	na	na
Porcentagem do fluxo total do tanque drenado através do dreno duplo ou dreno simples em % da vazão de saída total	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
Taxa de carga superficial descartada através do dreno secundário ou dreno simples por m^2 de área de fundo	11,3	16,9	21,4	10,9	16,9	22,3	11,3	16,9	22,5

A taxa de carga superficial (L min^{-1} de vazão por m^2 de área de fundo do tanque) indica a capacidade hidráulica do sistema para a remoção de sólidos e neste estudo alcançou o menor valor no dreno secundário com 6 mm de diâmetro e aumentou com a vazão de abastecimento variando de $1.7 \text{ L min}^{-1} \text{ m}^2$ nos tanques de dreno duplo que tinham o dreno secundário nos menores diâmetros e vazão de entrada igual a 8 L min^{-1} a $22,5 \text{ L min}^{-1} \text{ m}^2$ nos tanques tipo Guelph com vazão de entrada de 16 L min^{-1} (Tabela 3.3). Para a melhor remoção dos sólidos em tanques de dreno duplo recomenda-se uma taxa de 5 a 6 L min^{-1} de vazão para cada m^2 de fundo do tanque (Davidson e Summerfelt, 2004). Neste estudo, esta taxa de carga superficial foi observada no tanque de dreno duplo com drenos secundários nos diâmetros de 12,7 e 19mm e no tanque de dreno simples, mas não no tanque de dreno duplo com dreno secundário com 6 mm de diâmetro, que pareceu sub-dimensionado e restringiu a vazão através do dreno secundário (Figura 3.3).

Figura 3.3- Vazão de abastecimento, taxa de carga superficial e % do fluxo no dreno primário ou secundário em diferentes tipos de tanque e diâmetros de dreno (média, n=3)

Velocidade da água

A velocidade da água em um tanque pode afetar a remoção dos sólidos, o bem estar dos camarões e o gasto energético. Em um sistema ideal a velocidade da água seria o suficiente para criar um efeito conhecido como decantação em xícara de chá que concentraria os sólidos no centro do fundo do tanque (Davidson e Summerfelt, 2004) sem causar fadiga nos animais, o que pode levar à redução dos níveis de proteína e

glicose na hemolinfa e do glicogênio no hepatopâncreas dos camarões e até perda de massa corporal (Zhang et al., 2006, Yu et al., 2010).

Os fatores que influem na velocidade da água em um tanque circular são o formato do tanque, número de pontos e orientação da entrada da água, vazão, desenho da estrutura de drenagem e a sua vazão em relação à vazão de drenagem total (Davidson e Summerfelt, 2004; Oca et al., 2007; Summerfelt et al., 2006; Timmons e Ebeling, 2007). Neste estudo, os perfis de velocidade da água foram medidos nos perímetros interno, médio e externo de diferentes tipos de tanque, vazões de abastecimento e diâmetros de dreno e segundo os resultados da ANOVA de três vias, nos tanques com dreno duplo o perfil da velocidade da água foi significativamente influenciado ($P < 0.001$) pelo sistema ou tipo de tanque e a velocidade da água nos três perímetros aumentou significativamente com o aumento da vazão de abastecimento e com o diâmetro do dreno secundário (Tabela 3.4).

Tabela 3.4. ANOVA de 3 vias para a velocidade da água nos tanques de dreno duplo tipo-Cornell e tipo-central de acordo com o sistema, vazão de abastecimento e diâmetro do dreno secundário.

Fonte de variação	GL	SQ	MS	F	P
Sistema	1	90,482	90,482	414,069	<0,001
Vazão de abastecimento	2	207,363	103,682	474,475	<0,001
Diâmetro do dreno secundário	2	19,523	9,762	44,672	<0,001
Sistema x vazão	2	12,514	6,257	28,635	<0,001
Sistema x diâmetro	2	11,523	5,762	26,367	<0,001
Vazão x diâmetro	4	25,997	6,499	29,742	<0,001
Sistema x vazão x diâmetro	4	20,139	5,035	23,04	<0,001
Resíduo	36	7,867	0,219		
Total	53	395,408	7,461		

De acordo com a ANOVA de duas vias, a velocidade da água nos sistemas tipo Guelph foi influenciada pela vazão de abastecimento apenas e não houve interação significativa entre o sistema e a vazão de abastecimento (Tabela 3.5), contrário aos sistemas com dreno duplo onde todos os fatores interagiram. O diâmetro do dreno

não foi incluído na análise porque o sistema Guelph-F foi avaliado com dois diâmetros de dreno e o sistema Guelph-L com apenas um.

Tabela 3.5- ANOVA de duas vias para velocidade da água nos sistemas Guelph-F e Guelph-L segundo o sistema e a vazão de abastecimento.

Fonte de variação	GL	SQ	MS	F	P
Sistema	1	0,534	0,534	2,027	0,180
Vazão de abastecimento	2	21,201	60,601	230,129	<0,001
Sistema x vazão	2	1,421	0,711	2,698	0,108
Resíduo	12	3,160	0,263		
Total	17	26,316	7,430		

Em tanques circulares a velocidade da água diminui à medida que se afasta da parede para o centro, o que permite que os peixes escolham a velocidade da água mais confortável (Timmons e Ebeling, 2007). Neste estudo, de forma similar ao que foi reportado por Davidson e Summerfelt (2004), os perfis de velocidade da água em cada um dos sistemas apresentou um aumento quase linear em distâncias radiais do centro do tanque e apresentou um perfil de velocidade desuniforme ao longo do tanque que pode ser atribuído à utilização de um tubo com a extremidade aberta no abastecimento de água (Timmons e Ebeling, 2007).

Em termos de bem estar e otimização do gasto energético dos camarões, o critério para a melhor velocidade da água foi aquela mais uniforme e com uma intensidade próxima a 6 cm s^{-1} , que é 75% da velocidade na qual se verificou a mobilização das reservas energéticas de *L. vannamei* em natação contra a corrente (Zhang et al., 2006), na metade do tanque onde a maioria dos camarões fica concentrado e uma maior velocidade no perímetro interno para facilitar a recuperação dos sólidos.

Este critério foi atendido pelos sistemas Guelph-F e Guelph-L com o dreno de 50 mm de diâmetro e uma vazão de abastecimento de 12 L min^{-1} e no sistema de dreno duplo tipo-central com um dreno secundário de 12,7 mm de diâmetro e vazão de abastecimento de 16 L min^{-1} e com o dreno secundário de 19,05 mm de diâmetro e vazão de abastecimento de 12 L min^{-1} (Figura 3.4). Nestes sistemas, a velocidade

da água no perímetro médio foi de aproximadamente 6 cm s^{-1} . Freeman e Duerr (1991) registraram velocidades entre 7 e 8 cm s^{-1} na circunferência de um tanque tipo microcosmo para camarões, o que é próximo aos valores reportados neste estudo para o sistema dreno duplo tipo-Cornell na vazão de abastecimento de 12 L min^{-1} .

Figura 3.4- Perfis de velocidade da água nos três perímetros dos quatro sistemas de tanque em função da vazão e diâmetro dos drenos primário e secundário. (valores expressos como média, $n=3$)

As velocidades da água reportadas em outros estudos têm sido usualmente superiores aos valores observados neste estudo e isto se deve ao fato de que nos demais estudos os peixes eram a espécie alvo e espécies que nadam ativamente, como o salmão e a truta, requerem uma certa velocidade da água para atingir um melhor desempenho. Em um tanque com 9,1m de diâmetro, experimentos onde vazão de saída do dreno secundário esteve compreendida entre 4% a 15% do total, registraram velocidades da água próximas a zero próximo ao centro do tanque e velocidades de quase 40 cm s^{-1} próximo à parede do tanque (Summerfelt et al., 2006). Davidson e Summerfelt (2004) determinaram que as velocidades rotacionais ótimas próximas à parede de tanques com 10 e 150 m^3 foram 15-20 e 30-37 cm s^{-1} . Labatut et al. (2007) registraram velocidades médias da água em *raceways* (tanques longos) de célula mista de cerca de 10,9 to 21,6 cm s^{-1} .

A velocidade da água no perímetro interno do sistema Guelph-L na vazão de abastecimento de 16 L min^{-1} foi superior à velocidade no perímetro médio do tanque nas quatro repetições. Este comportamento não ocorreu nos demais sistemas e indica

que existem possibilidades para melhorar o perfil de velocidade da água incrementando a velocidade no perímetro interno com o cuidado de evitar uma velocidade excessiva, o que causaria a re-suspensão e a quebra das partículas. No sistema de dreno duplo tipo-Cornell, a velocidade da água no perímetro interno foi igual a zero nas vazões de 8 e 12 L min⁻¹, com exceção da combinação vazão de abastecimento de 12 L min⁻¹ e diâmetro do dreno secundário de 19mm, o que sugere que o sistema de dreno duplo tipo-Cornell é mais indicado para vazões de abastecimento maiores e portanto uma menor taxa de renovação hidráulica.

Este comportamento também foi observado em outros estudos que apontam o sistema de dreno duplo tipo-central onde os dois drenos, primário e secundário, estão posicionados no centro do tanque como uma opção mais adequada para concentrar sólidos em tanques com uma taxa de renovação hidráulica superior a 1 hora (Davidson e Summerfelt, 2004).

A posição do dreno primário do tanque tipo-Cornell na parede do tanque também parece não favorecer um perfil de velocidade da água uniforme ao longo do tanque e, portanto se torna restrito em cultivos com camarões que requerem um transporte eficiente dos sólidos em velocidades da água moderadas.

Na vazão de 8 L min⁻¹ os camarões apresentaram baixa atividade e a grande maioria permaneceu em repouso no fundo do tanque, os cordões fecais foram removidos razoavelmente pela corrente e os camarões capturaram os peletes de alimento com facilidade. Na vazão de 12 L min⁻¹ mais camarões demonstraram um comportamento ativo e tiveram dificuldades em capturar os peletes de ração e a remoção dos cordões fecais e peletes não consumidos foi mais eficiente. Na vazão de 16 L min⁻¹ a grande maioria dos camarões nadavam ativamente contra a corrente e ao longo da parede do tanque, poucos indivíduos permaneciam no fundo e a captura dos peletes de ração foi dificultada. Estas observações reforçam a importância da determinação da velocidade ideal da água nos estudos de nutrição com camarões tendo como requisito básico um fluxo suficiente para a descarga das fezes com o mínimo de perdas, a manutenção de um ambiente confortável e sem estresse para os camarões, baixo gasto energético e promover o melhor crescimento com um menor fator de conversão alimentar assegurando desta forma resultados mais próximos às condições encontradas na prática (Tacon, 1996).

Remoção dos sólidos

A adoção de um SRA implica na manutenção de um ambiente adequado o que se baseia na remoção dos sólidos suspensos, remoção/conversão da amônia e aeração/oxigenação (Twarowska et al. 1997). As principais fontes de sólidos em SRA são as fezes, os bioflocos e o alimento não consumido e a remoção destes deve ser feita o mais rápido possível para evitar a quebra das partículas uma vez que as partículas maiores e mais densas vão decantar mais rápido do que as partículas menores. Este processo de decantação depende da vazão de abastecimento, gravidade específica (densidade) das partículas, o tamanho das partículas a serem removidas e o desenho do sistema (Cripps e Berghein, 2000, Johnson e Chen, 2006; Timmons et al., 1998). Quanto maiores as partículas, mais fácil a sua recuperação e a engenharia do sistema pode afetar a distribuição de tamanhos das partículas em função da densidade de estocagem, área de superfície de contato dos peixes, distância da entrada de água, alimentação, aeração, tempo e processo de tratamento (Brinker e Rösch, 2005).

Para estudos de digestibilidade com camarões, uma alta taxa de recuperação dos sólidos é necessária e o sistema deve proporcionar o transporte da maior fração possível de sólidos para a bacia central e desta para o clarificador ou coluna de decantação na menor distância possível, na menor vazão e no menor espaço de tempo sem causar rupturas nas partículas.

Os resultados na análise da eficiência da remoção dos sólidos a partir do controle do número de peletes de ração recuperados no clarificador e na coluna de decantação mostraram que nos tanques com dreno duplo o efeito da vazão de abastecimento e do diâmetro do dreno secundário na recuperação dos peletes foi significativo e que existe uma interação entre estes fatores, o que não foi observado em relação ao sistema (Tabela 3.6).

Tabela 3.6- ANOVA de três vias para a recuperação dos peletes em tanques de dreno duplo de acordo com o sistema, vazão de abastecimento e diâmetro do dreno secundário.

Fonte de variação	GL	SQ	MS	F	P
Sistema	1	2,241	2,241	0,587	0,448
Vazão de abastecimento	2	484,481	242,241	63,5	<0,001
Diâmetro do dreno secundário	2	438,037	219,019	57,413	<0,001
Sistema x vazão	2	10,704	5,352	1,403	0,259
Sistema x diâmetro	2	11,148	5,574	1,461	0,245
Vazão x diâmetro	4	210,407	52,602	13,789	<0,001
Sistema x vazão x diâmetro	4	23,074	5,769	1,512	0,219
Resíduo	36	137,333	3,815		
Total	53	1317,426	24,857		

Nos tanques de dreno simples a eficiência da recuperação dos sólidos foi significativamente influenciada pelo sistema e também pela vazão de abastecimento que nos níveis mais altos melhorou a eficiência da recuperação dos sólidos (Tabela 3.7, Figura 3.5).

Tabela 3.7. ANOVA de duas vias para a recuperação de peletes nos tanques de dreno simples em função do sistema e vazão de abastecimento.

Fonte de variação	GL	SQ	MS	F	P
Sistema	1	98,000	98,000	60,828	<0,001
Vazão de entrada	2	940,333	470,167	291,828	<0,001
Sistema x vazão	2	44,333	22,167	13,759	<0,001
Resíduo	12	19,333	1,611		
Total	17	102,000	64,824		

As maiores vazões de abastecimento (12 e 16 L min⁻¹) corresponderam às maiores taxas de recuperação de sólidos em todos os sistemas e na comparação entre os sistemas, o Guelph-L manejado nas maiores vazões de abastecimento foi o mais eficiente, especialmente na vazão de 16 L min⁻¹ onde 100% dos peletes foram recuperados em menos de três minutos (Figura 3.5). Nos tanques de dreno duplo, a menor vazão de abastecimento resultou em uma baixa taxa de recuperação de peletes

e alguns ficaram presos em zonas quiescentes no fundo do tanque (Figura 3.5, Tabela 3.8).

Figura 3.5- Porcentagem de peletes removidos pela bacia central e recuperados no clarificador ou colunas de decantação de acordo com o sistema, vazão de abastecimento e diâmetro do dreno secundário ou único (valores expressos como média e barra de erros, n=3)

No tanque de dreno duplo tipo-central, a combinação de uma alta vazão de abastecimento com um dreno secundário de maior diâmetro e no tanque tipo Guelph uma maior vazão de abastecimento resultaram em uma maior eficiência para a recuperação de sólidos do que as demais combinações de sistema, vazões e diâmetros de dreno, contudo, em termos de velocidade ideal para os camarões o tanque Guelph-L na vazão de 12 L min⁻¹ proporcionou as melhores condições para o bem estar dos camarões e para a remoção eficiente dos sólidos que atingiu 47% de recuperação após 5 minutos ou a recuperação de 1,88 peletes por minuto (Tabela 3.8).

Tabela 3.8- Número de peletes recuperados nos diferentes sistemas, diâmetros de dreno e vazões de abastecimento (valores expressos como média $\pm$ desvio padrão,, n=3).

Sistema	Diâmetro do dreno secundário ou primário (mm)	Vazão de abastecimento L min ⁻¹		
		8	12	16
Tipo-Cornell	6,0	0,0 $\pm$ 0,0 ^a	0,0 $\pm$ 0,0 ^a	0,3 $\pm$ 0,6 ^{ab}
	12,7	0,0 $\pm$ 0,0 ^a	0,3 $\pm$ 0,6 ^{ab}	6,3 $\pm$ 3,5 ^{cd}
	19,0	1,3 $\pm$ 2,3 ^{ad}	7,7 $\pm$ 2,5 ^c	13,3 $\pm$ 3,8 ^e
Tipo-central	6,0	0,0 $\pm$ 0,0 ^a	1,0 $\pm$ 1,7 ^{ac}	4,3 $\pm$ 0,6 ^{ac}
	12,7	0,0 $\pm$ 0,0 ^a	0,7 $\pm$ 1,2 ^{af}	4,7 $\pm$ 1,5 ^{ac}
	19,0	0,7 $\pm$ 1,2 ^{af}	5,7 $\pm$ 3,5 ^{bcdg}	16,0 $\pm$ 3,0 ^{eh}
Guelph-F	25,0	0,0 $\pm$ 0,0 ^a	2,3 $\pm$ 2,1 ^{ac}	15,3 $\pm$ 1,5 ^{ei}
	50,0	0,0 $\pm$ 0,0 ^a	1,0 $\pm$ 1,7 ^{ac}	15,0 $\pm$ 2,0 ^{ei}
Guelph-L	50,0	0,7 $\pm$ 1,2 ^a	9,3 $\pm$ 1,2 ^{ceg}	20,0 $\pm$ 0,0 ^{hi}

OBS.: Letras diferentes na mesma coluna indicam diferenças significativas (P<0,05).

O teste adicional comparando a posição do dreno secundário tangenciando a parede da bacia central com uma segunda posição no ângulo de 90°C mostrou que a primeira posição foi mais eficiente uma vez que após os cinco minutos concentrou 30% dos peletes na bacia central contra 17% do dreno secundário posicionado a 90°, mas em relação aos peletes recuperados ambos registraram um percentual de 3%.

O sistema de abastecimento com três pontos melhorou a eficiência da recuperação de sólidos do sistema dreno duplo tipo-central que aumentou de 3%, no abastecimento com a tubulação de 32 mm e extremidade aberta, para 22% no sistema de abastecimento com três pontos. A distribuição dos três pontos de entrada de água teve como princípio criar três estágios para a remoção dos sólidos onde o primeiro estágio era o ponto mais próximo à lateral do tanque e mais distante do fundo e tinha o papel de aumentar a velocidade da água no perímetro externo; o segundo estágio era o ponto que injetava água no meio do tanque na metade da coluna d'água e o seu papel era direcionar os sólidos que estavam no meio do tanque para o centro e por fim o terceiro estágio era o ponto no centro do tanque que injetava água na entrada da bacia central e empurrava os peletes para o seu interior e daí para o clarificador.

Estudos anteriores sobre a remoção de sólidos em SRA enfatizaram o tratamento da água e mensuraram o desempenho dos sistemas em termos de sólidos em suspensão (SS), sólidos totais (ST) ou sólidos totais dissolvidos (STD), com exceção do estudo realizado por Davidson e Summerfelt (2004) que avaliaram a eficiência da remoção de sólidos em termos de recuperação de peletes de ração e por Veerapen et al., (2005) que utilizaram partículas de plástico com características similares aos sólidos. Muito embora os dados do presente estudo não estejam padronizados com a maioria das pesquisas sobre tratamento de sólidos em SRA as informações obtidas a partir da recuperação de peletes ajudaram a conhecer e a dimensionar a eficiência de diferentes sistemas na remoção de sólidos.

A eficiência dos sistemas de remoção de sólidos apresentam resultados variados de acordo com a sua aplicação. Em um estudo com tilápias estocadas em quatro tanques de 20m³ equipados com bacias centrais ou drenos de fundo (ECO-TRAP) e coletores de sólidos a média de SS removidos pelo sistema foi igual a 80% (Twarowska et al., 1997). Em estudos com trutas, um tanque com dreno duplo tipo-Cornell com 10m³ de volume concentrou e removeu aproximadamente 79% do STD produzido diariamente em apenas 12–18% de todo o efluente (Davidson e Summerfelt, 2004). Um SRA de maior porte compreendendo tanques com 190 m³ equipados com clarificadores removeram 63% do STD (Couturier et al., 2009). A eficiência de dois coletores de sólidos, um clarificador e um decantador de fluxo radial, instalados em um tanque de 150m³ na remoção dos STD foram respectivamente 37,1 e 77,9% (Davidson e Summerfelt, 2005). A eficiência do coletor de sólidos em um sistema composto por dois tanques auto-limpantes de baixo volume, 2m³, em um sistema de tratamento esteve na faixa 42,2 a 72,8% (Franco-Nava, 2004), resultado ligeiramente inferior ao obtido através do uso de clarificadores em um tanque de 1,13 m³ em um SRA que removeu 82% dos STD (Johnson e Chen, 2006). No presente estudo, diferentes clarificadores e configurações resultaram em desempenhos distintos, assim como foi observado no estudo com partículas de plástico substituindo os sólidos em suspensão e que obteve taxas de recuperação de sólidos entre 1 e 90% dos STD (Veerapen et al., 2005).

Neste estudo a eficiência dos coletores de sólidos aumentou com a vazão de abastecimento e provavelmente aumentaria ainda mais se vazões acima de 16 L min⁻¹ fossem testadas, contudo a velocidade da água seria excessivamente alta e prejudicaria o

bem estar dos camarões, que toleram velocidades bem inferiores à aquelas utilizadas em SRA com peixes.

Apesar do clarificador utilizado neste estudo ter se mostrado eficiente para a remoção dos sólidos em tanque intensivo, para o propósito desta pesquisa a coluna de decantação mostrou ser mais apropriada porque além de ser mais eficiente na recuperação dos sólidos eliminou o fluxo horizontal e a distância percorrida pelas partículas da bacia central ao tubo de coleta reduzindo, portanto, a ação da lixiviação. Estes resultados indicam que a coluna de decantação é mais indicada para tanques com vazões menores, até mesmo porque a sua instalação em um tanque de grande volume seria praticamente inviável e para estes casos um clarificador seria a solução mais indicada pois o seu uso independe da escala, suporta vazões superiores e as operações de limpeza e manutenção são simples.

Nos últimos três anos, o uso de clarificadores têm sido adotados em sistemas super intensivos para o cultivo de camarões marinhos e começam a ser aplicados em sistemas de bioflocos para reduzir o excesso de sólidos em suspensão (Vasagam et al., 2009, Ray et al., 2010) e em um estudo recente uma redução de 59% nos níveis de SS foi obtida em tanques de 6m³ equipados com decantadores (Ray et al., 2010). O uso deste sistema promete ser uma ferramenta importante para a concentração dos flocos microbianos, especialmente considerando o seu papel promissor como um ingrediente com perfil nutricional razoável e baixo custo com potencial para a nutrição de camarões marinhos (Tacon et al., 2002; Kuhn et al., 2009).

Considerando o número de peletes recuperados após 5 minutos (Tabela 3.8), a remoção de todos os peletes no tanque tipo-Cornell com um dreno secundário de 19mm e no tanque tipo Guelph-L ambos na vazão 16 L min⁻¹ levou 7,5 e 5 minutos, respectivamente e 10,7 minutos para remover todos os peletes no tanque tipo Guelph-L abastecido na vazão de 12 L min⁻¹, que combinou os melhores resultados em termos de recuperação de peletes e velocidade da água. Estes tempos são superiores aos reportados por Davidson e Summerfelt (2004) que em tanques de 10m³ e 150m³ verificaram uma remoção total dos sólidos após 1 – 2 minutos e 3 - 6 minutos após a sua introdução nos tanques, respectivamente, e se deve ao fato de que aqueles autores utilizaram um sistema de injeção de água que proporcionava velocidades da água superiores às

verificadas neste estudo e que são mais aplicadas às espécies de peixes que nadam ativamente, como a truta arco-íris.

Validação do sistema

Os ensaios foram realizados em 36 tanques experimentais similares ao modelo avaliado nos testes de hidráulica e foram observadas algumas diferenças na eficiência da remoção de sólidos entre os tanques e uma comparação nas vazões de abastecimento revelou que nas vazões acima de 4 L min^{-1} a maioria das fezes acompanhava o fluxo de água e não decantava conforme esperado. Nesta vazão a velocidade da água calculada foi igual a $3,4 \text{ cms}^{-1}$ e a velocidade de decantação dos peletes foi $8,9 \text{ cms}^{-1}$, ou 2,6 vezes mais rápida do que a velocidade da água calculada e que resultou na melhor recuperação dos peletes.

A velocidade da água igual a $3,4 \text{ cms}^{-1}$ está na faixa da velocidade de decantação das fezes observada em peixes (Timmons e Ebeling, 2007) sendo superior ao valor de $1,7 \text{ cms}^{-1}$ (Wong e Piedrahita (2000) e na faixa de $0,16$ to $2,3 \text{ cms}^{-1}$ para a decantação de partículas grandes e pequenas, respectivamente (True et al., 2004) enquanto que partículas mais finas e densas devem decantar em velocidades de 0.046 cms^{-1} (Johnson e Chen, 2006).

Também foi observado que na vazão de abastecimento igual a 4 L min^{-1} formava-se uma camada de partículas na bacia central, o que diminuía a eficiência de remoção dos sólidos que ficavam presos na superfície rugosa que se formava. Este problema foi resolvido com a escovação do dreno central em dias alternados o que facilitou a decantação dos sólidos e aumentou a quantidade de amostras.

3.4. Referências

BARÓN, B.S., BÜCKLE, L.F.R., HERNANDÉZ, M.R. Intensive culture of *Litopenaeus vannamei* Boone 1931, in a recirculating seawater system. Ciencias marinas, v. 30, p. 179-188, 2004.

- BRINKER, A., RÖSCH, R. Factors determining the size of suspended solids in a flow-through fish farm. *Aquacult. Eng.*, v. 33, p. 1–19, 2005.
- CHO, C.Y., SLINGER, S.J. Apparent digestibility measurement in feedstuffs for rainbow trout. In: Halver, J.E., Tiew, K. Eds., *Finfish Nutrition and Fishfeed Technology*, Vol. II. Heenemann, Berlin, p. 239–247, 1979.
- COUTURIER, M., TROFIMENCOFF, M., BUIL, J.U., CONROY, J. Solids removal at a recirculating salmon-smolt farm. *Aquacult. Eng.*, v. 41, p. 71–77, 2009.
- CRIPPS, S.J., BERGHEIN, A. Review: Solids management and removal for intensive land-based aquaculture production systems. *Aquacult. Eng.*, v. 22, p. 33–56, 2000.
- CRUZ-SUÁREZ, L.E., NIETO-LÓPEZ, M., GUAJARDO-BARBOSA, C., TAPIA-SALAZAR, M., SCHOLZ, U., RICQUE-MARIE, D. Replacement of fish meal with poultry by-product meal in practical diets for *Litopenaeus vannamei*, and digestibility of the tested ingredients and diets. *Aquaculture*, v. 272, p. 466–476, 2007.
- D'ABRAMO, L.R., CASTELL, J.D. RESEARCH METHODOLOGY. IN: CRUSTACEAN NUTRITION. D'ABRAMO, L.R., CONKLIN, D.E., AKYIAMA, D.M. *Advances in World Aquaculture Vol. 6*. The World Aquaculture Society, 1997.
- DAVIDSON, J., SUMMERFELT, S.T. Solids flushing, mixing, and water velocity profiles within large (10 and 150 m³) circular 'Cornell-type' dual-drain tanks. *Aquacult. Eng.*, v. 32, p. 245–271, 2004.
- DAVIDSON, J., SUMMERFELT, S.T. Solids removal from a coldwater recirculating system – comparison of a swirl separator and a radial-flow settler. *Aquaculture*, v. 33, p. 47–61, 2005.
- FORSTER, I.P., DOMINY, W., OBALDO, L. TACON, A.G.J. Rendered meat and bone meals as ingredients of diets for shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931). *Aquaculture*, v. 219, p. 655–670, 2003.
- FRANCO-NAVA, M.A., BLANCHETON, J.P., DEVILLERA, G., CHARRIERA, A., LE-GALL, J.Y. Effect of fish size and hydraulic regime on particulate organic matter dynamics in a recirculating aquaculture system: elemental carbon and nitrogen approach. *Aquaculture*, v. 239, p. 179–198, 2004.

- FREEMAN, D.W., DUERR, E.O. Design And Use Of Outdoor Microcosm Laboratory Tanks For The Evaluation Of Shrimp Diets. *Aquacult. Eng.*, v. 10, p. 89-97, 1991.
- GLENCROSS, B.D., SMITH, D.M., THOMAS, M.R., WILLIAMS, K.C. The effects of dietary lipid amount and fatty-acid composition on the digestibility of lipids by the prawn, *Penaeus monodon*. *Aquaculture*, v. 205, p. 157–169, 2002.
- GLENCROSS, B.D., BOOTH, M., ALLAN, G.L. A feed is only as good as its ingredients – a review of ingredient evaluation strategies for aquaculture feeds. *Aquac. Nutr.* v.13, p. 17–34, 2007.
- JOHNSON, W., CHEN, S. Performance evaluation of radial/vertical flow clarification applied to recirculation aquaculture systems. *Aquacult. Eng.*, v. 34, p. 47-55, 2006.
- KUHN, D.D., BOARDMAN, G.D., LAWRENCE, A.L., MARSH, L., FLICK, G.J. Microbial floc meal as a replacement ingredient for fish meal and soybean protein in shrimp feed. *Aquaculture*, v. 296, p. 51–57, 2009.
- LABATUT, R.A., OLIVARES, J.F. Culture of turbot (*Scophthalmus maximus*) juveniles using shallow raceways tanks and recirculation. *Aquacultural Engineering*, V. 32, p. 113–127, 2004.
- LABATUT, R.A., EBELING, J.M., BHASKARAN, R., TIMMONS, M.B. Effects of inlet and outlet flow characteristics on mixed-cell raceway (MCR) hydrodynamics. *Aquacultural Engineering*, v. 37, p.158–170, 2007.
- LEE, S.-M. Apparent digestibility coefficients of various feed ingredients for juvenile and grower rockfish (*Sebastes schlegeli*). *Aquaculture*, v. 207, p. 79– 95, 2002.
- OCA, J., MASALÓ, I. Design criteria for rotating flow cells in rectangular aquaculture tanks. *Aquacultural Engineering*, v. 36, p.36–44, 2007.
- RAY, A.J., LEWIS, B.L., BROWDY, C.L., LEFFLER, J.W. Suspended solids removal to improve shrimp (*Litopenaeus vannamei*) production and an evaluation of a plant-based feed in minimal-exchange, superintensive culture systems. *Aquaculture*, v. 299, p. 89–98, 2010.

- SMITH, D.M., TABRETT, S.J., GLENCROSS, B.D., IRVIN, S.J., BARCLAY, M.C. Digestibility of lupin kernel meals in feeds for the black tiger shrimp, *Penaeus monodon*. Aquaculture, v. 264, p. 353 – 362, 2007.
- SMITH, D.M., TABRETT, S.J. Accurate measurement of in vivo digestibility of shrimp feeds. Aquaculture, v. 232, p. 563–580, 2004.
- SUMMERFELT, S.T., TIMMONS, M.B. Hydrodynamics in the ‘Cornell-Type’ Dual-Drain Tank. In: Proceedings of the Third International Conference of Recirculating Aquaculture, July 20-22, 2000, Roanoke, Virginia, p. 160-166. 2000.
- SUMMERFELT, S.T., SHARRER, M., MARSHALL, C., OBALDO, L. Controlling Water Velocity Within Large “Cornell Type” dual-drain culture tanks. In: 6th International Recirculating Aquaculture Conference, July 20-23, Roanoke, Virginia. pp. 382-393, 2006.
- TACON, A.G.J. Nutritional studies in crustaceans and the problems of applying research findings to practical farming systems. Aquacult. Nutr., v. 1, p. 165-174, 1996.
- TACON, A.G.J., CODY, J.J., CONQUEST, L.D., DIVAKARAN, S., FORSTER, I.P., DECAMP, O.E. 2002. Effect of culture system on the nutrition and growth performance of Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone) fed different diets. Aquaculture Nutrition, v. 8, p. 121-137, 2002.
- TIBBETTS, S.M., MILLEY, J.E., LALL, S.P. Apparent protein and energy digestibility of common and alternative feed ingredients by Atlantic cod, *Gadus morhua* (Linnaeus, 1758). Aquaculture, v. 261, p. 1314–132, 2006.
- TIMMONS, M.B., SUMMERFELT, S.T. Review of circular tank technology and management. Aquacult. Eng., v.18, p. 51-69, 1998.
- TIMONS, M.B., EBELING, J.M. Recirculating Aquaculture. Cayuga Aqua Ventures, Ithaca, NY. 975p, 2007.
- TRUE, B., JOHNSON, W., CHEN, S. Reducing phosphorus discharge from flow-through aquaculture I: facility and effluent characterization. Aquacultural Engineering, v. 32, p. 129–144, 2004.

- TSENG, K.F., SU, H.M., SU, M.S. Culture of *Penaeus monodon* in a recirculating system Aquacult. Eng., v. 17, p. 138–147, 1998.
- TWAROWSKA, J.G., WESTERMAN, P.W., LOSORDO, T.M. Water treatment and waste characterization evaluation of an intensive recirculating fish production system. Aquacult. Eng., v. 16, p. 133–147, 1997.
- VASAGAM, K.P.K., SURESH, A.V., CHAMBERLAIN, G.W. Growth performance of blue shrimp, *Litopenaeus stylirostris* in self-cleaning microcosm tanks. Aquaculture, v. 290, p. 236–242, 2009.
- VEERAPEN, J.P., LOWRY, B.J., COLTURIER, M.F. Design methodology for the swirl separator. Aquacultural Engineering, v. 33, p. 21–45, 2005.
- VINCI, B.J., SUMMERFELT, S.T., CREASER, D.A., GILLETED, K. Design of partial water reuse systems at White River NFH for the production of Atlantic salmon smolt for restoration stocking. Aquacult. Eng., v. 32, p. 225–243, 2004.
- WONG, K.B., PIEDRAHITA, R.H. Settling velocity characterization of aquacultural solids. Aquacultural Engineering, v. 21, p. 233–246, 2000.
- YU, X., ZHANG, X., DUAN, Y., ZHANG, P., MIAO, Z. Effects of temperature, salinity, body length, and starvation on the critical swimming speed of whiteleg shrimp, *Litopenaeus vannamei*. Comparative Biochemistry and Physiology, Part A, v. 157, p. 392–397, 2010.
- ZHANG, P., ZHANG, X., LI, J. Guoqiang Huang Swimming ability and physiological response to swimming fatigue in whiteleg shrimp, *Litopenaeus vannamei*. Comp. Biochem. Physiol. Part A, v. 145, p. 26–32, 2006.
- ZAR. J.H. Bioestatistical Analysis. 3.ed. New Jersey, Prentice-Hall, 2000. 659p.

Capítulo 4. Avaliação da composição de ingredientes selecionados para a substituição da farinha de peixe em dietas para juvenis de *Litopenaeus vannamei*

4.1. Introdução

As proteínas são nutrientes indispensáveis para a estrutura e funções vitais de todos os organismos vivos, incluindo os camarões, e são utilizados de forma contínua para o crescimento e a recuperação dos tecidos, o que implica na necessidade de um suprimento regular de proteínas ou seus componentes, os aminoácidos (Shiau, 1998). Após a sua ingestão, a proteína deve ser digerida pelas enzimas digestivas para liberar os aminoácidos livres, dipeptídeos e tripeptídeos que serão absorvidos pelas células da mucosa onde ocorre a absorção dos pequenos peptídeos e em seguida os aminoácidos livres são distribuídos para os diversos órgãos e tecidos onde serão sintetizados como nova proteína. (NRC, 1993). Para isto os animais precisam receber os aminoácidos nos níveis ideais para a síntese protéica o que significa que a verdadeira exigência dos animais não é de proteína e sim dos aminoácidos que a compõem (Akyiama, 1992).

A farinha de peixe como ingrediente para rações de organismos aquáticos

A farinha de peixe possui um perfil de aminoácidos mais próximo das necessidades dos peixes e camarões cultivados do que a grande maioria dos ingredientes e ainda possui elevada atratividade e palatabilidade e contém compostos chave para o crescimento motivos pela qual é considerada uma das melhores fontes de proteína para peixes e camarões e de certa forma, todas as demais fontes de proteína possuem alguma característica que as tornam inferiores à farinha de peixe, seja um perfil de aminoácidos inferior, seja a presença de fatores anti-nutricionais ou devido à falta de algum nutriente ou constituinte (Hardy, 2006). Em função do seu valor nutricional, a farinha de peixe é um dos principais ingredientes utilizados pela aquicultura que em 2006 consumiu aproximadamente 68% de toda a farinha de peixe produzida no mundo e deste total 81% foram utilizados para a alimentação dos camarões marinhos, peixes marinhos, salmões e carpas chinesas (Tacon e Metian, 2009).

Em 2007, a demanda estimada de farinha de peixe no Brasil foi de 103.179 toneladas (Sindirações, 2011) e assim como ocorre a nível mundial, a aquicultura tem sido a principal consumidora da farinha de peixe importada e produzida no Brasil e com a tendência de queda nas importações de farinha de peixe, o produto nacional tem sido cada vez mais utilizado em função da sua disponibilidade e baixo custo. Estima-se que a produção de farinha de peixe nacional seja de aproximadamente 25 mil toneladas e deste total cerca de 4 mil toneladas foram exportados em 2006 (Carvalho e Lemos, 2009). Os maiores consumidores de farinha de peixe no Brasil são o camarão e a tilápia cultivada e o produto é incluído nas rações comerciais para camarões marinhos em níveis que variam de 5% a 25% (15% em média) e nas rações comerciais para tilápia no nível de 2,5% (Tacon e Metian, 2009). A dependência da aquicultura pela farinha de peixe tem provocado muitas discussões sobre os seus efeitos nos estoques pesqueiros e alguns autores consideram que o balanço entre o pescado capturado e o pescado disponível para a alimentação humana depende das práticas adotadas pela aquicultura no futuro (Naylor et al., 2000).

A utilização dos estoques pesqueiros para a fabricação de rações além de contribuir para o esgotamento dos estoques pesqueiros pode restringir o acesso pela população a um alimento de alto valor nutricional, o que faz com que o uso da farinha e do óleo de peixe na nutrição animal recaia sobre uma questão ética, tanto do ponto de vista ambiental como do ponto de vista social (Naylor et al., 2000). No modelo de produção atual, algumas das principais espécies aquáticas cultivadas consomem mais recursos pesqueiros do que produzem o que os torna consumidores líquidos de pescado. Entre estas espécies estão o salmão, peixes e camarões marinhos que em 2006 consumiram respectivamente 4,9; 2,2 e 1,4 unidades de pescado forrageiro na forma de farinha e óleo de peixe para cada unidade produzida (Tacon e Metian, 2009).

Além da questão social e ambiental, o uso da farinha e do óleo de peixe representa um custo cada vez mais alto para a aquicultura à medida que o crescimento da demanda não tem sido acompanhado pela oferta e como resultado o preço da farinha de peixe saltou de US\$694,00 em 2005 (Tacon e Metian, 2009) para US\$ 1.500,00 em 2011 (Bacon, 2011). Neste sentido, as perspectivas de redução da disponibilidade da farinha de peixe, o que consequentemente elevará o seu preço a patamares inviáveis, implica na necessidade de se buscar outras fontes de proteína que permitam complementar ou substituir a farinha de peixe nas dietas para camarões marinhos.

Em função deste cenário, diversos estudos sobre a utilização de ingredientes alternativos em substituição à farinha e ao óleo de peixe têm sido realizados em todo o mundo (Tacon e Akiyama, 1997; Hardy e Tacon, 2002; Gatlin et al., 2007; Tacon et al. 2010) e cada vez mais estes ingredientes deverão ser a principal fonte de proteína nas rações para a aquicultura enquanto que a farinha de peixe deverá ser mais utilizada para equilibrar o perfil de aminoácidos, suprir a falta de alguns constituintes importantes para o suporte ao crescimento dos animais cultivados e melhorar a atratividade e a palatabilidade das dietas (Hardy, 2000, Hardy e Tacon, 2002). Para isto é importante que os ingredientes utilizados nas rações sejam bem caracterizados em relação ao processamento, composição e apresentação permitindo a obtenção de dados mais precisos e a comparação entre resultados de pesquisas distintas (Tacon, 1996).

Alternativas para a farinha de peixe

O uso de proteínas alternativas deve preencher alguns requisitos para serem utilizadas na fabricação de rações comerciais, tais como: preço competitivo com o da farinha de peixe (em termos de custo por unidade de proteína e desempenho), baixo potencial poluidor (pelo aporte de nitrogênio ou fósforo indigerível), ser de fato comercializada em quantidade e regularidade adequadas para a indústria, fácil de transportar, manusear e processar na forma de ração (Hardy e Tacon, 2002). Além destes aspectos algumas características nutricionais são também desejáveis tais como baixos níveis de fibra e carboidratos, especialmente carboidratos não solúveis e antinutrientes, alto teor de proteína, perfil de aminoácidos favorável, alta digestibilidade e palatabilidade aceitável (Gatlin et al., 2007).

As fontes alternativas de proteína utilizadas pela indústria têm sido os subprodutos da pesca, alimentos protéicos obtidos através do processamento de grãos, sementes e leguminosas e subprodutos do abate de animais terrestres. Entre as proteínas alternativas que ainda não chegaram ao mercado se destacam proteínas unicelulares e proteínas de invertebrados (Hardy, 2006). Uma análise do impacto do preço das commodities utilizadas na fabricação de ração para animais na produção de salmão, bovinos, frangos, suínos, *Pangasius* (bagre) e camarão marinho mostrou que este último sofre impacto moderado em termos de preço da ração, custo de produção e na oferta do produto, muito embora o impacto no seu preço de mercado tenha sido baixo. Os suínos

e o *Pangasius* foram os mais afetados pela alta das commodities enquanto que o salmão, as aves e os bovinos foram os menos afetados e, especificamente no caso do salmão este resultado foi atribuído ao fato de que o preço da farinha de peixe havia apresentado um pequeno declínio na época do estudo (Rabobank, 2008). Em termos de participação da ração nos custos de produção, o camarão cultivado na China foi o produto que apresentou a menor participação da ração nos custos, cerca de 50%, depois dos bovinos, cerca de 40%. O *Pangasius*, seguido pelos suínos e pelo frango foram os produtos com a maior participação da ração nos custos (Rabobank, 2008).

Ingredientes para ração animal disponíveis no Brasil

O Brasil é um grande produtor de alimentos de origem animal, especialmente aves, bovinos, suínos e vegetal, tais como a soja, o milho entre outras culturas agrícolas. O uso de subprodutos resultantes do processamento destes alimentos ou produtos de qualidade inferior oferece uma alternativa importante para a substituição da farinha de peixe nas dietas de camarão marinho. Alguns dos principais ingredientes protéicos disponíveis no Brasil e que já são utilizados em dietas para camarões marinhos, mesmo que de forma experimental em alguns casos, mas que possuem potencial para a substituição da farinha de peixe importada são o farelo de soja, a farinha de sangue, a farinha de peixe nacional, a farinha de vísceras de frango, a farinha de carne e ossos e a farinha de penas hidrolisadas. O concentrado protéico de soja e o glúten de milho parecem ser alternativas mais recentes e o seu uso tende a crescer. Todos estes ingredientes são produzidos no Brasil, o que garante uma oferta de matéria-prima regular, um requisito importante para a sua inclusão em rações comerciais.

Na avaliação de ingredientes para a formulação de dietas para animais é importante conhecer o seu processo de produção, uma vez que o seu valor nutricional pode ser afetado por determinados parâmetros e o conhecimento destes ajuda na compreensão do valor nutricional dos ingredientes (Hertrampf e Piedad-Pascual, 2000). A seguir são apresentadas as definições, os processos de fabricação e os níveis de inclusão recomendados para o concentrado protéico de soja, a farinha de vísceras de frango, o glúten de milho, a farinha de carne e ossos e a farinha de penas hidrolisadas em dietas para o camarão marinho *L. vannamei*.

Farinha de peixe do Chile (IFN 5-01-977¹)

¹ código geral para farinha de peixe, uma vez que não há código específico para este produto

Fornecedor: Orizon, S.A. Chile

Matéria-prima: Cavalinha, anchoveta, sardinha frescas e inteiras?

Níveis de garantia do fornecedor: Proteína bruta (mínimo 62%), extrato etéreo (mínimo 6%), umidade (máximo 8%), cinzas (máximo 18%), cálcio (mínimo 0,5 e máximo 5%), fósforo (mínimo 3%), lisina (mínimo 5%), metionina (mínimo 1%), digestibilidade em pepsina 1:10.000 a 0,002% em HCL 0,075N (mínimo 55%), acidez em mg de NaOH (2mg NaOH/g), índice de peróxido (máximo 10meq/kg), NaCl (máximo 3%), Salmonela (ausência em 25g).

Definição

A farinha de peixe extraída mecanicamente é composta pelo tecido limpo, seco e moído de peixes não-decompostos inteiros e/ou em pedaços com ou sem a extração parcial do óleo. Se contiver mais de 3 % de sal (NaCl) este deve ser declarado no rótulo com parte do nome do produto e o teor total de sal não pode exceder 7 %. O rótulo deve assegurar níveis mínimos de proteína bruta, gordura bruta, máximo de fibra bruta, mínimo de fósforo (P) e máximo e mínimo de cálcio (Ca). O produto deve corresponder à sua denominação (Tacon et al., 2009).

Fabricação

A matéria-prima é classificada segundo o frescor e tipo e é armazenada em temperaturas entre 4 e 30°C, dependendo se a captura foi artesanal ou refrigerada. Se a temperatura do pescado excede 30°C, o que ocorre no verão se adiciona ao produto 1kg de ácido acético por tonelada de pescado como preservante. O processo de fabricação compreende o cozimento em um cozedor em linha da matéria-prima e do lodo (resíduo semi-sólido resultante do tratamento da água) com vapor direto em temperaturas entre 95 e 100°C por 20 a 30 minutos, de acordo com a espécie e a pressão atmosférica, para interromper a degradação enzimática e microbiana, a desnaturação das proteínas e favorecer a ruptura das células facilitando a separação das fases sólida e líquida e a

separação do óleo. O produto cozido é submetido à prensagem para a separação das fases sólida (torta da prensa), constituinte principal da farinha, e líquida (licor da prensa) constituinte principal do óleo de peixe. O licor da prensa é aquecido para assegurar a temperatura ideal de separação (cerca de 80°C) e passa por decantadores nos quais os sólidos recuperados são adicionados à torta da prensa antes de entrar no secador e o líquido clarificado segue para a fabricação do óleo de peixe. O líquido é centrifugado para a separação da gordura e da água (água de cola). O líquido e os sólidos separados do óleo seguem para o evaporador e depois são incorporados no produto. A torta da prensa segue para secadores em linha para reduzir a umidade de 55 para cerca de 10% e minimizar a carga bacteriana para níveis aceitáveis no produto. O primeiro secador (secador rotadiscos) seca o produto por vapor indireto a temperaturas superiores a 80°C por 60 a 80 minutos e a umidade cai de 55% para 30 a 40% e a pressão de vapor é 4 a 5kg/cm². O segundo secador (secador rotatubos) seca o produto por vapor indireto a temperaturas superiores a 80°C e por 20 a 30 minutos e a umidade da farinha de peixe não deve ser superior a 10% e a pressão de vapor é entre 5 a 6 kg/cm². O produto seco é resfriado em um tambor rotatório com corrente de ar fria que reduz a temperatura do produto a 30°C. Antes da moagem o produto passa por um equipamento com malha perfurada para separar os corpos estranhos com tamanho superior a 2 cm de diâmetro. O produto é moído em um moinho de martelos com extração de odores até o diâmetro desejado. A farinha de peixe moída é tratada com o antioxidante etoxiquina ou antioxidantes naturais à base de tocoferóis pulverizados sobre o produto respeitando um limite máximo residual de 100ppm para o produto para exportação. O produto final é embalado em sacos de 50kg ou maxisacos de 1000kg (Comunicação pessoal, Ramón Inzunza, Orizon S.A., Chile).

Níveis de inclusão recomendados em dietas para camarões marinhos:

- faixa de inclusão: 10 a 45%, inclusão média: 20% a 25% (Tacon et al., 2009).
- inclusão média 25% (Hertrampf e Piedad-Pascual, 2000).

Concentrado protéico de soja (IFN 5-32-183)

Fornecedor: Imcopa, Araucária, PR.

Matéria-prima: Farelo de soja desengordurado.

Definição

Produto preparado a partir de grãos de soja de alta qualidade, limpos e sem casca a partir da remoção da maior parte do óleo e constituintes não-protéicos solúveis em água. O produto deve conter não menos do que 65% de proteína com base na matéria seca (Tacon et al., 2009).

Fabricação

A produção do concentrado protéico de soja utiliza como matéria-prima o farelo de soja desengordurado, proveniente da soja descascada e submetida à extração do óleo com hexano. O processo consiste na remoção dos açúcares solúveis por um solvente composto de água e álcool etílico, com concentrações de álcool que podem variar de 60 a 80% em volume de álcool em água. A extração é feita em contracorrente dentro de um equipamento denominado extrator. A lavagem com solução alcoólica propicia a remoção e a desnaturação dos fatores anti-nutricionais da soja como os antígenos e os fito-hormônios. Esta lavagem também elimina lipídeos residuais do farelo de soja e resulta em um produto com aroma e sabor suaves, minimizando problemas de palatabilidade.

Após o extrator, o processo é dividido em duas correntes. Uma denominada "corrente líquida" e outra denominada "corrente sólida", que se separam na saída do extrator e seguem caminhos diferentes. A corrente líquida é chamada de miscela e é composta por álcool etílico, água, açúcares solúveis, lipídeos e minerais removidos do farelo desengordurado. A corrente sólida é composta por farelo umedecido com a solução de álcool etílico e água e segue para a dessolventização, onde ocorre a remoção do solvente e o tratamento térmico para reduzir fatores anti-nutricionais termoinstáveis, como os inibidores de tripsina e quimiotripsina, seguindo para a secagem e resfriamento. Ao final tem-se o farelo concentrado de soja que de acordo com as especificações deve possuir uma concentração de proteína em base seca entre 60 e 75%. A corrente líquida segue primeiro para uma recuperação do álcool, que será reutilizado no processo, e finalmente segue para a concentração dos açúcares, gerando o chamado melaço de soja, que é um produto composto de água e açúcares com teores variando de 60 até 80% de açúcares em água (Paula Siqueira, Imcopa, comunicação pessoal).

Níveis de inclusão recomendados em dietas para camarões marinhos:

- faixa de inclusão: 2% a 10%, inclusão média: 3% a 5% (Tacon et al., 2009).
- máximo 20% (Hertrampf e Piedad-Pascual, 2000).

Farinha de vísceras de frango (IFN 5-03-798)

Fornecedor: Agroniza, Jacarezinho, SP.

Matéria-prima: Vísceras e cabeças, esporadicamente pés e carne mecanicamente separada (C.M.S.).

Definição

Consiste nos descartes e parte da carcaça limpos de frango abatido, tais como pescoço, pés, ovos não desenvolvidos e vísceras, excluindo as penas exceto em quantidades inevitáveis segundo as boas práticas de fabricação. O rótulo deve assegurar níveis mínimos de proteína bruta e gordura bruta, máximo de fibra bruta, mínimo de fósforo (P) e máximo e mínimo de cálcio (Ca). O nível de cálcio não deve exceder o de fósforo em mais de 2,2 vezes. O produto deve corresponder à sua denominação (Tacon et al., 2009).

Fabricação

No Brasil é comum o processamento de vísceras junto com as penas que necessita de temperatura mais elevada, pressão e tempo de retenção diferentes daqueles utilizados no processamento das vísceras, o que pode reduzir o valor nutricional do produto. Além disso, raramente a gordura é separada. A farinha de vísceras de frango pode ser processada em digestor contínuo ou por batelada e após esta primeira etapa o produto passa por uma separação dos resíduos sólidos e do óleo através de telas. O óleo contendo sólidos é centrifugado e os resíduos são separados e incorporados aos sólidos que são submetido á prensagem, secagem e moagem (Fernandes, 2011). O produto utilizado neste estudo não incorpora penas *in natura* ou processada, nem sangue *in natura* ou coagulado na linha de fabricação. O processo é exclusivo de vísceras e cabeças de aves e a inclusão de pés e CMS é pontual e não representativo. O processo de fabricação do produto utilizado neste estudo constituiu no cozimento, percolagem

(separação das fases sólida e da gordura), prensagem, decantação, centrifugação e moagem. O óleo após a percolagem é centrifugado e os sólidos são incorporados na percoladora antes da prensagem para retorno ao processo. O antioxidante utilizado foi o BHT (butil-hidróxi-tolueno). (Comunicação Pessoal, Raul Nichele, Agroniza).

Níveis de inclusão recomendados em dietas para camarões marinhos:

- faixa de inclusão: 3% a 20%, inclusão média: 4% a 8% (Tacon et al., 2009).
- máximo 15% (Hertrampf e Piedad-Pascual, 2000).

Glúten de milho 60 (IFN 5-02-900)

Fornecedor: Corn Products Brasil. Cabo de Santo Agostinho, PE.

Matéria-prima: grão de milho

Definição

Resíduo desidratado do milho após a remoção da maior parte do amido e do gérmen e a separação da fibra a partir do processo empregado na moagem úmida na fabricação do amido ou xarope de milho ou por tratamento enzimático do endosperma. Pode conter extratos fermentados de milho e/ou farelo de gérmen de milho (Tacon et al., 2009).

Fabricação

O glúten de milho é a porção protéica do grão e é um subproduto da moagem úmida no processamento do amido. O glúten seco é praticamente livre de outros componentes enquanto que o glúten de milho de baixa proteína não é. Neste caso, além do glúten o produto contém casca, água evaporada e o gérmen (Hertrampf e Piedad-Pascual, 2000). O processo de fabricação do produto utilizado neste estudo inicia com a limpeza do milho para remover materiais estranhos através de peneiras e ar comprimido. O milho limpo é colocado em tanques de aço inox para a maceração ou amolecimento que ocorre entre 24 e 48 horas em água aquecida (no máximo 50°C) contendo dióxido de enxofre (0,1 a 0,3%) que combinado à água forma ácido sulfúrico e ajuda a controlar o crescimento de bactérias em excesso e ajuda na separação do amido

e da proteína. A umidade do grão aumenta para cerca de 45% dobrando de peso. A água utilizada no processo passa por evaporadores e o extrato rico em proteínas pode ser reincorporado ao glúten utilizado na nutrição animal. Os grãos amolecidos passam por moinho de baixo atrito onde são quebrados, perdem a película e liberam o germe do endosperma. Após a adição de água ao moinho, o germe que contém 40 a 50% de óleo é separado da película e do endosperma pela força centrífuga com o uso de hidrociclones. A mistura de endosperma e película passa por operações de trituração e filtragem onde a película é separada em peneiras e em seguida a suspensão amido-glúten é transferida para os separadores de amido onde este é separado do glúten por centrifugação. O glúten, rico em metionina e caroteno, é secado e vendido como ingrediente para rações (Comunicação Pessoal, Flávio Santos, Corn Products).

Níveis de inclusão recomendados em dietas para camarões marinhos:

- faixa de inclusão: 3% a 9%, inclusão média: 3% a 5% (Tacon et al., 2009).
- máximo 15% (Hertrampf e Piedad-Pascual, 2000).

Farinha de carne e ossos (IFN 5-00-388)

Fornecedor: Sebosol, São José do Rio Preto, SP.

Matéria-prima: Visceras, restos da limpeza da carne e da desossa de bovinos em açougues.

Definição

Produto obtido em indústrias de subprodutos de frigoríficos após a desossa parcial ou completa da carcaça de bovinos e suínos; bem como da coleta de resíduos em casas de carne e processados por fábricas de farinhas independentes. É composta de ossos e resíduos de tecidos dos animais e não deve conter cascos, chifres, pelos, conteúdo estomacal, sangue e outras matérias-primas (MAPA – Instrução Normativa Nº 34 de 28/05/2008) (Eyng et al., 2011). Além disso, não deve conter produtos estranhos adicionados não incluídos nesta definição. Deve conter um mínimo de 4% de fósforo e o nível de cálcio não deve ser superior a 2,2 vezes o nível de fósforo. Não deve conter mais do que 12% de resíduo indigestível da pepsina e não mais do que 9% da proteína

bruta do produto deve conter pepsina indigerível. O rótulo deve assegurar o nível mínimo de proteína e gordura bruta, máximo nível de fibra, mínimo de fósforo e máximo de cálcio. O produto deve corresponder à sua denominação (Tacon et al., 2009).

Fabricação

Os componentes da farinha de carne e ossos são moídos e cozidos a 133°C por 20 minutos, prensado para extração da gordura, secos e novamente moído (Caires, 2010). O produto utilizado neste estudo não incorporou sangue, foi cozido em digestores em temperaturas entre 150 e 180°C durante 2 horas na pressão de 95 libras, esterilizado a 133°C por 20 minutos e 3 bar de pressão (conforme exige a Instrução Normativa nº34 do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento) e adicionados antioxidante (400 g por digestor) e anti salmonela (600g por digestor). (Comunicação Pessoal, João Francisco, Sebosol).

Níveis de inclusão recomendados em dietas para camarões marinhos:

- faixa de inclusão: 2% a 10%, inclusão média: 3% a 5% (Tacon et al., 2009).
- faixa de inclusão: 10% a 15% (Hertrampf e Piedad-Pascual, 2000).

Farinha de penas hidrolisadas (IFN 5-03-795)

Fornecedor: Agroniza, Jacarezinho, SP.

Matéria-prima: Penas e sangue coagulado na proporção de 6 t de penas para 1 t de sangue coagulado.

Definição

É o produto resultante do tratamento sob pressão de penas livre e não decompostas de frangos abatidos, livre de aditivos e/ou catalisadores. Não menos do que 75% da sua proteína bruta deve ser digestível pelo método de digestibilidade da pepsina (Tacon et al., 2009)..

Fabricação

A farinha de penas é obtida por cocção, sobre pressão de penas limpas e não decompostas originárias do abate de aves. É permitida a inclusão de carcaça e sangue desde que não altere a composição média estimulada para o produto. A temperatura no processo atinge valores próximos de até 145°C (Hertrampf e Piedad-Pascual, 2000). O produto utilizado neste estudo foi submetido à hidrólise, secagem, moagem e adição de antioxidante BHT (Comunicação Pessoal, Raul Nichele, Agroniza).

Níveis de inclusão recomendados em dietas para camarões marinhos:

- faixa de inclusão: 1% a 5%, inclusão média: 2% a 3% (Tacon et al., 2009).
- faixa de inclusão: 5 a 10% (Hertrampf e Piedad-Pascual, 2000).

O objetivo do presente estudo é analisar a composição centesimal, aminoácidos, minerais, ácidos graxos e o conteúdo de energia de seis ingredientes protéicos: farinha de peixe do Chile, concentrado protéico de soja, farinha de vísceras de frango, glúten de milho, farinha de carne e ossos e farinha de penas hidrolisadas a serem utilizadas como fontes de proteína para dietas em ensaios de digestibilidade e crescimento de juvenis do camarão *Litopenaeus vannamei*.

4.2. Materiais e métodos

Ingredientes

Foram analisados seis ingredientes protéicos, sendo quatro de origem animal: farinha de peixe do Chile composta por uma mistura de cavalinha e anchoveta, farinha de vísceras de frango de baixa gordura, farinha de carne e ossos de bovinos e farinha de penas hidrolisadas e dois de origem vegetal: concentrado protéico de soja e glúten de milho, ingredientes disponíveis no mercado nacional e utilizados nas indústrias de fabricação de rações para organismos aquáticos no Brasil. Os nomes em português e em inglês, o código dos ingredientes para fins deste trabalho e o número internacional de ingredientes (IFN).

Os critérios para a seleção dos ingredientes foram: teor de proteína acima de 35% (Hardy, 1996) disponibilidade no mercado nacional, preços competitivos com a farinha de peixe, inexistência de restrições em termos nutricionais e sanitários na

alimentação de camarões marinhos. Os resultados obtidos nas análises foram comparados entre si e em relação a dados oriundos de compilações sobre ingredientes para dietas de organismos aquáticos apresentados em fontes reconhecidas.

Os ingredientes foram analisados em relação à sua composição centesimal, conteúdo de energia, extratos não-nitrogenados, aminoácidos; minerais: cálcio, fósforo, sódio, magnésio, manganês, zinco, ferro, cobre, cobalto e selênio e ácidos graxos saturados e poliinsaturados.

Análises químicas

As análises dos ingredientes em relação à umidade, cinzas, proteína bruta, lipídeos e fibra bruta foram realizadas no Labtec em Campinas, SP. As análises de cinza e umidade foram realizadas segundo AOAC (1995). A proteína bruta ($N \times 6,25$) foi determinada pelo método Dumas (AOAC, 1995) em um analisador de nitrogênio Leco Truspec (Leco Corporation, St. Joseph, MI, EUA).

Os lipídeos foram determinados utilizando um extrator de gordura com hexano ANKOM XT-15 Extractor (ANKOM Technologic Corp, EUA), a fibra foi analisada através da digestão ácida e básica utilizando um sistema FiberCap 2021/2023 (Foss Tecator, Dinamarca), o extrato não-nitrogenado (ENN) foi determinado pelo conteúdo de matéria seca da amostra menos a soma da proteína, lipídeos, fibras e cinzas.

Os aminoácidos foram determinados por cromatografia líquida (HPLC) após digestão ácida e básica para o método de análise por troca iônica. A digestão ácida (HCl 6N, 24h) foi realizada em tubos de vidro selados submetidos ao vácuo e mantidos em estufa (110°C) por 24 horas. Após a hidrólise as soluções foram solubilizadas em água ultra pura, levadas ao banho ultra sônico e filtradas através de uma unidade de filtro Millex. A amostra foi seca em aquecedor com fluxo de argônio a 35°C e foi adicionado 50 µl de solução de re-secagem, 50 µl de solução derivatizante PITC e 500 µl de diluente para em seguida ser submetida a banho maria ultra sônico e injetada 25 µl em coluna Luna (C18 250 x 4,6 mm). Este método elimina a etapa de oxidação da metionina e da cistina com ácido performico (Kwanyuen e Burton, 2010). O triptofano foi analisado após hidroxilação alcalina da amostra com hidróxido de lítio. Os aminoácidos livres foram separados em um cromatógrafo Shimadzu Prominence HPLC

SPD-20A (Shimadzu Analytical, Kyoto, Japão) com detector de ultravioleta/vis. Foram utilizados padrões de arginina, citrulina e aspartato de ornitina. Os resultados foram processados através de software específico do computador conectado ao aparelho.

A fim de avaliar as diferenças entre os valores de proteína determinado de diferentes formas foi realizada uma análise da proteína bruta calculada pelo método Dumas ($N \times 6,25$); autoanalisador N ($N \times 6,25$); $N \times$ diferentes fatores para cada tipo de ingrediente (Tacon et al., 2009). A proteína verdadeira foi calculada a partir da soma dos aminoácidos essenciais e aminoácidos não-essenciais.

As análises de energia bruta foram realizadas no Instituto de Zootecnia do Estado de São Paulo através de bomba calorimétrica Ika – Labortechnik Modelo C 5003 – Control (IKA Werke Staufen, Alemanha).

Os minerais foram analisados por Espectrometria de Emissão Ótica (ICP-OES) em um equipamento Varian modelo 710-ES (Varian Inc., California, EUA) e a separação por índice de concentração plasmática foi realizada nas amostras após hidrólise em HCl e aquecimento seguida por filtragem das amostras e leitura.

Para a análise dos ácidos graxos as amostras foram saponificadas e extraídas com éter de petróleo e a leitura foi realizada através de um equipamento por cromatografia gasosa com detector de FID, Varian 3900 (Varian Inc., California, EUA).

Cálculos

Foram calculados os seguintes índices para a comparação do perfil de aminoácidos das dietas:

AA score = Participação % do AA no somatório dos AAes / nível recomendado do AA em % do somatório dos AAes sem o triptofano (Tacon et al., 2002). (1)

AAs abaixo do recomendado = número de AAs com AA score inferior a 75%, (2)
o que corresponde a 75% da recomendação.

AA limitante = AA com o menor nível observado. (3)

Índice de AA = $aa1/recomendação\ 1 \times aa2/recomendação\ 2 \dots x aan/recn$ (4)
(Lemos e Nunes, 2008)

Score médio = média dos AA score. (5)

(6)

Escore químico = escore do AA limitante (com o menor nível) (Tacon, 1987)

$$\text{Déficit de AA} = \text{déficit1} + \text{déficit AA1} + \text{déficit AA2} \dots + \text{déficit n} / \text{proteína do ingrediente} \quad (7)$$

$$\text{Proteína verdadeira} = \text{soma dos AA's (sem o triptofano)}. \quad (8)$$

$$\text{Residual da proteína} = \text{N} \times 6,25 - \text{proteína verdadeira} \quad (9)$$

4.3. Resultados e discussão

Composição dos ingredientes

A composição química e o valor energético apresentaram valores distintos para cada ingrediente avaliado. A farinha de carne e ossos apresentou o menor teor de proteína bruta ($42,6 \text{ g } 100\text{g}^{-1}$) e a farinha de penas hidrolisada o maior valor ($81,5 \text{ g } 100\text{g}^{-1}$). Os menores valores de lipídeos foram registrados no concentrado protéico de soja ($1,0 \text{ g } 100\text{g}^{-1}$) e o maior valor foi encontrado na farinha de vísceras de frango ($13,1 \text{ g } 100\text{g}^{-1}$). O teor de fibras variou de $0,47 \text{ g } 100\text{g}^{-1}$ na farinha de penas hidrolisadas a $4,24 \text{ g } 100\text{g}^{-1}$ no concentrado protéico de soja.

O teor de cinzas foi maior nos ingredientes de origem animal, especialmente na farinha de carne e ossos ($41,7 \text{ g } 100\text{g}^{-1}$), enquanto que a quantidade de extratos não-nitrogenados foi mais alta nos ingredientes de origem vegetal, $21,2$ e $18,1 \text{ g } 100\text{g}^{-1}$ para o concentrado protéico de soja e glúten de milho, respectivamente. Este último e a farinha de penas hidrolisadas foram os ingredientes com o maior nível de energia bruta: 25 e $24,1 \text{ MJ Kg}^{-1}$, respectivamente (Tabela 4.1).

Tabela 4.1. Composição determinada dos ingredientes protéicos avaliados: centesimal, conteúdo de energia, extratos não-nitrogenados e aminoácidos: AAE: Arginina-ARG; Fenilalanina-FEN; Histidina-HIS; Isoleucina-ISO; Leucina-LEU; Lisina-LIS; Metionina-MET; Treonina-TRE; Triptofano-TRI; Valina-VAL. AANE: Alanina-ALA; Ác. aspártico-ASP; Cistina-CIS; Glicina-GLI; Ác. glutâmico-GLM; Prolina-PRO; Serina-SER e Tirosina-TIR. Valores expressos em g 100g⁻¹ do peso com base na matéria natural exceto quando indicado.

	Farinha de	Concentrado	Far. de vísceras de	Glúten de milho	Farinha de carne	Farinha de penas
	peixe	protéico de soja	frango		e ossos	hidrolisadas
Nome em inglês	Fish meal	Soy protein concentrate	Poultry by-product meal	Com gluten meal	Meat and bone meal	Hydrolysed feather meal
Código	FPX	CPS	FVI	GLM	FCO	PEN
IFN	5-01-977	5-08-038	5-03-798	5-02-900	5-00-388	5-03-795
AAE						
ARG	5,19	5,17	4,72	2,21	3,65	6,59
FEN	2,16	3,00	2,45	3,50	1,16	3,71
HIS	1,49	2,06	1,07	1,60	0,80	1,55
ISO	2,03	2,52	2,19	1,77	0,85	3,22
LEU	3,84	4,77	4,35	9,06	2,01	6,46
LIS	5,50	5,18	2,95	1,24	2,52	3,60
MET	3,50	1,32	1,73	3,17	0,58	0,87
TRE	2,29	2,27	2,24	1,84	0,96	3,38
TRI	0,08	0,10	0,08	nd	0,06	0,14
VAL	2,54	2,73	3,40	2,20	1,32	5,11
AANE						
ALA	3,90	2,62	3,16	6,05	3,39	3,93
ASP	4,53	6,67	3,90	3,51	1,83	5,43
CIS	0,26	0,85	5,49	2,36	0,03	8,95
GLI	5,44	2,56	5,22	1,58	7,14	6,21
GLU	7,27	10,95	6,20	12,76	4,02	8,40
PRO	3,16	3,20	4,90	6,07	4,13	7,05
SER	2,39	2,94	4,53	3,12	1,30	7,68
TIR	1,62	1,81	1,47	2,98	0,61	2,26
ΣAA	57,2	60,7	60,1	65,0	36,4	84,5
Nutriente	FPX	CPS	FVI	GLM	FCO	PEN
Umidade	7,24	6,41	11,20	7,27	4,54	6,53
Proteína bruta	60,25	60,91	58,37	66,09	42,60	81,54
Lipídeos totais	10,75	1,05	13,15	6,70	10,45	3,35
Fibra bruta	0,50	4,24	0,60	0,59	1,48	0,47
Cinzas	21,42	6,19	15,17	1,26	41,74	3,02
ENN	0,00	21,20	1,51	18,09	0,00	0,00
Energia bruta (MJ Kg ⁻¹)	21,53	20,06	21,59	24,99	14,37	24,10

IFN – International Feed Number (número internacional do ingrediente). n=2. nd – não determinado. FPX - Pesquera San Jose, Santiago, Chile; CPS - Imcopa, Araucária-PR; FVI e PEN - Agronisa, Jacarezinho, SP; GLM - Corn Products, Cabo de Santo Agostinho, PE; FCO – Sebosol, São José do Rio Preto, SP, ⁶ Guabi, Campinas, SP. ⁷ Extrato não-nitrogenado (ENN) = 100 – (umidade + proteína + lipídeos + fibras + material mineral)

A composição dos ingredientes utilizados neste trabalho, de forma geral, esta na faixa reportada para os mesmos ingredientes, ou similares em outros estudos sobre a composição de ingredientes para aquicultura como o NRC (1993), mas apresenta algumas diferenças quando comparados aos dados apresentados em duas compilações mais recentes (Rostagno et al. 2005; Tacon et al. 2010) (Tabela 4.3). A farinha de peixe utilizada nesta pesquisa foi elaborada a partir de cavalinha e anchoveta e seria melhor

comparada à farinha de cavalinha apresentada por Tacon et al. (2010) do que à farinha de peixe nacional apresentada por Rostagno et al. (2005) e elaborada a partir de sobras de filetagem. As principais diferenças observadas nesta comparação foram o teor de cinzas e proteínas, que nos ingredientes deste trabalho foram 36% maior e 16% menor do que os valores reportados por Tacon et al. (2010), respectivamente.

A composição dos ingredientes nacionais apresentou valores mais próximos aos reportados por Rostagno et al. (2005) e este é o caso da farinha de carne e ossos e em alguns nutrientes do concentrado protéico de soja cujo teor de proteína foi próximo ao reportado por Rostagno et al. (2005), contudo os níveis de gordura, fibras e cinzas foram em média 40% mais altos. Na mesma comparação, o glúten de milho apresentou níveis similares de proteína e maiores de lipídeos ao passo que os teores de fibra, cinzas e extrato não-nitrogenado foram menores (Tabela 4.2). A farinha de vísceras de frango apresentou valores semelhantes aos reportados nas duas compilações (Rostagno et al., 2005; Tacon et al., 2010), com exceção dos extratos não-nitrogenados enquanto que a farinha de penas hidrolisadas apresentou níveis similares de proteína e cerca de 20% menos lipídeos enquanto que a quantidade de cinzas foi inferior (-19%) e superior (30%) ao apresentados nos estudos de Rostagno et al. (2005) e Tacon et al. (2010), respectivamente (tabela 4.2).

Tabela 4.2. Comparação entre a composição centesimal e da energia bruta determinada dos ingredientes protéicos analisados neste estudo e a composição encontrada na literatura.

Ingrediente	Unidade	Proteína	Lipídeos	Fibras	Cinzas	ENN	Energia bruta (MJ Kg ⁻¹)	Fonte
1 Farinha de peixe	7,24	60,25	10,75	0,50	21,42	0,00	2,15	Este trabalho
2	8,37	61,00	5,85	0,00	19,35	5,43	1,76	Rostagno et al., 2005
3	6,10	68,10	11,00	0,00	13,80	1,00	0,00	Tacon et al., 2009
Níveis reportados	4,6-7,7	66,6-70,0	9,0-13,1	0,0	13,7-13,9	-	-	Tacon et al., 2009
1 x 2 Diferença atual x Rostagno et al., 2005	-16%	-1%	46%	-	10%	-	18%	
1 x 3 Diferença atual x Tacon et al., 2009	16%	-13%	-2%	-	36%	-	-	
1 Concentrado protéico de soja	6,4	60,9	1,1	4,2	6,2	21,2	2,0	Este trabalho
2	10,1	62,9	0,4	0,1	4,8	19,1	1,9	Rostagno et al., 2005
3	8,0	84,3	0,5	2,6	3,5	3,6	0,0	Tacon et al., 2009
1 x 2 Diferença atual x Rostagno et al., 2005	-58%	-3%	59%	38%	22%	10%	6%	
1 x 3 Diferença atual x Tacon et al., 2009	-25%	-38%	52%	98%	43%	83%	-	
1 Far. de vísceras de frango	11,2	58,4	13,2	0,6	15,2	1,5	21,6	Este trabalho
2	7,8	57,0	13,8	0,0	15,0	6,5	19,5	Rostagno et al., 2005
3	7,4	59,0	12,4	2,6	15,3	3,3	-	Tacon et al., 2009
Níveis reportados	6,0-10,0	55,0-65,0	8,0-13,0	2,0-4,0	12,0-18,0	-	-	Tacon et al., 2009
1 x 2 Diferença atual x Rostagno et al., 2005	31%	2%	-5%	-	1%	-327%	10%	
1 x 3 Diferença atual x Tacon et al., 2009	34%	-1%	6%	-333%	-1%	-119%	-	
1 Farinha de carne e ossos	4,5	42,6	10,5	1,5	41,7	0,0	14,4	Este trabalho
2	7,7	41,0	11,0	0,0	38,9	1,4	13,7	Rostagno et al., 2005
3	7,5	50,1	10,6	2,4	28,8	0,6	-	Tacon et al., 2009
Níveis reportados	5,6-10,0	46,8-54,1	9,6-14,3	2,0-3,0	21,8-34,1	-	-	Tacon et al., 2009
1 x 2 Diferença atual x Rostagno et al., 2005	-70%	4%	-6%	-	7%	-	4%	
1 x 3 Diferença atual x Tacon et al., 2009	-65%	-18%	-1%	-62%	31%	-	-	
1 Glut. de milho	7,3	66,1	6,7	0,6	1,3	18,1	25,0	Este trabalho
2	9,1	60,4	2,6	1,1	1,6	25,4	21,1	Rostagno et al., 2005
3	8,6	56,1	4,0	2,9	2,1	26,3	-	Tacon et al., 2009
Níveis reportados	7,3-9,9	42,7-62,6	2,0-7,7	1,5-4,4	1,2-3,2	-	-	Tacon et al., 2009
1 x 2 Diferença atual x Rostagno et al., 2005	-24%	9%	62%	-81%	-23%	-40%	15%	
1 x 3 Diferença atual x Tacon et al., 2009	-18%	15%	40%	-392%	-67%	-45%	-	
1 Farinha de penas	6,5	81,5	3,4	0,5	3,0	0,0	24,1	Este trabalho
2	9,3	83,9	4,0	0,0	2,1	0,0	21,8	Rostagno et al., 2005
3	8,4	84,0	4,2	1,0	3,6	0,0	-	Tacon et al., 2009
Níveis reportados	7,0-10,0	81,0-86,0	2,9-7,0	-	3,4-4,0	-	-	Tacon et al., 2009
1 x 2 Diferença atual x Rostagno et al., 2005	-42%	-3%	-19%	-	30%	-	10%	
1 x 3 Diferença atual x Tacon et al., 2009	-29%	-3%	-25%	-113%	-19%	-	-	

Os aminoácidos de maior peso no somatório dos aminoácidos essenciais de todos os ingredientes foram a leucina, arginina e lisina e os de menor peso foram o triptofano, histidina e metionina. Nos aminoácidos não-essenciais o ácido glutâmico, a prolina e a glicina tiveram o maior peso enquanto que a tirosina, cistina e serina foram os aminoácidos de menor peso na soma total (tabela 4.3).

O padrão de aminoácidos foi distinto com algumas semelhanças entre os ingredientes de origem animal e os de origem vegetal. A farinha de peixe, o concentrado protéico de soja e a farinha de penas hidrolisadas apresentaram níveis acima da média para os aminoácidos básicos: 5,2 a 6,6% (arginina); 1,5 a 2,1% (histidina) e 3,6 a 5,5% (lisina), respectivamente. Em relação aos aminoácidos sulfurados, a farinha de peixe, o glúten de milho e a farinha de vísceras de frango apresentaram os maiores teores de metionina, entre 1,7 e 3,5% e os subprodutos de aves os maiores teores de cistina, entre

5,5 e 8,9%, seguidos pelo glúten de milho com teor um pouco abaixo da média dos demais ingredientes. Os aminoácidos aromáticos apresentaram teores mais elevados no concentrado protéico de soja, glúten de milho e farinha de penas hidrolisadas, especialmente para a fenilalanina (3,0 a 3,7%) e tirosina (1,8 a 2,9%) enquanto que o triptofano foi inferior a 0,1% em todos os ingredientes, menos no glúten de milho onde não foi determinado.

Os maiores níveis de ácido aspártico foram aqueles da farinha de peixe, concentrado protéico de soja e farinha de penas hidrolisadas (4,5 a 6,7%) e para o glutamato foram o concentrado protéico de soja, glúten de milho e farinha de penas hidrolisadas: 8,4 a 12,8%. Para os aminoácidos ramificados, os maiores níveis de isoleucina foram observados na farinha de penas hidrolisadas, concentrado protéico de soja e farinha de vísceras de frango (2,2 a 3,2%); para a leucina os maiores níveis correspondem aos ingredientes glúten de milho e farinha de penas (6,5 a 9,1%) e para a valina a farinha de penas e a farinha de vísceras de frango registraram os maiores valores, 3,4 a 5,1%, respectivamente. A farinha de carne e ossos apresentou o menor valor de metionina + cistina entre os ingredientes (0,6%) e a farinha de penas hidrolisadas e a farinha de vísceras de frango apresentaram os maiores valores, 9,8 e 7,2% respectivamente (Tabela 4.3).

O AA score variou de acordo com o ingrediente e o atendimento da exigência de aminoácidos em geral foi menor para o triptofano e a tirosina e maior para a cistina e metionina. O AA score dos ingredientes variou de 14,6% para o triptofano na farinha de peixe a 976% para a cistina na farinha de penas hidrolisadas. A farinha de carne e ossos e a farinha de vísceras de frango apresentaram o menor e o maior AA score médio, 85 e 146%, respectivamente (tabela 4.3).

A farinha de penas hidrolisadas apresentou o maior número de aminoácidos em níveis abaixo do recomendado para camarões marinhos (5), seguida pela farinha de peixe, farinha de carne e ossos e o glúten de milho (4). O concentrado protéico de soja e a farinha de vísceras de frango apresentaram deficiência em dois aminoácidos. O triptofano foi o aminoácido limitante na maioria dos ingredientes, com exceção da farinha de carne e ossos e o glúten de milho, nos quais os aminoácidos limitantes foram a cistina e a arginina, respectivamente. Os aminoácidos limitantes atenderam em média 18% das suas recomendações. O AA score para a cistina na farinha de vísceras de

frango e na farinha de penas hidrolisadas apresentou valores acima de 800%, que são muito superiores aos valores reportados por Tacon et al. (2009), possivelmente devido ao nível elevado da cistina nestes ingredientes em comparação aos níveis apresentados em outros trabalhos (Tabela 4.3).

O AA índice foi mais baixo para a farinha de carne e ossos e a farinha de peixe, assim como no escore médio, onde o concentrado protéico de soja apresentou um dos menores valores, assim como no escore químico e no déficit de AA, no qual a farinha de vísceras apresenta o terceiro maior déficit após a farinha de carne e ossos e a farinha de peixe. Os valores de proteína verdadeira variaram de acordo com o ingrediente e o extrato não-nitrogenado foi mais elevado na farinha de carne e ossos (Tabela 4.3).

O escore químico foi menor na farinha de carne e ossos (10%) e na farinha de vísceras de frango (13,8%) e maior no glúten de milho (35,8%) e no concentrado protéico de soja (17%). O maior déficit de aminoácidos ocorreu na farinha de carne e ossos (6,8), que também apresentou o maior valor de nitrogênio não-protéico, seguido da farinha de peixes, enquanto que o concentrado protéico de soja registrou o menor déficit de AA's. Os ingredientes que apresentaram os maiores déficits de AA's também tiveram os menores AA índice (Tabela 4.3).

As diferenças entre a quantidade de aminoácidos essenciais e não-essenciais avaliados neste estudo e a quantidade reportada em outros estudos mostrou que pode existir uma grande variação nas composições dos ingredientes alvo deste estudo e aqueles encontrados na literatura, que também apresentaram diferenças entre si. Considerando todos os ingredientes, o triptofano e a isoleucina foram os aminoácidos que apresentaram as menores diferenças na composição em relação às referências, enquanto que a cistina e a metionina foram os aminoácidos que apresentaram as maiores diferenças entre os valores analisados e aqueles encontrados na literatura. (Tabela 4.4).

Tabela 4.3. Composição determinada dos aminoácidos essenciais (mais cistina e tirosina) dos ingredientes avaliados expressos em % por peso do ingrediente (matéria natural), participação % no total de aminoácidos essenciais (mais cistina e tirosina), AA escore (%) para o camarão e índices. Arginina-ARG; Isoleucina-ISO; Leucina-LEU; Lisina-LIS; Cistina-CIS; Metionina-MET; Fenilalanina-FEN; Tirosina-TIR; Treonina-TRE; Triptofano-TRI; Valina-VAL e Histidina-HIS (n=2).

AA	ARG	ISO	LEU	LIS	CIS	MET	FEN	TIR	TRE	TRI	VAL	HIS	ΣEAA
Recom	19,3%	8,2%	14,2%	10,7%	2,0%	4,2%	9,9%	8,2%	8,0%	1,8%	9,1%	4,3%	100,0%
AA%ΣEAA													
FPX	17,0	6,7	12,6	18,0	0,9	11,5	7,1	5,3	7,5	0,3	8,3	4,9	
CPS	16,3	7,9	15,0	16,3	2,7	4,2	9,4	5,7	7,1	0,3	8,6	6,5	
FVI	14,7	6,8	13,5	9,2	17,1	5,4	7,6	4,6	7,0	0,2	10,6	3,3	
GLM	6,9	5,5	28,4	3,9	7,4	9,9	11,0	9,3	5,8	nd	6,9	5,0	
FCO	25,1	5,8	13,8	17,3	0,2	4,0	8,0	4,2	6,6	0,4	9,1	5,5	
PEN	14,4	7,0	14,1	7,9	19,5	1,9	8,1	4,9	7,4	0,3	11,1	3,4	
AA escore Camarão													
FPX	88,2	81,2	88,7	168,5	42,6	273,2	71,5	64,8	93,9	14,6	91,5	113,6	
CPS	84,3	96,7	105,7	152,3	133,7	98,9	95,4	69,5	89,3	17,5	94,4	150,7	
FVI	76,1	83,1	95,3	85,8	854,1	128,2	77,0	55,8	87,1	13,8	116,2	77,4	
GLM	35,9	67,6	199,8	36,3	369,6	236,4	110,7	113,8	72,0	nd	75,7	116,5	
FCO	130,0	71,2	97,3	161,9	10,3	94,9	80,5	51,1	82,5	22,9	99,7	127,9	
PEN	74,5	85,7	99,2	73,4	976,2	45,2	81,8	60,1	92,2	17,0	122,5	78,6	
Índices													
	AA's abaixo recomendado ¹	AA limitante ²	AA Index ³	escore médio ⁴	escore químico ⁵	Déficit de AA ⁶	Proteína verdadeira(MS) ⁷	Residual da proteína ⁸					
FPX	4	TRF	0,08	99,4	14,6	4,4	64,8	0,10					
CPS	2	TRF	0,26	99,0	17,5	2,5	66,2	-1,14					
FVI	2	TRF	0,26	145,8	13,8	4,3	67,0	-1,29					
GLM	4	ARG	1,23	130,4	35,9	3,2	70,7	0,57					
FCO	4	CIS	0,01	85,8	10,3	6,8	37,7	6,96					
PEN	5	TRF	0,15	150,5	17,0	3,6	89,8	-2,53					

¹menor que 75% da recomendação, ²menor nível observado, ³aa1/recomendação 1 x aa2/recomendação2 ...x aan/recom n, ⁴média dos AA escore, ⁵escore do AA limitante⁶ déficit1 + déficit 2 ...+ déficit n / proteína do ingrediente, ⁷soma dos AA's (sem o triptófano), ⁸Residual da proteína = N x 6,25 - proteína verdadeira

Tabela 4.4. Diferença % entre a quantidade determinada individual e total de aminoácidos essenciais e não-essenciais dos ingredientes teste avaliados neste trabalho e os ingredientes segundo referências (com base na matéria-seca). Arginina-ARG; Fenilalanina-FEN Histidina-HIS; Isoleucina-ISO; Leucina-LEU; Lisina-LIS; Metionina-MET; Treonina-TRE; Triptofano-TRI; Valina-VAL; Alanina-ALA; Ác. aspártico-ASP; Cistina-CIS; Glicina-GLI; Ác. glutâmico-GLU; Prolina-PRO; Serina-SER; Tirosina-TIR.

Farinha de peixe			C. protéico de soja			F. vísceras de frango			F. carne e ossos			Gluten de milho			F. de penas hidrolisadas		
Rostagno et al. (2005)			Brumano et al. (2006)			Brumano et al. (2006)			Brumano et al. (2006)			Rostagno et al. (2005)			Brumano et al. (2006)		
Tacon et al. (2009)			Rostagno et al. (2005)			Guimarães et al. (2008)			Guimarães et al. (2008)			Guimarães et al. (2008)			Guimarães et al. (2008)		
AAE			et al. (2006)			et al. (2006)			et al. (2006)			et al. (2005)			et al. (2006)		
ARG	36,0	40,1	0,8	-	6,7	16,7	16,8	27,8	9,4	19,1	2,2	10,6	26,1	10,0	27,3	23,5	4,5
FEN	-	10,7	-	16,2	-	14,3	10,4	24,6	-	26,0	-	13,3	14,0	-	-	8,0	6,3
HIS	10,7	-	13,7	14,4	3,3	21,3	-	3,6	10,2	30,9	-	21,7	55,4	21,3	33,1	238,4	83,0
ISO	-	20,4	-	21,5	-	19,3	-	6,2	-	25,9	-	31,9	-	20,5	-	14,2	19,3
LEU	-	14,4	-	11,2	-	9,6	-	7,0	-	21,4	-	15,4	0,6	-	-	2,6	10,2
LIS	25,2	10,0	17,2	22,2	9,3	16,6	-	33,7	9,4	1,9	-	21,6	-	36,9	41,9	31,0	67,2
MET	114,7	80,8	32,5	36,3	20,1	98,2	45,4	71,8	-	3,3	-	123,7	222,5	91,7	23,0	98,0	52,2
TRE	-	10,9	-	17,9	-	13,8	-	2,5	-	30,4	-	14,1	16,7	-	-	7,4	13,7
TRI	-	86,4	-	89,5	-	86,2	-	82,3	-	74,1	-	100,0	-	100,0	-	-	76,7
VAL	-	18,0	-	18,2	-	8,9	-	16,4	-	29,5	-	24,3	-	17,0	-	9,8	18,0
AANE																	
ALA	-	14,2	-	14,2	-	-	3,3	41,3	-	10,8	-	-	11,4	-	-	0,5	13,8
ASP	-	17,2	-	17,2	-	-	10,8	15,5	-	44,4	-	-	16,8	-	-	3,3	9,4
CIS	-	59,5	-	13,7	-	282,6	386,8	550,6	-	91,9	-	157,1	109,6	-	131,4	115,2	147,8
GLI	-	13,4	-	13,4	-	10,8	-	24,2	-	5,8	-	-	12,8	-	6,1	-	2,7
GLU	-	15,3	-	15,3	-	-	9,3	20,2	-	24,3	-	-	8,3	-	-	0,6	0,6
PRO	-	8,8	-	8,8	-	31,7	39,9	-	-	5,2	-	-	20,6	-	-	0,3	10,6
SER	-	16,2	-	16,2	-	1,3	90,3	-	-	25,1	-	-	29,9	-	-	0,3	17,4
TIR	-	-	-	-	-	-	7,5	19,8	-	30,4	-	-	45,4	-	-	115,9	6,9
ΣEAA																	
Atual	30,9		Atual	31,1		Atual	28,4		Atual	14,6		Atual	28,7		Atual	37,0	
			Brumano	33,7	-8%	Brumano	28,9	-2%	Brumano	16,5	-13%	Rostagno	30,7	-7%	Brumano	35,7	4%
Rosta	29,0	6%	Rostagno	33,6	-8%	Guimara	28,1	1%	Rostagno	14,6	0%	Guimara	26,5	8%	Guimara	33,9	9%
Tacon	32,1	-4%	Tacon	36,6	-18%	Tacon	24,5	14%	Tacon	20,9	-43%	Tacon	30,4	-6%	Tacon	37,8	-2%

Atual = este trabalho; Rostagno = Rostagno et al. (2005); Brumano = Brumano et al. (2006); Guimarães = Guimarães et al. (2008). Tacon = Tacon et al. (2009).

Em relação aos dados encontrados na literatura para cada ingrediente, a farinha de peixe e o concentrado protéico de soja se destacaram por apresentar valores inferiores de triptofano e cistina e valores superiores de metionina. A farinha de vísceras de frango e o glúten de milho e o glúten de milho apresentaram comportamento semelhante com exceção da cistina que nos ingredientes avaliados foi muito superior aos valores reportados na literatura (NRC, 1993, Rostagno et al., 2005; Tacon et al., 2009). A farinha de carne e ossos apresentou níveis de triptofano e cistina inferiores aos dados obtidos na literatura e apenas a tirosina e a arginina apresentaram valores superiores em relação aos dados obtidos em referências nacionais (Brumano et al., 2006; Guimarães et al., 2008), enquanto que todos os aminoácidos, com exceção da arginina apresentaram níveis inferiores aos reportados na referência internacional.

Curiosamente, a despeito das variações nas quantidades de aminoácidos a soma dos aminoácidos essenciais apresentou resultados relativamente parecidos. Estas diferenças na composição dos ingredientes podem estar associadas a diversos fatores, tais como: (1) origem e qualidade da matéria-prima, (2) processo de cozimento e secagem (tempo e temperatura), (3) grau de moagem e condições de armazenagem da farinha (efeito do antioxidante, temperatura, umidade, duração) e (4) valor biológico dos nutrientes na farinha processada (Tacon et al., 2009). Nos ingredientes de origem vegetal a variação também pode se dar por diferenças no cultivar, como ocorre com o tremoço na Austrália (Smith et al., 2007).

Nos subprodutos de origem animal o valor nutricional pode variar entre produtores e até entre plantas de fabricação de uma mesma empresa. Um dos fatores mais determinantes para o valor nutricional é a origem e o frescor da matéria-prima utilizada para fabricar as farinhas que no futuro devem ser comercializadas de acordo com o valor nutricional (Hardy, 2000). Um estudo recente realizado no Brasil mostrou que as farinhas de vísceras de frango oriundas de graxarias que recolhem produtos nas indústrias e dos próprios frigoríficos apresentaram teores de proteína bruta e cinzas significativamente inferiores e superiores, respectivamente (Fernandes, 2011). Tão importante quanto a qualidade das matérias-primas, o processamento é fundamental para tornar os nutrientes dos ingredientes disponíveis, especialmente em ingredientes onde o tratamento térmico é crucial para o rompimento de ligações que indisponibilizam aminoácidos, como é o caso da farinha de penas (Scapin et al., 2003).

Diversos fatores podem provocar diferenças na composição e na qualidade dos ingredientes e este aspecto demanda estudos no sentido de tornar a aplicação dos resultados das pesquisas mais próximos das condições práticas. Cheng and Hardy (2002) em uma pesquisa sobre digestibilidade de ingredientes em dietas para trutas avaliaram farinha de vísceras de frango utilizadas na fabricação de rações para animais de estimação com três níveis de qualidade: grau para alimentação animal (*feed grade*) prime e refinada. Em termos de digestibilidade da matéria-seca e da energia os autores não verificaram diferenças estatísticas significativas, contrário ao que foi observado em relação à digestibilidade da proteína para a farinha de vísceras refinada que foi superior à farinha de grau para alimentação animal. Em salmonídeos a digestibilidade da farinha de vísceras de frango é afetada pela queratina dos pés e a adulteração com penas cruas eleva o teor de cistina e também pode contribuir para reduzir a digestibilidade da dieta (Hertrampf e Piedad-Pascual, 2000).

A qualidade dos ingredientes à base de subprodutos de origem animal melhorou com o aperfeiçoamento dos equipamentos e tecnologias, a maior qualidade da matéria-prima e dos sistemas de monitoramento, o que refletiu em ganhos na digestibilidade destas proteínas por animais terrestres que de 1984 a 2001 registrou incrementos de 65 para 92% e 82 para 92% para a lisina e metionina, respectivamente (Meeker e Hamilton, 2006). No passado, a farinha de carne e ossos foi considerada imprópria para rações de salmonídeos porque as primeiras pesquisas mostraram digestibilidades para a proteína menores do que 70% e atualmente estes valores são superiores a 85% (Hardy, 2000), o que pode ser atribuído ao aumento da qualidade dos ingredientes e também ao aperfeiçoamento das metodologias utilizadas nas pesquisas.

Uma comparação do perfil dos aminoácidos essenciais (participação de cada aminoácido em relação ao somatório) dos ingredientes teste mostra uma similaridade entre os perfis da farinha de peixe, o concentrado protéico de soja e a farinha de carne e ossos e em menor grau com a farinha de vísceras de frango que por sua vez apresenta um perfil de aminoácidos essenciais semelhantes ao da farinha de penas hidrolisadas. Já o perfil de aminoácidos do glúten de milho foi diferente dos perfis dos demais ingredientes, principalmente pela maior participação da leucina e menor participação da lisina e da arginina (tabela 4.2).

A quantidade de cistina na farinha de vísceras de frango com baixa gordura (5,5 g/100g de proteína) e na farinha de penas hidrolisadas (9,0 g/100g de proteína) foi muito superior ao encontrado em pesquisas realizadas no Brasil e em outros países. No Brasil foram reportados valores na faixa de 0,9 a 1,5 e 3,7 a 3,7 para as farinhas de vísceras de frango e farinha de penas hidrolisadas, respectivamente (Brumano et al., 2006, Caires, 2009) enquanto que estudos realizados em outros países registraram níveis de cistina para a farinha de vísceras de frango tais como: 0,84 (NRC, 1993); 0,83 a 0,95 (Johnson et al., 1998); 0,07 a 0,35 (Dozier et al., 2003); 0,74 (Yu, 2006); 0,78 a 0,84 (Cramer et al., 2007); 0,72 (Cruz-Suárez et al., 2007); 0,9 (Suresh, 2007); 0,65 a 1,0 (Tacon et al., 2009) enquanto que para a farinha de penas hidrolisadas os níveis registrados foram: 5,16 (Eissler e Firman, 1996); 4,2 a 4,3 (Yu, 2006; Meeker e Hamilton, 2006); 3,08 a 4,30 (Tacon et al., 2009).

As penas possuem níveis elevados de cistina ligada por pontes de dissulfeto à queratina o que torna a digestibilidade da sua proteína baixa. A autoclavagem no processo de fabricação da farinha de penas reduz as pontes de dissulfeto com a queratina causando a cisão peptídica e a destruição da cistina (Hertrampf e Piedad-Pascual, 2000). O tratamento térmico insuficiente pode ter contribuído para um maior nível de cistina no ingrediente ao mesmo tempo em que prejudicou a qualidade da proteína, que também pode ser prejudicada pelo cozimento em excesso (Eissler e Firman, 1996; Hertrampf e Piedad-Pascual, 2000; Moore et al., 2006), o que afeta a digestibilidade. A farinha de vísceras avaliada neste estudo pode conter uma quantidade excessiva de farinha de penas que aumentaram o seu teor de cistina. Por outro lado, o nível de cistina na farinha de penas não seria suficiente para causar um aumento desta magnitude o que nos leva a crer que o valor elevado pode estar associado a uma alteração da composição da matéria-prima em função dos seus componentes ou erro analítico, muito embora a soma dos AAs corresponda ao valor da proteína bruta.

Outro aspecto que deve ser levado em consideração é o nível de ferro na farinha de vísceras de frango que no ingrediente teste foi igual a 1.163 mg Kg⁻¹, bem acima da referência nacional que é de 175,5 mg Kg⁻¹. Em amostras de farinha de vísceras de frango do Sudoeste dos Estados Unidos foram encontrados níveis entre 406 e 4.626 mg Kg⁻¹ e uma média igual a 1.830 mg Kg⁻¹ (Dozier et al., 2003). O aumento do nível de ferro no ingrediente está ligado à presença de sangue e a sua inclusão com a farinha de penas ajuda a reduzir o nível de proteína, que é menor na farinha de sangue e maior na

farinha de penas, sem afetar o nível de cistina, que na farinha de sangue é próximo ao da farinha de vísceras de frango. Por outro lado, mesmo a inclusão de penas na farinha de vísceras não parece ser suficiente para o nível elevado neste ingrediente uma vez que o nível de cistina nas penas é ao redor de 7,5% (Stilborn et al., 1997). O erro analítico também não parece ser o motivo uma vez que a diferença entre a soma dos aminoácidos e a proteína obtida pelo método Dumas foi de apenas 2%. Uma possível explicação seria um alto nível de cistina na dieta das aves que podem ter contribuído para um alto teor de cistina nas vísceras e nas penas elevando, portanto o seu nível nos ingredientes.

Os aminoácidos metionina, lisina e arginina são provavelmente os AA's mais limitantes em formulações de rações de custo mínimo (Fox et al., 2006) e os ingredientes que apresentaram os melhores AA's escores (>75%) para estes aminoácidos foram a farinha de peixe e o concentrado protéico de soja (tabela 4.5). O requerimento para os aminoácidos sulfurados para o *P. monodon* é estimado em 3,5% da dieta contendo 0,41% de cistina (Millamena et al., 1996). Esta condição foi atendida pela farinha de vísceras de frango, glúten de milho e farinha de penas hidrolisadas, mas no caso da farinha de peixe apesar dos aminoácidos sulfurados totalizarem 3,8% a cistina representou apenas 0,3% da proteína. Em uma formulação comercial este baixo nível pode ser compensado por outro ingrediente como a farinha de penas, por exemplo.

Os níveis de cálcio e fósforo da farinha de peixe utilizada neste trabalho foi semelhante aos níveis reportados para a farinha de *menhaden* e *white fishmeal* (Tacon et al., 2010). Os níveis de cálcio e fósforo do concentrado protéico de soja são similares aos níveis reportados na literatura nacional (Rostagno et al., 2005), mas o nível de cálcio é mais alto em relação à composição média compilada de outros países (Tacon et al., 2010). A farinha de vísceras de frango apresentou níveis de cálcio e fósforo inferiores aos dados reportados na literatura (Rostagno et al., 2005; Tacon et al., 2010). Assim como foi verificado em relação ao seu nível de cinzas, a farinha de carne e ossos apresentou níveis de cálcio e fósforo superiores aos dados oriundos de outros estudos, com exceção do fósforo cujo valor foi igual ao nível reportado na literatura nacional (Rostagno et al., 2005; Tacon et al., 2010). Os teores de cálcio e fósforo da farinha de penas foram mais altos para o cálcio e mais baixo para o fósforo em relação aos dados reportados em outros estudos, que por sua vez apresentaram resultados semelhantes entre si (Rostagno et al., 2005; Tacon et al., 2010). (Tabela 4.5).

Tabela 4.5. Composição determinada dos ingredientes protéicos avaliados: cálcio, fósforo, sódio, magnésio, manganês, zinco, ferro, cobre, cobalto e selênio. Valores expressos em relação ao peso com base na matéria natural e em g 100g⁻¹ para o cálcio e o fósforo e valores em mg kg⁻¹ para os microminerais.

	Farinha de peixe	Concentrado protéico de soja	Far. de vísceras de frango	Farinha de carne e ossos	Farinha de penas hidrolisadas
g 100g ⁻¹					
Ca	6,7	0,2	3,0	14,6	0,6
P	3,4	0,7	1,4	6,8	0,5
mg Kg ⁻¹					
Na	7225,0	170,0	10285,0	5145,0	1986,0
K	7794,0	14710,0	2385,0	2663,0	1670,0
Mg	1798,0	3225,0	831,0	2810,0	392,6
Mn	36,0	72,0	82,0	7,0	29,0
Zn	110,0	72,0	82,0	66,0	90,0
Fe	412,0	127,0	1163,0	130,0	529,0
Cu	9,0	20,0	10,0	4,5	9,0
Co	nd	0,1	0,8	0,1	0,1
Se	10,0	4,0	1,0	1,5	2,2

Dados sobre o perfil de ácidos graxos em ingredientes para ração são escassos. De forma geral, os teores de ácidos graxos monoinsaturados e poliinsaturados foram maiores na farinha de peixe, do que nos demais ingredientes, enquanto que a farinha de carne e ossos apresentou os maiores valores de ácidos graxos saturados (Tabela 4.6).

Tabela 4.6. Composição determinada dos ingredientes protéicos avaliados: ácidos graxos saturados e ácidos graxos insaturados. Valores expressos em g 100g⁻¹ do peso com base na matéria natural.

Nome usual	Simbologia	Farinha de peixe	Concentrado protéico de soja	Far. de vísceras de frango	Farinha de carne e ossos	Farinha de penas hidrolisadas
Nome usual	Simbologia					
Saturados						
caprílico	C8:0	0,0040	-	-	0,0031	0,0034
capríco	C10:0	0,0183	-	-	0,0094	0,0201
laurico	C12:0	0,0140	0,0002	-	0,0160	0,0088
tricadenóico	C13:0	-	-	-	0,0042	-
mirístico	C14:0	0,1310	0,0004	0,0026	0,5110	0,0251
palmítico	C16:0	-	0,0470	0,2330	4,1540	0,6120
heptadecanóico	C17:0	-	0,0004	0,0026	-	0,0224
esteárico	C18:0	0,9800	0,0141	0,0605	-	0,2365
araquídico	C20:0	0,0065	-	-	-	0,0027
Ácido behénico	C22:0	0,0100	-	-	-	-
Monosaturados						
miristoleico	C14:1	0,0151	0,0099	0,0570	-	0,0003
palmitoleico	C16:1 n-7	0,2311	0,0003	-	0,4700	0,1079
oleico	C18:1 n-9	2,2700	-	0,2100	-	0,7420
elaidico	C18:1 n-9t	0,0172	0,0004	-	-	0,0204
Poliinsaturados						
linoleico	C18:2 n-6	0,9800	0,1510	0,6940	0,2000	0,4400
Ác. linolelaídico	C18:2 n-6t	-	0,0003	-	0,0031	0,0003
linolênico	C18:3 n-3	0,0172	0,0004	-	0,0272	0,0070
Y-linoleico	C18:3 n-6	0,1140	0,0220	0,0940	0,0600	0,0570
Cis 11-14 Eicosadienóico	C20:2 n-6	0,0090	-	-	-	0,0030
DHA	C22:6 n-3	0,0022	-	0,0032	0,0021	0,0013

Análise do teor de proteína

A determinação da proteína por meio dos diferentes métodos apresentou resultados similares (Tabela 4.7), sendo o maior coeficiente de determinação, $r^2 = 0,9896$ ($P = 0,00004$), observado na correlação proteína verdadeira x proteína bruta determinada através do método Dumas x 6,25. A equação obtida para esta correlação foi: PB Dumas = $0,12612 + 0,81578 \times \text{PB verdadeira}$.

A correlação entre a proteína verdadeira e a proteína bruta pela análise elementar do nitrogênio e a sua multiplicação pelo fator 6,25 resultou em um coeficiente de determinação $r^2 = 0,9810$ ($P = 0,0001$) ligeiramente superior ao coeficiente de determinação da correlação entre a proteína verdadeira e a proteína calculada pela multiplicação por fatores específicos para cada alimento segundo Tacon et al. (2009) o qual foi $r^2 = 0,9751$ ($P = 0,0002$).

Tabela 4.7- Níveis de proteína nos ingredientes calculada a partir da: (1) multiplicação do nitrogênio por 6,25, (2) multiplicação do nitrogênio por fatores específicos para cada alimento segundo Tacon et al. (2009), (3) soma dos aminoácidos ou proteína verdadeira e (4) proteína determinada através do método Dumas. Valores expressos em matéria-seca.

Método / Ingrediente	1	2	3	4	Comparação					
	Nx 6,25	N x Tacon 2009	Soma AA's	Dumas	1x2	1x3	1x4	2x3	2x4	3x4
Farinha de peixe	69,6	62,2	64,8	65,0	12,0	7,4	7,2	-4,1	-4,3	-0,2
Concentrado protéico de soja	65,6	57,7	66,2	65,1	13,6	-1,0	0,8	-12,8	-11,3	1,7
Farinha de vísceras de frango	68,0	60,0	67,0	65,7	13,4	1,5	3,5	-10,5	-8,8	2,0
Farinha de carne e ossos	47,3	41,7	37,7	44,6	13,4	25,7	6,1	10,8	-6,5	-15,6
Glúten de milho	70,4	63,3	70,7	71,3	11,2	-0,4	-1,2	-10,4	-11,1	-0,8
Farinha de penas hidrolisadas	86,1	75,9	89,8	87,2	13,4	-4,1	-1,4	-15,5	-13,0	2,9
Diferença Média					12,9	4,8	2,5	-7,1	-9,2	-1,7

O cálculo do teor de proteína dos ingredientes a partir do conteúdo de nitrogênio multiplicado pelo fator de conversão do nitrogênio para a proteína estabelecido como 6,5 tem sido alvo de críticas bem justificadas (Tacon et al., 2009; Moore et al., 2010). Isto se deve ao fato de que a generalização do conteúdo de nitrogênio nas proteínas como 16% pode induzir a erro uma vez que é reconhecido que a proteína pura dos alimentos apresenta diferentes teores de nitrogênio em função das diferenças nos seus perfis de aminoácidos onde cada aminoácido possui um conteúdo distinto de nitrogênio. Além disto, os aminoácidos não são as únicas fontes de nitrogênio nos alimentos que também podem conter ácidos nucleicos, aminas, uréia, amônia, nitratos, fosfolipídeos, entre outros (Mariotti et al., 2008). Neste sentido, o desenvolvimento de métodos para a determinação da proteína de forma mais direta a partir de análises da proteína verdadeira é fortemente recomendado, uma vez que a proteína bruta é cada vez menos utilizada na nutrição humana. No entanto, na nutrição animal este termo continua em uso a despeito de suas limitações e falta de precisão e o uso de fatores específicos que provavelmente reduziriam o teor de proteína de diversos alimentos traria sérias consequências financeiras (Mariotti et al., 2008; Tacon et al., 2009).

A comparação entre os métodos de determinação da proteína bruta mostrou que o método Dumas foi aquele que apresentou a melhor correlação com a proteína verdadeira, entretanto as diferenças entre a proteína calculada pela soma dos aminoácidos e a proteína determinada pelo método Dumas foi considerável para a farinha de carne e ossos que apresentou um teor de proteína bruta 16% inferior à proteína determinada através da soma de aminoácidos, o que reforça a idéia de que o método de determinação da proteína a partir da utilização de fatores pode induzir ao erro. O uso de métodos quantitativos confiáveis para a determinação da proteína total dos alimentos não apenas asseguram a qualidade e a segurança dos alimentos, mas também facilitam o comércio. Há cerca de quatro anos, a falta de métodos analíticos precisos criou espaço para a adulteração de fontes de proteína com melanina e ácido cianúrico o que causou a morte de crianças (Moore et al., 2010).

4.4. Referências

- AKIYAMA D.M. Future considerations for shrimp nutrition and the aquaculture feed industry. In: Proceedings of the Special Session on Shrimp Farming (ed. by J.Wyban), World Aquaculture Society, Baton Rouge, LA, USA, p. 198-205, 1992.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS - AOAC. 1995. Official Methods of Analysis. 16.ed. AOAC, Washington, DC.
- BACON, W. Hammersmith Marketing Ltd - Grain Trading weekly grain and protein report, April 02, 2011 section 2. fishmeal comments and prices Peruvian. Disponível em: <http://www.hammersmithltd.blogspot.com/> . Acessado em 09 de Abril de 2011.
- BRUMANO, G., GOMES, P.C., ROSTAGNO, H.S., ALBINO, L.T., SCHMIDT, M., GENEROSO, R.A.R. Aminoácidos digestíveis verdadeiros de alimentos protéicos determinados em galos cecectomizados. R. Bras. Zootec., v. 35, p. 2290-2296, 2006.
- CAIRES, C.M. Dietas de frango de corte com subprodutos de origem animal e suplementação de creatina. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Medicina Veterinária, Uberlândia, Minas Gerais. 48p, 2009.

- CHENG, Z.J., HARDY, R.W. Apparent Digestibility Coefficients of Nutrients and Nutritional Value of Poultry By-product Meals for Rainbow Trout *Oncorhynchus mykiss* Measured in vivo Using Settlement. J. World Aquac. Soc., v. 33, p. 458-465, 2002.
- CRAMER, K. R., GREENWOOD, M. W., MORITZ, J. S., BEYER R. S., PARSONS C. M. Protein quality of various raw and rendered by-product meals commonly incorporated into companion animal diets. J Anim. Sci., v. 85, p. 3285-3293, 2007.
- CRUZ-SUÁREZ, L.E., NIETO-LÓPEZ, M., GUAJARDO-BARBOSA, C., TAPIA-SALAZAR, M., SCHOLZ, U., RICQUE-MARIE, D. Replacement of fish meal with poultry by-product meal in practical diets for *Litopenaeus vannamei*, and digestibility of the tested ingredients and diets. Aquaculture, v. 272, p. 466–476, 2007.
- DOZIER, W.A., DALE, N.M., DOVE, C.R. Nutrient Composition of Feed-Grade and Pet-Food-Grade Poultry By-Product Meal. J. Appl. Poult. Res., v. 12, p. 526–530, 2003.
- EYNG, C., NUNES, C.G.V., NUNES, R.V., ROSTAGNO, H.S., ALBINO, L.F.T., VIEITES, F.M., POZZA, P.C. Composição química, valores energéticos e digestibilidade verdadeira dos aminoácidos de farinhas de carne e ossos e de peixe para aves. R. Bras. Zootec., v.40, p.575-580, 2011.
- EISSLER, C., FIRMAN, J.D. Effects of feather meal on the performance of turkeys. J. Applied Poultry Res. v. 5, p. 246-253, 1996.
- FERNANDES, V.A.G. Perfil nutricional e qualitativo da farinha de vísceras de aves com foco em sua utilização como ingrediente protéico em rações para organismos aquáticos. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Aquicultura, do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Santa Catarina, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Aquicultura. Florianópolis, SC. 64p. 2011.
- FOX, J.M., DAVIS, D.A., WILSON, M., LAWRENCE, A.L. Current Status of Amino Acid Requirement Research with Marine Penaeid Shrimp. En: L. Elizabeth Cruz Suárez, Denis Ricque Marie, Mireya Tapia Salazar, Martha G. Nieto López, David A. Vilareal Cavazos, Ana C. Puello, Cuz y Armando Garcia Ortega. Avances en

- Nutrición Acuícola VIII. VIII Simposium Internacional de Nutrición Acuicola. 15-17 Noviembre. Universidad Autónoma de Nuevo León. Monterey, Nuevo León, México , 2006.
- GATLIN, D.M., BARROWS, F.T., BROWN, P., DABROWSK, K., GAYLORD, G., HARDY, R.W., HERMAN, E., HU, G., KROGDAHL, A., NELSON, R., OVERTURE, K., RUST, M., SEALEY, W., SKONBERG, D., SOUZA, E.J., STONE, D., WILSON, R., WURTELE, E. Expanding the utilization of sustainable plant products in aquafeeds: a review. *Aquaculture Research*, v. 38, p. 551-579, 2007.
- GUIMARÃES, I.G., PEZZATO, L.E., BARROS, MM. Amino Acid availability and protein digestibility of several protein sources for Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Aq.Nutr.* 14, 396-404, 2008.
- HARDY, R.W. Alternate protein sources for salmon and trout diets. *Animal Feed Sci. Tech.*, v. 59, p. 71-80, 1996.
- HARDY, R.W. New developments in aquatic feed ingredients, and potential of enzyme supplements. In: Cruz -Suárez, L.E., Ricque-Marie, D., Tapia-Salazar, M., Olvera-Novoa, M.A. y Civera-Cerecedo, R., (Eds.). *Avances en Nutrición Acuícola V. Memorias del V Simposium Internacional de Nutrición Acuícola*. p.19-22. Mérida, Yucatán, Mexico, 2000.
- HARDY, R.W., TACON, A.G.J. Fish meal: historical uses, production trends and future outlook for supplies. In: Stickney, R.R., MacVey, J.P. (Eds.), *Responsible Marine Aquaculture*. CABI Publishing, New York, p. 311–325. 2002.
- HARDY, R.W. Worldwide Fish Meal Production Outlook and The Use of Alternative Protein Meals for Aquaculture. En: L. Elizabeth Cruz Suárez, Denis Ricque Marie, Mireya Tapia Salazar, Martha G. Nieto López, David A. Vilareal Cavazos, Ana C. Puella, Cuz y Armando Garcia Ortega. *Avances en Nutrición Acuícola VIII. VIII Simposium Internacional de Nutrición Acuicola*. Universidad Autónoma de Nuevo León. Monterey, Nuevo León, México. p. 410-419. 2006.
- HERTRAMPF, J., PIEDAD-PASCUAL, F. *Handbook on Ingredients for Aquaculture Feeds*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands. 573 pp, 2000.

- JOHNSON, M. L., PARSONS, C. M., FAHEY G. C., MERCHEN, N. R., ALDRICH, C. G. Effects of species raw material source, ash content, and processing temperature on amino acid digestibility of animal by-product meals by cecectomized roosters and ileally cannulated dogs. *J Anim Sci.*, p.1112-1122, 1998.
- KWANYUEN, P., BURTON, J.W. A Modified Amino Acid Analysis Using PITC Derivatization for Soybeans with Accurate Determination of Cysteine and Half-Cystine. *J Am Oil Chem Soc.*, v. 87, p. 127–132, 2010.
- LEMOS, D.E.L., NUNES, A.J.P. Prediction of culture performance of juvenile *Litopenaeus vannamei* by in vitro (pH-stat) degree of feed protein hydrolysis with species-specific enzymes. *Aquaculture Nutrition*, v.14, p. 181–191, 2008.
- MARIOTTI, F., TOME, D. MIRAND, P.P. Converting nitrogen into protein – beyond 6.25 and Jones’ factors. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 48, 177–184, 2008.
- MEEKER, D.L., HAMILTON, C.R. An overview of the rendering industry. *Essential Redering*. David L. Meeker (Ed.). National Renders Association, NRA. p. 195 – 212, 2006.
- MILLAMENA, O.M., BAUTISTA-TERUEL, M.N., KANAZAWA, A. Methionine requirement of juvenile tiger *Penaeus monodon* Fabricius. *Aquaculture*, v. 143, p. 403-410, 1996.
- MOORE, G.R.P., MARTELLI, S.M., GANDOLFO, C.A., PIRES, A.N., LAURINDO, J.B. Queratina de penas de frango: extração, caracterização e obtenção de filmes. *Ciênc. tecnol. Aliment.*, v.26, p. 421-427, 2006.
- MOORE, J.C., DE VRIES, J.W., LIPP, M., GRIFfITHS, J.C., ABERNETHY, D.R. Total Protein Methods and Their Potential Utility to Reduce the Risk of Food Protein Adulteration. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, v. 9, p. 330 a 357, 2010.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL. Nutrient Requirements of Fish. National Academy of Sciences. 115p., 1993.

- RABOBANK. Animal Proteins. Costs and Commodities. Cost function developments in the animal protein industries. 2008. Disponível em: http://far.rabobankamerica.com/app/content/fa_document/item/555. Acessado em 08 de Novembro de 2010.
- ROSTAGNO, H.S., ALBINO, L.F.T., DONZELE, J.L., GOMES, P.C., OLIVEIRA, R.F., LOPES, D.C., FERREIRA, A.S., BARRETO, S.L.T. Tabelas brasileiras para Aves e Suínos: Composição de alimentos e exigências nutricionais. Viçosa, UFV, 186p. 2005.
- SCAPIM, M.R.S., LOURES, E.G., ROSTAGNO, H., CECON, P.R., SCAPIM, C.A. Avaliação nutricional da farinha de penas e de sangue para frangos de corte submetida a diferentes tratamentos térmicos. *Acta Scientiarum. Animal Sciences* Maringá, v. 25, p. 91-98, 2003.
- SIBBALD, I.R. Estimation of bioavailable amino acids in feedingstuffs for poultry and pigs: A review with emphasis on balance experiments. *can. J. Anim. Sci.*, v. 67, p. 221-300, 1987.
- SMITH, D.M., TABRETT, S.J., GLENCROSS, B.D., IRVIN, S.J., BARCLAY, M.C. 2007. Digestibility of lupin kernel meals in feeds for the black tiger shrimp, *Penaeus monodon*. *Aquaculture*, v. 264, p. 353 – 362, 2007.
- STILBORN, H.L., MORAN, E.T., GOUS, R.M., HARRISON, M.D. 1997. Effect of age on feather amino acid content in two broiler strain crosses and sexes. *J. Appl. Polutry Res.* v. 6, p. 205-209, 1997.
- SURESH, A.V. Formulating with less fishmeal: a case study of shrimp feeds. Bentoli Workshop on Fishmeal Use in Aquafeeds. February 26, 2007. Hyatt Regency, San Antonio Texas, USA.
- TACON, A.G.J. Nutritional studies in crustaceans and the problems of applying research findings to practical farming systems. *Aquacult. Nutr.*, v. 1, p. 165-174, 1996.
- TACON, A. G. J. The nutrition and feeding of farmed fish and shrimp. A training manual. 1. The essential nutrients. (GCP/RLA/075/ITA Field Document 2/E). Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO. Brasilia. 1987. 117p.

- TACON, A.G.J., AKIYAMA, D.M. Feed Ingredients. In: Crustacean Nutrition, Advances in World Aquaculture Vol. 6. (D'Abramo, L.R., Conklin, D.E. e Akiyama, D.M. eds). World Aquaculture Society, Baton Rouge, L.A., v.6, p. 411–472, 1997.
- TACON, A.G.J., CODY, J.J., CONQUEST, L.D., DIVAKARAN, S., FORSTER, I. DECAMP, O.E. Effect of culture system on the nutrition and growth performance of Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone) fed different diets. Aquaculture Nutrition, v. 8, p. 121-137, 2002.
- TACON, A.G.J., METIAN, M. Global overview on the use of fish meal and fish oil in industrially compounded aquafeeds: Trends and future prospects. Aquaculture, v. 285, p. 146–158., 2009.
- TACON, A.G.J., METIAN, M., HASAN, M.R. Feed ingredients and fertilizers for farmed aquatic animals Sources and composition FAO FISHERIES and aquaculture TECHNICAL PAPER 540 FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS Rome, 2009.
- TACON A.G.J., CAHYONO, E.W., SUGEMA, U.U.S., ZAUDJAT, C. e NATES, S. Replacement of fishmeal and marine proteins in practical diets for Pacific white shrimp using terrestrial land animal proteins. AQUA Culture Asia Pacific Magazine. p.12-17, 2010.
- YU, Y. 2006. Rendered products in shrimp aquaculture feeds. Essencial Redering. David L. Meeker (Ed.). National Renders Association, NRA. p.195 – 211, 2006.

Capítulo 5. Digestibilidade aparente da proteína e energia e aminoácidos disponíveis em dietas e ingredientes protéicos de origem animal e vegetal e o efeito de diferentes níveis de inclusão em uma dieta referência por juvenis de *Litopenaeus vannamei* em condições de alto desempenho

5.1. Introdução

A ração é um dos insumos mais importantes para a aquicultura e na criação de camarões marinhos é o principal custo de produção e representa cerca de 50% dos custos operacionais totais (Borges et al., 2007). Na produção animal, a formulação das rações é feita com base no conhecimento das exigências nutricionais da espécie alvo e nos nutrientes disponíveis nos ingredientes, pois apenas com este conhecimento será possível conhecer o custo benefício dos ingredientes e utilizar todo o potencial genético dos animais com os menores custos de produção (Sibbald, 1987; Fox et al., 2006).

Uma ração é tão boa quanto os seus ingredientes (Glencross, 2007), entretanto, além de conhecer a composição dos ingredientes é fundamental que se saiba qual é a disponibilidade dos seus nutrientes para que a dieta seja eficaz no desempenho e cause o menor impacto ambiental possível, uma vez que a ração foi identificada como um dos custos ambientais e econômicos mais significativos na produção animal em geral e na aquicultura em específico. Enquanto os animais aquáticos são mais eficientes na conversão da energia em proteína do que os ruminantes, a dependência da farinha e do óleo de peixe nas rações é alvo de críticas quanto à ética e ao impacto ambiental associados ao seu uso nas rações (Tacon e Akiyama, 1997, Tacon, 2006, Bartley et al, 2007; Tacon e Metian, 2008; Naylor et al., 2009).

Um estudo sobre a Análise do Ciclo de Vida (LCA) dos ingredientes utilizados nas rações para salmão apontou que a ração representa o maior aporte de energia e material na aquicultura intensiva por meio dos seus ingredientes que causam impacto ambiental ao longo da sua produção a partir do consumo de energia, aquecimento global, eutrofização e acidificação, toxicidade para a fauna aquática e uso da biota. Uma das conclusões do estudo é que o farelo de soja é três vezes menos impactante do que a farinha de peixe (Pelletier e Tyedmers, 2007), o que deve ser analisado com cautela uma

vez que a área agriculturável e a cadeia de insumos representam um custo ambiental considerável.

Além do impacto ambiental associado aos ingredientes usados na fabricação da ração, as mudanças no mapa de produção e utilização das commodities no mundo está redesenhando a oferta e a demanda mundial de alimentos. Para se manter competitiva a indústria de rações para animais aquáticos precisa avançar no conhecimento da disponibilidade de nutrientes nas condições existentes no país e seus efeitos no desempenho dos animais, na sua saúde e dos seus consumidores, controlando, por exemplo, a presença de contaminantes como antibióticos, bactérias e dioxinas (Sapkota et al., 2007; Hemre e Sandnes, 2008).

A farinha de peixe é tradicionalmente uma fonte de proteína importante para as rações de peixes e camarões carnívoros e onívoros e a dependência deste insumo além de ser uma preocupação crescente do ponto de vista ambiental e social (Tacon e Metian, 2008) expõe a indústria aos riscos associados à oferta, flutuação de preços e da qualidade e uma estratégia para reduzir estes riscos é a busca de ingredientes alternativos à farinha de peixe e ao óleo de peixe (Glencross, 2007). Estas alternativas são na maioria dos casos as outras commodities existentes mais do que os ingredientes inovadores em função da sua disponibilidade (Hardy, 1996).

Por este motivo, os estudos sobre o uso de ingredientes alternativos devem priorizar as commodities em função da sua disponibilidade e preço ao passo que os estudos sobre ingredientes alternativos inovadores devem considerar a sua disponibilidade para que os seus resultados atendam às necessidades da indústria.

O potencial de outras commodities para a substituição da farinha de peixe vem sendo objeto de diversos estudos com diferentes espécies de peixe como as trutas e salmões e em menor proporção com os camarões marinhos, no entanto, na maioria dos casos a aplicação destes resultados é limitada em face da diversidade de condições experimentais e da falta de caracterização dos ingredientes, o que não impede que a prática comum entre formuladores e pesquisadores de utilizar dados de outras espécies sem conhecer o seu grau de homologia persista (Glencross, 2011).

Para ser utilizada em dietas para salmão, uma fonte alternativa de proteína deve possuir no mínimo 350 g de proteína Kg⁻¹, o que restringe a lista de ingredientes

potenciais. Entre as opções existentes, as farinhas de peixe com qualidade e preço inferiores são as primeiras alternativas para a substituição da farinha de peixe de alta qualidade, seguida pelos subprodutos de origem animal e vegetal (Hardy, 1996).

Recentemente alguns autores têm alertado sobre a tendência de redução do uso de produtos de origem animal em função das flutuações na oferta e aspectos ligados à biossegurança que somados à demanda crescente da indústria de produção resultarão no aumento de preços e na intensificação do uso dos ingredientes de origem vegetal nas dietas conhecidas como *all-plant* ou *all-veg* (Amaya et al., 2007a, Gatlin et al., 2007, Suárez et al., 2009)

Uma avaliação ideal de um ingrediente é composta por: i- caracterização do processo de fabricação e da composição do ingrediente, ii- digestibilidade do ingrediente, iii- palatabilidade do ingrediente, iv- utilização do nutriente em termos de ganho de peso, conversão alimentar e sobrevivência e v- funcionalidade, que é a adequação ao processamento como ração (Glencross et al., 2007).

A digestibilidade é uma ferramenta importante para os estudos voltados à redução do uso da farinha de peixe em dietas para organismos aquáticos e é o principal e o mais complexo parâmetro sob o ponto de vista analítico. A mensuração da energia digestível e a digestibilidade de ingredientes significa quantificar os nutrientes ou energia ingerida que não é excretada nas fezes. Este é um dos melhores métodos para a avaliação da disponibilidade de nutrientes nos ingredientes uma vez que uma dieta balanceada contendo todos os nutrientes necessários pode não significar um bom desempenho já que a inclusão de ingredientes de baixa digestibilidade implica em menor disponibilidade de nutrientes para o crescimento (Lee e Lawrence, 1997).

A digestibilidade pode ser medida através de três métodos: o método *in vivo* direto, *in vivo* indireto e o método *in vitro*. O método *in vivo* indireto é o mais utilizado e consiste na formulação de uma dieta referência e de dietas teste que são uma mistura de parte da dieta referência com o ingrediente teste e todas as dietas, onde é adicionado um indicador indigerível, na maioria dos casos o óxido crômico. O cálculo da digestibilidade, chamada aparente, considera a diferença entre os nutrientes presentes na ração e nas fezes em proporção ao óxido crômico, que é indigerível (Forster et al., 2003, Smith e Tabrett, 2004).

O método *in vitro* é utilizado em diferentes espécies animais para a avaliação da digestibilidade da proteína em dietas completas e ingredientes. A avaliação da capacidade digestiva dos camarões é simulada de forma espécie específica com enzimas do próprio sistema digestivo (hepatopâncreas) dos camarões (Lemos et al., 2004).

Na reação, realizada através de um equipamento chamado pH-stat, a quebra ou hidrólise das cadeias de proteína, ou peptídeos, provoca quedas no pH que é corrigido e estabilizado continuamente através de um titulador automático. A quantidade de NaOH gasta corresponde ao grau de hidrólise da proteína que por sua vez é correlacionado com a digestibilidade (Lemos et al., 2004).

Enquanto que o método *in vivo* é o método tradicional e permite a determinação dos coeficientes de digestibilidade dos principais nutrientes, ao mesmo tempo é demorado e sujeito a muitas interferências. Já o método *in vitro* é mais recente e apesar dos avanços ainda está sendo aperfeiçoado e é considerado um método potencial, além de ser rápido e barato. Os dados obtidos através da digestibilidade *in vivo* estão sendo utilizados para ajustar a metodologia para a determinação da digestibilidade *in vitro* e os resultados obtidos através dos dois métodos apresentaram correlações para ingredientes de uma mesma origem e ingredientes com níveis de proteína acima de 80%, indicando uma relação próxima entre a quebra dos peptídeos pelas proteases *in vitro* e o processo de digestão *in vivo* (Lemos et al., 2009).

Os estudos sobre digestibilidade de ingredientes para camarões cultivados iniciaram na década de 60 a partir da determinação da digestibilidade de camarão congelado, farinha de peixe, diatomáceas e algas pelo *Penaeus japonicus* (Nose, 1964 apud Lee e Lawrence, 1997). Os estudos voltados para a digestibilidade de ingredientes utilizados em dietas comerciais para o *Litopenaeus vannamei*, *Penaeus monodon*, *Penaeus setiferus* avaliaram ingredientes de origem animal, tais como os derivados de pescado farinha de peixe (Lee, 1970; Akiyama et al., 1989; Merican et al., 1995; Brunson et al., 1997; Siccardi et al., 2006; Cruz-Suárez et al., 2007; Yang et al., 2009; Terrazas-Fierro et al., 2010); farinha de lula (Akiyama et al., 1989; Merican et al., 1995; Brunson et al., 1997; Siccardi et al., 2006; Terrazas-Fierro et al., 2010); farinha de caranguejo, camarão ou quitina (Clark et al., 1993; Akiyama et al., 1989; Merican et al., 1995; Brunson et al., 1997; Siccardi et al., 2006; Yang et al., 2009; Terrazas-Fierro et al., 2010); farinha de subprodutos de abatedouro de aves, bovinos e suínos tais como vísceras e penas de

frango (Siccardi et al., 2006; Cruz-Suárez et al., 2007; Yang et al., 2009; Terrazas et al., 2010) e farinha de carne e ossos de origem bovina ou porcina (Brunson et al., 1997; Yang et al., 2009; Terrazas et al., 2010), farinha de sangue (Siccardi et al., 2006); ingredientes protéicos de origem vegetal derivados de oleaginosas tais como: tremoço, farelo de algodão, farelo de amendoim, farelo de soja, concentrado protéico de soja e isolado protéico de soja (Akiyama et al., 1989; Merican et al., 1995; Brunson et al., 1997; Siccardi et al., 2006; Smith et al., 2007; Cruz-Suárez et al., 2009; Yang et al., 2009; Terrazas et al., 2010); cereais tais como a farinha de trigo, o farelo de trigo, o glúten de trigo, o glúten de milho, farelo de arroz e sorgo (Akiyama et al., 1989; Brunson et al., 1997; Siccardi et al., 2006; Yang et al., 2009; Terrazas et al., 2010); fontes de amido (Davis e Arnold, 1993, Davis e Arnold, 1995); ervilhas, feijão e outras leguminosas (Davis et al., 2002; Vasagam et al., 2007; Rivas-Vega et al., 2006) e subprodutos de destilaria (Siccardi et al., 2006).

O Brasil é um grande produtor de commodities de origem animal, especialmente aves, bovinos e suínos e de origem vegetal, tais como: soja, milho, arroz, trigo entre outras culturas agrícolas. Os subprodutos do processamento destes alimentos oferecem uma alternativa importante para a substituição da farinha de peixe e para isto devem ser avaliados nas condições encontradas no país, tais como clima e material genético na determinação da digestibilidade dos nutrientes e energia e a disponibilidade de aminoácidos, minerais e seus efeitos no desempenho dos camarões marinhos cultivados no Brasil, à exemplo do que tem sido feito com a tilápia (Furuya et al., 2010).

A falta de estudos criou uma carência por conhecimentos sobre as concentrações de aminoácidos biodisponíveis nos ingredientes e exigidos pelos animais. Apenas com este conhecimento será possível utilizar todo o potencial genético dos animais e obter menores custos de produção (Sibbald, 1987). As exigências de aminoácidos essenciais (AAE) dos camarões marinhos é um fator crítico para as formulações comerciais de custo mínimo e sem estas informações, bem como aquelas relacionadas à digestibilidade dos nutrientes, o custo-benefício dos ingredientes pode apenas ser estimado (Fox et al., 2006).

Este trabalho tem como objetivo avaliar a digestibilidade da matéria-seca, proteína e energia e a disponibilidade de aminoácidos de seis ingredientes protéicos: farinha de peixe do Chile, concentrado protéico de soja, farinha de vísceras de frango, glúten de

milho, farinha de carne e ossos e farinha de penas hidrolisadas incluídos em uma dieta referência para juvenis do camarão marinho *Litopenaeus. vannamei* em três níveis de inclusão, 10, 20 e 30%.

5.2. Materiais e Métodos

Ingredientes

A seleção dos ingredientes teve como critérios principais: a utilização de ingredientes protéicos, a sua disponibilidade no Brasil, a sua utilização pela indústria e o seu uso na fabricação de dietas para camarões marinhos no Brasil.

Foram escolhidos quatro ingredientes de origem animal: farinha de peixes do Chile (mistura de cavallinha e anchoveta), farinha de vísceras de frango, farinha de carne e ossos e farinha de penas hidrolisadas, além de dois ingredientes de origem vegetal: o concentrado protéico de soja e o glúten de milho 60, os quais foram moídos em um moinho de martelos Vieira Ltda. com peneira de 600µm para utilizar e homogeneizar todas as partículas dos ingredientes no padrão empregado pela indústria.

Os ingredientes foram analisados quanto à composição centesimal, energia e aminoácidos (Tabela 5.1).

Tabela 5.1- Composição dos ingredientes protéicos avaliados para dietas de juvenis de *Litopenaeus vannamei* com base matéria natural em g 100g⁻¹, exceto quando especificado: centesimal, energia bruta, extratos não-nitrogenados (ENN) e aminoácidos essenciais (AAE) e aminoácidos não essenciais (AANE): AAE: Arginina-ARG; Fenilalanina-FEN; Histidina-HIS; Isoleucina-ISO; Leucina-LEU; Lisina-LIS; Metionina-MET; Treonina-TRE; Triptofano-TRI; Valina-VAL. AANE: Alanina-ALA; Ác. aspártico-ASP; Cistina-CIS; Glicina-GLI; Ác. glutâmico-GLM; Prolina-PRO; Serina-SER e Tirosina-TIR.

	Farinha de peixe	Concentrado protéico de soja	Far. de vísceras de frango	Glúten de milho	Farinha de carne e ossos	Farinha de penas hidrolisadas
Nome em inglês	Fish meal	Soy protein concentrate	Poultry by-product meal	Corn gluten meal	Meat and bone meal	Hydrolysed feather meal
Código	FPX	CPS	FVI	GLM	FCO	PEN
IFN	5-01-977	5-08-038	5-03-798	5-02-900	5-00-388	5-03-795
AAE						
ARG	5,19	5,17	4,72	2,21	3,65	6,59
FEN	2,16	3,00	2,45	3,50	1,16	3,71
HIS	1,49	2,06	1,07	1,60	0,80	1,55
ISO	2,03	2,52	2,19	1,77	0,85	3,22
LEU	3,84	4,77	4,35	9,06	2,01	6,46
LIS	5,50	5,18	2,95	1,24	2,52	3,60
MET	3,50	1,32	1,73	3,17	0,58	0,87
TRE	2,29	2,27	2,24	1,84	0,96	3,38
TRI	0,08	0,10	0,08	nd	0,06	0,14
VAL	2,54	2,73	3,40	2,20	1,32	5,11
AANE						
ALA	3,90	2,62	3,16	6,05	3,39	3,93
ASP	4,53	6,67	3,90	3,51	1,83	5,43
CIS	0,26	0,85	5,49	2,36	0,03	8,95
GLI	5,44	2,56	5,22	1,58	7,14	6,21
GLU	7,27	10,95	6,20	12,76	4,02	8,40
PRO	3,16	3,20	4,90	6,07	4,13	7,05
SER	2,39	2,94	4,53	3,12	1,30	7,68
TIR	1,62	1,81	1,47	2,98	0,61	2,26
ΣAA	57,2	60,7	60,1	65,0	36,4	84,5
Nutriente	FPX	CPS	FVI	GLM	FCO	PEN
Umidade	7,24	6,41	11,20	7,27	4,54	6,53
Proteína bruta	60,25	60,91	58,37	66,09	42,60	81,54
Lípídeos totais	10,75	1,05	13,15	6,70	10,45	3,35
Fibra bruta	0,50	4,24	0,60	0,59	1,48	0,47
Cinzas	21,42	6,19	15,17	1,26	41,74	3,02
ENN	0,00	21,20	1,51	18,09	0,00	0,00
Energia bruta (MJ Kg ⁻¹)	21,53	20,06	21,59	24,99	14,37	24,10

IFN – International Feed Number (número internacional do ingrediente). n=2

No capítulo 3 estão descritas as características em relação à definição completa, processo de fabricação e utilização dos ingredientes, além da sua composição detalhada.

Dietas experimentais

Para a realização deste estudo, foi elaborada uma dieta referência para atender as exigências nutricionais do camarão marinho *L. vannamei* e a partir desta foram elaboradas dezoito dietas teste substituindo 10, 20 e 30% da dieta referência pela mesma quantidade de cada um dos seis ingrediente teste, resultando em proporções dieta referência: ingrediente teste iguais a 90:10, 80:20 e 70:30. O marcador utilizado para o cálculo da digestibilidade aparente foi o óxido crômico (Cr_2O_3) adicionado a cada dieta na proporção fixa de 0,5%. As formulações da dieta referência e das dezoito dietas teste estão listadas abaixo, na Tabela 5.2.

Os ingredientes das 19 dietas previamente moídos em peneira de 600 μm foram pesados e os micro ingredientes (premix, minerais, colesterol e óxido crômico) misturados em uma porção de 0,5 kg de farinha de trigo e adicionados a um misturador em Y (Marconi Equipamentos para Laboratório Ltda.) para homogeneização por 10 minutos. Em seguida os macro ingredientes e a mistura de micro ingredientes foram adicionados a uma batedeira planetária (G-Paniz BP 12 S) durante 10 minutos e em seguida foi adicionada cerca de 1,0 L de água fervente para obter a consistência suficiente para a moldagem seguido por uma segunda mistura de 15 minutos. A massa homogênea foi moldada na forma de bolas com peso aproximado de 250g e colocados em uma panela para cozimento à vapor durante 15 minutos onde atingiu a temperatura interna próxima a 60° C para em seguida ser transferida ainda quente para o moedor de carne (C.A.F.10) equipado com uma matriz de 2mm fabricada sob medida para aumentar a pressão e a temperatura da extrusão (moagem) que foi próxima a 65°C.

Os “macarrões extrusados” foram secos em estufas com ar forçado (Marconi, MA 035) reguladas na temperatura de 70°C, onde foram virados duas vezes antes de serem transformados em peletes de 5,0 mm com o auxílio de um multiprocessador. Os peletes foram colocados em sacos de polipropileno e o excesso de ar foi retirado para então serem armazenados em freezer a -15°C para utilização posterior.

Tabela 5.2- Formulação das dietas referência e teste contendo os ingredientes protéicos: farinha de peixe, concentrado protéico de soja, farinha de vísceras de frango, glúten de milho, farinha de carne e ossos e farinha de penas hidrolisadas incluídas nos níveis de 10, 20 e 30% na dieta referência para a determinação da digestibilidade da matéria-seca, proteína e energia de juvenis do *Litopenaeus vannamei*.

Dieta		D. Far. peixe			D. Conc. protéico de soja			D. Far. Visc. de frango			D. Glúten de milho			D. Far. de carne e ossos			D. Far. de penas hidrol.		
Alimento	Referência	10%	20%	30%	10%	20%	30%	10%	20%	30%	10%	20%	30%	10%	20%	30%	10%	20%	30%
Farinha de trigo, resíduo ¹	30,0	27,0	24,0	21,0	27,0	24,0	21,0	27,0	24,0	21,0	27,0	24,0	21,0	27,0	24,0	21,0	27,0	24,0	21,0
Far. de peixe do Chile ²	20,0	18,0	16,0	14,0	18,0	16,0	14,0	18,0	16,0	14,0	18,0	16,0	14,0	18,0	16,0	14,0	18,0	16,0	14,0
Farelo de soja 46% ¹	10,0	9,0	8,0	7,0	9,0	8,0	7,0	9,0	8,0	7,0	9,0	8,0	7,0	9,0	8,0	7,0	9,0	8,0	7,0
Farinha de vísceras de frango ³	8,0	7,2	6,4	5,6	7,2	6,4	5,6	7,2	6,4	5,6	7,2	6,4	5,6	7,2	6,4	5,6	7,2	6,4	5,6
Quirera de arroz ¹	6,0	5,4	4,8	4,2	5,4	4,8	4,2	5,4	4,8	4,2	5,4	4,8	4,2	5,4	4,8	4,2	5,4	4,8	4,2
Concentrado protéico de soja ⁴	5,0	4,5	4,0	3,5	4,5	4,0	3,5	4,5	4,0	3,5	4,5	4,0	3,5	4,5	4,0	3,5	4,5	4,0	3,5
Farinha de lula ⁵	5,0	4,5	4,0	3,5	4,5	4,0	3,5	4,5	4,0	3,5	4,5	4,0	3,5	4,5	4,0	3,5	4,5	4,0	3,5
Levedura de álcool ¹	4,0	3,6	3,2	2,8	3,6	3,2	2,8	3,6	3,2	2,8	3,6	3,2	2,8	3,6	3,2	2,8	3,6	3,2	2,8
Óleo de salmão ⁶	2,5	2,3	2,0	1,8	2,3	2,0	1,8	2,3	2,0	1,8	2,3	2,0	1,8	2,3	2,0	1,8	2,3	2,0	1,8
Solúvel de pescado ⁷	2,5	2,3	2,0	1,8	2,3	2,0	1,8	2,3	2,0	1,8	2,3	2,0	1,8	2,3	2,0	1,8	2,3	2,0	1,8
Lecitina ⁸	2,0	1,8	1,6	1,4	1,8	1,6	1,4	1,8	1,6	1,4	1,8	1,6	1,4	1,8	1,6	1,4	1,8	1,6	1,4
Fosfato monobicálcico ⁹	1,6	1,4	1,3	1,1	1,4	1,3	1,1	1,4	1,3	1,1	1,4	1,3	1,1	1,4	1,3	1,1	1,4	1,3	1,1
Prenix mineral e vitamínico ¹⁰	1,4	1,3	1,1	1,0	1,3	1,1	1,0	1,3	1,1	1,0	1,3	1,1	1,0	1,3	1,1	1,0	1,3	1,1	1,0
Fosfato monossódico ¹¹	1,0	0,9	0,8	0,7	0,9	0,8	0,7	0,9	0,8	0,7	0,9	0,8	0,7	0,9	0,8	0,7	0,9	0,8	0,7
Óxido crômico ¹²	0,5	0,5	0,4	0,4	0,5	0,4	0,4	0,5	0,4	0,4	0,5	0,4	0,4	0,5	0,4	0,4	0,5	0,4	0,4
Óxido de magnésio ¹³	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Colesterol ¹⁴	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
	100,0	90,0	80,0	70,0	90,0	80,0	70,0	90,0	80,0	70,0	90,0	80,0	70,0	90,0	80,0	70,0	90,0	80,0	70,0
Ingrediente teste																			
Far. de peixe do Chile ¹		10,0	20,0	30,0															
Concentrado protéico de soja ⁴					10,0	20,0	30,0												
Farinha de vísceras de frango ³								10,0	20,0	30,0									
Glúten de milho ¹⁵											10,0	20,0	30,0						
Far. de carne e ossos ¹⁶														10,0	20,0	30,0			
Farinha de penas hidrolizada ³																	10,0	20,0	30,0
Total	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

¹Guabi Nutrição Animal Ltda, Campinas, SP

²Pesquera San Jose, Santiago, Chile

³Agroniza, Jacarezinho, PR

⁴Imcopa, Araucária, PR

⁵Coomarpes Ltda. Mar Del Plata, Argentina

⁶Pacific Star, Chile

⁷Tecnologia de Alimentos, Peru

⁸Sina, Bauru Alimentos Ltda., Bauru, SP

⁹Serrana, Araxá, MG

¹⁰DSM, São Paulo, SP*

¹¹Cadisa, Diadema, SP

¹²Vetec, Duque de Caxias, RJ (min 99% pureza, 60,5% de cromo).

¹³Magnesium do Brasil Ltda, Messejana, CE

¹⁴Impextraco, Curitiba, PR (colesterol 92%, esteróis totais 99%)

¹⁵Corn Products, Cabo de Santo Agostinho, PE

¹⁶Sebosol, São José do Rio Preto, SP

*Rovimix Camarão Intensivo, DSM Produtos Nutricionais Brasil Ltda. São Paulo, Brasil. Níveis de garantia por kg de dieta (dieta referência, dieta teste com inclusão de 10%, dieta teste com inclusão de 20%, dieta teste com inclusão de 30%): vitamina A, 17.500/16.250/13.750/12.500/ IU; vitamina D3, 4.900/4.550/3.850/3.500 IU; vitamina E, 350/325/275/250 UI; vitamina K3, 7/6,5/5,5/5 mg; vitamina B1, 70/65/55/50 mg; vitamina B2, 56/52/44/40 mg; vitamina B6; 0,14/0,13/0,11/0,1 mg; ác. Nicotínico, 210/195/165/150 mg; ác. Pantotênico 140/130/110/100 mg; biotina, 2,1/2,0/1,7/1,5 mg; ác. fólico, 17,5/16,3/13,8/12,5 mg; vitamina C, 350/325/275/250 mg; colina, 700/650/550/500 mg; inositol, 280/260/220/200 mg; ferro 28/26/22/20 mg; cobre, 49/45,5/38,5/35 mg; cobre quelado, 21/20/17/15 mg; zinco, 147/136,5/115,5/105 mg; zinco quelado, 63/58,5/49,5/45 mg; manganês, 56/52/44/40 mg; selênio, 0,21/0,2/0,17/0,15 mg; selênio quelado, 0,21/0,2/0,17/0,15 mg; iodo, 2,1/2,0/1,7/1,5 mg; cobalto, 0,4/0,4/0,3/0,3 mg; cromo 1,1/1,0/0,9/0,8 mg; veículo q.s.p., 14/13/11/10 g.

As determinações de digestibilidade foram realizadas em duas etapas, ou rodadas, e em cada uma delas foram avaliados três ingredientes em três níveis de inclusão, totalizando 18 dietas contendo ingredientes teste mais uma dieta referência. Cada dieta foi ofertada em triplicada, segundo o delineamento experimental apresentado na Tabela 5.3, abaixo:

Tabela 5.3- Delineamento experimental das avaliações da digestibilidade de seis ingredientes protéicos nos níveis de inclusão de 10, 20 e 30% para juvenis do *L. vannamei* em duas rodadas experimentais.

	Dieta	Ingrediente teste	Inclusão do ingrediente teste
Rodada 1	REF	Dieta referência	-
	FPX10	Farinha de peixe	10
	FPX20	Farinha de peixe	20
	FPX30	Farinha de peixe	30
	CPS10	Concentrado protéico de soja	10
	CPS20	Concentrado protéico de soja	20
	CPS30	Concentrado protéico de soja	30
	FVI10	Farinha de vísceras de frango	10
	FVI20	Farinha de vísceras de frango	20
	FVI30	Farinha de vísceras de frango	30
Rodada 2	REF	Dieta referência	-
	GLM10	Glúten de milho	10
	GLM20	Glúten de milho	20
	GLM30	Glúten de milho	30
	FCO10	Farinha de carne e ossos	10
	FCO20	Farinha de carne e ossos	20
	FCO30	Farinha de carne e ossos	30
	PEN10	Farinha de penas hidrolisadas	10
	PEN20	Farinha de penas hidrolisadas	20
	PEN30	Farinha de penas hidrolisadas	30
Rodada 1 a	CPS30	Concentrado protéico de soja	30
Rodada 2	FVI30	Farinha de vísceras de frango	30

A dieta referência e as dietas teste foram analisadas quanto à proteína bruta, extrato etéreo, fibra bruta, extratos não-nitrogenados, matéria-seca, matéria mineral e energia bruta (tabela 5.4) e aminoácidos essenciais e não-essenciais (tabela 5.5). As dietas CPS30 e FVI30 também foram avaliadas em um teste de longa duração que compreendeu a oferta destas dietas durante 66 dias em paralelo às rodadas 1 e 2 e em triplicata.

Ao final de cada uma das rodadas foram determinados os coeficientes de digestibilidade da matéria seca, proteína bruta, energia bruta e os parâmetros de desempenho em termos de taxa de crescimento (g semana^{-1}), fator de conversão alimentar e sobrevivência.

Tabela 5.4- Composição centesimal e da energia bruta determinada para as dietas referência e teste elaboradas para a avaliação da digestibilidade de ingredientes para juvenis no *L. vannamei* com base matéria natural em g 100g⁻¹ exceto quando especificado¹

Dieta	PB	EE	FB	ENN	MS	MM	EB (MJ Kg ⁻¹)
REFERÊNCIA	39,0	8,2	0,8	34,8	92,5	9,7	20,0
FPX10	43,1	9,2	0,8	31,3	95,0	10,5	20,0
FPX20	45,3	9,1	0,4	28,1	93,6	10,7	19,8
FPX30	47,2	9,1	0,4	24,4	92,1	10,9	19,9
CPS10	40,9	8,0	1,1	32,3	92,2	10,0	19,5
CPS20	42,9	7,2	1,4	31,5	91,9	9,0	19,6
CPS30	45,9	6,2	1,4	29,8	92,0	8,7	20,4
FVI10	41,3	9,6	0,6	31,7	93,7	10,5	20,1
FVI20	43,4	9,8	0,5	28,5	93,4	11,1	20,2
FVI30	46,0	10,6	0,4	26,7	95,5	11,9	20,5
GLU10	42,9	9,4	0,4	32,9	94,9	9,4	20,9
GLU20	45,1	9,1	0,7	30,1	93,4	8,3	21,2
GLU30	46,9	8,9	0,7	31,4	95,4	7,4	21,1
FCO10	40,5	9,2	0,5	29,7	93,4	13,4	18,2
FCO20	40,1	9,2	0,5	29,0	95,4	16,6	18,9
FCO30	40,7	9,3	0,6	24,2	94,7	19,9	17,9
PEN10	44,0	9,2	0,7	31,4	94,8	9,4	20,2
PEN20	48,0	9,2	0,5	28,4	94,9	8,7	20,7
PEN30	52,6	9,3	0,4	24,4	94,9	8,1	21,2

¹PB – proteína bruta, EE – extrato etéreo, FB – fibra bruta, ENN – extrato não nitrogenado, MS – matéria-seca, MM – matéria mineral, EB – energia bruta. FPX – farinha de peixe, CPS – concentrado protéico de soja, FVI – farinha de vísceras de frango com baixa gordura, GLM – glúten de milho, FCO – farinha de carne e ossos e PEN – farinha de penas hidrolisadas. Valores 10, 20 e 30 após o código do ingrediente significam os níveis de inclusão do ingrediente teste na dieta referência.

Tabela 5.5- Composição determinada dos aminoácidos essenciais (AAE) e aminoácidos não-essenciais (AANE) das dietas referência e teste elaboradas para a avaliação da digestibilidade de ingredientes protéicos para juvenis no *L. vannamei* com base matéria natural em g 100g⁻¹ da dieta. AAE: Arginina-ARG; Fenilalanina-FEN; Histidina-HIS; Isoleucina-ISO; Leucina-LEU; Lisina-LIS; Metionina-MET; Treonina-TRE; Valina-VAL. AANE: Alanina-ALA; Ác. aspártico-ASP; Cistina-CIS; Glicina-GLI; Ác. glutâmico-GLM; Prolina-PRO; Serina-SER e Tirosina-TIR.¹

Dieta	AAE (g 100g ⁻¹)									AANE (g 100g ⁻¹)							
	ARG	FEN	HIS	ISO	LEU	LIS	MET	TRE	VAL	ALA	ASP	CIS	GLI	GLU	PRO	SER	TIR
REFERÊNCIA	3,19	1,59	1,29	1,25	2,99	3,20	1,81	1,41	1,55	2,05	3,30	1,42	2,12	6,27	2,37	1,90	1,16
FPX10	3,65	1,75	1,52	1,36	3,40	3,77	2,19	1,59	1,67	2,37	3,77	1,20	2,39	6,82	2,54	2,11	1,28
FPX20	3,78	1,85	1,66	1,51	3,69	4,25	2,43	1,71	1,84	2,56	4,02	1,03	2,51	6,88	2,54	2,12	1,39
FPX30	4,04	1,88	1,85	1,51	3,76	4,53	2,56	1,86	1,88	2,76	4,03	0,89	2,68	6,99	2,56	2,21	1,47
CPS10	3,39	1,73	1,37	1,30	3,39	3,53	1,77	1,53	1,56	2,21	3,87	0,63	2,26	7,03	2,58	2,09	1,26
CPS20	3,62	1,87	1,44	1,50	3,58	3,67	1,70	1,62	1,70	2,22	4,15	0,55	2,23	7,36	2,62	2,19	1,33
CPS30	3,82	2,03	1,54	1,63	3,87	3,90	1,67	1,76	1,82	2,30	4,52	0,85	2,29	7,87	2,76	2,39	1,45
FVI10	3,48	1,75	1,27	1,53	3,41	3,31	1,68	1,61	1,85	2,24	3,43	0,95	2,56	6,43	2,82	2,29	1,26
FVI20	3,71	1,78	1,20	1,58	3,35	3,16	1,83	1,69	1,92	2,35	3,48	1,42	2,81	6,28	3,05	2,62	1,28
FVI30	3,71	1,86	1,18	1,66	3,70	3,14	1,46	1,71	2,07	2,42	3,43	1,57	3,10	6,13	3,33	2,84	1,29
GLM10	3,07	1,81	1,34	1,48	4,03	3,06	1,90	1,49	1,68	2,40	3,30	0,41	2,12	6,90	2,80	2,04	1,34
GLM20	3,06	2,07	1,41	1,54	4,99	2,89	2,12	1,63	1,76	2,84	3,49	0,36	2,13	7,89	3,32	2,25	1,55
GLM30	3,26	2,45	1,52	1,78	6,29	2,92	2,39	1,79	2,01	3,42	3,78	0,55	2,21	9,19	3,97	2,54	1,91
FCO10	3,37	1,64	1,30	1,27	2,74	3,28	1,81	1,29	1,65	2,75	3,31	1,42	2,77	6,53	2,78	1,93	1,19
FCO20	3,34	1,50	1,20	1,09	2,50	3,04	1,63	1,31	1,47	2,82	2,93	1,16	3,24	6,05	2,98	1,85	1,09
FCO30	3,41	1,47	1,32	1,10	2,48	3,02	1,54	1,26	1,49	2,96	2,70	0,96	3,76	5,79	3,19	1,77	1,05
PEN10	3,59	1,88	1,31	1,54	3,14	3,37	1,57	1,55	1,99	2,70	3,70	2,11	2,64	6,74	3,11	2,52	1,32
PEN20	3,78	2,01	1,44	1,64	3,35	3,20	1,34	1,72	2,19	2,87	3,76	2,87	2,93	6,72	3,56	3,11	1,39
PEN30	4,20	2,19	1,31	1,80	3,67	3,23	1,43	2,02	2,49	4,12	4,05	3,39	3,33	6,95	4,16	3,84	1,54

³FPX – farinha de peixe, CPS – concentrado protéico de soja, FVI – farinha de vísceras de frango com baixa gordura, GLM – glúten de milho, FCO – farinha de carne e ossos e PEN – farinha de penas hidrolisadas. Valores 10, 20 e 30 após o código do ingrediente significam os níveis de inclusão do ingrediente teste na dieta referência.

Sistema de digestibilidade

A pesquisa foi realizada nas instalações do Laboratório de Aquicultura (LAM) localizado na Base Norte do Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, USP em Ubatuba. O sistema de digestibilidade utilizado nesta pesquisa compreendeu 36 tanques de 500 L distribuídos em dois sistemas de recirculação independentes, denominados sistema 1 e sistema 2, conforme detalhado no capítulo 2. Cada tanque possuía uma coluna de decantação individual para a concentração dos sólidos (fezes e sobras de ração) adaptada para o encaixe de um tubo Falcon de 50 ml para a retirada das amostras e um plug de 60mm para facilitar o acesso durante a limpeza. Um fundo falso regulável evitava o acesso dos animais à bacia central sem impedir a passagem da ração não consumida e das fezes.

Cada sistema possuía um sistema de filtração, aquecedores para a manutenção da temperatura da água em 27°C. A vazão em cada tanque foi mantida em 4 L min⁻¹ e a oxigenação individual foi fornecida através de uma pedra difusora de ar colocada a 2/3 da coluna d'água para evitar a re-suspensão dos sólidos.

A água que abastecia os sistemas era bombeada diretamente do mar na enseada do Flamengo durante as marés cheias e armazenada em reservatório elevado e antes do seu uso na reposição da água perdida durante as rotinas de limpeza e coleta passava por filtros de cartucho de 5 e 25 µm e filtro ultravioleta.

As análises da água compreenderam os níveis de oxigênio e temperatura duas vezes por semana e a análise da salinidade, pH, nitrito e nitrato semanalmente. As amostras para as análises de oxigênio dissolvido, salinidade e temperatura foram coletadas em tanques de cada um dos sistemas experimentais e realizadas com um equipamento YSI 85 (YSI, Yellow Springs, EUA) e a salinidade através de refratômetro. As amostras para as análises de amônia, nitrito e nitrato foram coletadas na saída dos tanques experimentais e analisadas através de um kit comercial para água salgada (Alfakit, Florianópolis, SC). Os resultados da amônia foram convertidos em amônia não-ionizada utilizando uma tabela de conversão da amônia total em amônia não-ionizada para água salgada em função do pH e da temperatura (Vinatea, 1997).

Manejo dos animais

As pós-larvas de camarão foram fornecidas pela Aquatec Industrial Pecuária Ltda. no estágio de PL10 e oriundas de um mesmo lote. Os animais foram cultivados por 20 dias em dois tanques de 1000L na densidade de 2,5 PL's L⁻¹ em água clara e alimentadas exclusivamente com ração comercial (Potimar 40 PL, Guabi Nutrição Animal Ltda.) e em seguida foram transferidas para um tanque de 7.500 L com água na salinidade de 35 psu e 27°C na densidade de 210 indivíduos por m² e em sistema heterotrófico indoor. Os camarões foram alimentadas com ração comercial Potimar 38 Active, fabricada pela Guabi Nutrição Animal Ltda (os níveis de garantia são apresentados no capítulo 2) até atingirem um peso médio de $4,7 \pm 1,47\text{g}$ e foram estocados na densidade média de 46 indivíduos por tanque, ou 63,8 indivíduos por m², e realizada a primeira rodada ou etapa de digestibilidade com duração de 33 dias. No final da primeira rodada os camarões foram redistribuídos igualmente entre os tanques e os animais que faltaram foram repostos com os camarões do estoque reserva. A densidade de estocagem na segunda rodada ou etapa foi igual a 44 camarões por tanque, ou 61,1 camarões por m², com peso médio de $10,4 \pm 2,0\text{g}$ e a duração foi igual a 30 dias.

Nas duas rodadas os camarões foram alimentados com ração comercial (Potimar 38 Active, Guabi Nutrição Animal Ltda.) até o início do período de adaptação às dietas experimentais cuja duração foi de 7 dias. O alimento foi fornecido por meio de alimentadores automáticos de esteira com ciclo de funcionamento de 20 horas (Baby belt feeder, Aquatic Ecosystems, EUA) de forma contínua das 00:00 até as 07:00 hs, compreendendo 80% da alimentação e manualmente às 12:00 hs, compreendendo os 20% restantes da alimentação e com uma duração de 30 minutos. As quantidades foram estabelecidas de acordo com a tabela de alimentação para o *Litopenaeus vannamei* apresentada por (Forster et al., 2003) na qual a quantidade de alimento varia de acordo com a temperatura da água e o tamanho dos animais. Toda a ração não consumida era retirada diariamente das colunas de decantação após as alimentações.

Coleta e conservação das amostras de fezes

As coletas das amostras de fezes foram realizadas diariamente, com exceção dos sábados e domingos. Previamente às coletas a partir das 7:00 hs era realizada a limpeza das unidades experimentais por meio de dois procedimentos. Às segundas quartas e sextas-feiras era realizada uma limpeza completa que compreendia a retirada da sujeira

acumulada na bacia central dos tanques e nas colunas de decantação. Para a limpeza da bacia central dos tanques a pedra de aeração era retirada para evitar a re-suspensão das partículas, o fundo falso era afastado e a bacia central era limpa com um esfregão.

Após a limpeza da bacia central era feita a lavagem do interior das colunas de decantação, o registro central era fechado e o tubo Falcon removido para esvaziar a coluna de decantação. Em seguida era retirado o plug com o auxílio de uma chave inglesa e feita a limpeza usando uma mangueira com jatos de água doce em alta pressão e ao final o plug e o tubo Falcon eram recolocados e o registro central reaberto. A limpeza dos 36 tanques por 2 pessoas levava cerca de 50 minutos. Às terças e quintas era realizada uma limpeza simples que compreendia o fechamento do registro central, a retirada do tubo Falcon e a abertura total do registro seguido pelo seu fechamento total até o esvaziamento da coluna de decantação repetidamente por três vezes. A duração da limpeza simples dos 36 tanques por 2 pessoas levava cerca de 30 minutos.

Uma hora após a limpeza diária realizava-se a primeira coleta da manhã, seguida por mais duas coletas com intervalo de 1 hora totalizando três coletas que eram repetidas à tarde após a alimentação dos camarões e uma limpeza simples. Cada coleta de amostras era realizada em sequência e iniciava com a abertura parcial dos tubos Falcon de todos os tanques para facilitar a decantação das partículas a caminho do tubo Falcon tomando cuidado para não perder amostras. Após abrir o tubo Falcon do último tanque, iniciava-se a coleta a partir do primeiro tanque trocando rapidamente o tubo com a amostra por um tubo vazio. O tubo com a amostra tinha o sobrenadante descartado e a amostra era transferida para um segundo tubo vazio identificado com o número do tanque.

Imediatamente após a coleta as amostras foram cuidadosamente lavadas com água destilada para a retirada dos sais (Forster et al., 2003) para evitar interferências nos resultados analíticos e filtradas à vácuo (Millipore) com filtros qualitativos e armazenadas em tubos Falcon de 15ml a -15°C até o final dos ensaios quando então foram liofilizadas e congeladas a -15°C.

Análises químicas

As análises de umidade, cinzas, proteína das dietas e ingredientes, lipídeos e fibra foram realizadas no Labtec em Campinas, SP. As análises de proteína das fezes foram realizadas na Central Analítica do Instituto de Química da USP. As análises de cinza e umidade foram realizadas segundo AOAC (1995). A proteína bruta ($N \times 6,25$) foi determinada nas dietas e nos ingredientes pelo método Dumas (AOAC, 1995) em um analisador de nitrogênio Leco Truspec (Leco Corporation, St. Joseph, MI, EUA) e nas fezes através de um auto analisador C,H,N Perkin-Elmer 2400 Ser. 2 (Perkin-Elmer, Waltham, Massachusetts, USA) com acetanilida e ácido benzóico. Os lipídeos foram determinados utilizando um extrator de gordura com hexano ANKOM XT-15 Extractor (ANKOM Technologic Corp, EUA), a fibra foi analisada através da digestão ácida e básica utilizando um sistema FiberCap 2021/2023 (Foss Tecator, Dinamarca), o extrato não-nitrogenado (ENN) foi determinado pelo conteúdo de matéria seca da amostra menos a soma da proteína, lipídeos, fibras e cinzas.

Os aminoácidos foram determinados através do HPLC após digestão ácida e básica para o método de análise por troca iônica conforme descrito no item 4.2 do capítulo 4.

O cromo foi analisado na Central Analítica da Universidade de São Paulo. As amostras foram calcinadas em mufla a 1000°C por 10 minutos e em seguida fundidas com Tetraborato de Lítio em mufla a 1000°C por 15 minutos. O material fundido é retomado com HCl a 50% em chapa a 100°C até a completa dissolução e diluído com água ultrapura para a leitura por Espectrometria de Emissão Atômica (ICP-AES) em um equipamento Arcos-SOP (Spectro Analytical Instruments GmbH). Previamente às análises das amostras foi preparadas uma solução padrão de Cromo para ICP-AES, "Specsol" ($1,000 \text{ mg.g}^{-1} \pm 0,003 \text{ mg.g}^{-1}$), rastreado ao Padrão *Standard Reference Material 3112a – NIST – USA*. Com o padrão cromo preparou-se quatro diluições com água ultrapura e HCl a 5% nas concentrações de 0, 1, 2, 5 e 10ppm e utilizando-se o software Smart Analyser Vision do próprio equipamento ICP-AES as amostras foram lidas e geraram uma curva para o cálculo das concentrações de cromo nas amostras. A fim de verificar a quantidade de cromo na fonte de cromo utilizada como marcador nas rações foi analisada em duplicata e os resultados foram: 60,25 e 60,82%, o que difere do valor calculado pela massa atômica que é igual a 68,42% o que pode ser atribuído à umidade da amostra.

As análises de energia bruta foram realizadas no Instituto de Zootecnia, IZ, em Nova Odessa, São Paulo através de bomba calorimétrica Ika – Labortechnik Modelo C 5003 – Control (IKA Werke Staufen, Alemanha).

Alguns estudos têm demonstrado efeitos do ambiente aquático sobre a integridade do pelete de ração através da redução da estabilidade física e aumento da lixiviação dos nutrientes resultando na diminuição do valor nutricional da ração (Obaldo et al., 2002; Cruz-Suárez et al., 2007, Dias et al., 2009) e a determinação das perdas de matéria-seca e nutrientes em estudos sobre digestibilidade contribuem para tornar estes dados mais precisos e neste sentido. A fim de avaliar as perdas por lixiviação incidindo sobre as dietas utilizadas neste estudo as mesmas foram submetidas à análises de lixiviação segundo o método descrito por Obaldo et al. (2002) e Dias et al. (2009).

Um agitador com banho maria agitador (Lindberg/ Blue M modelo RSW B 3222 A-2) com movimento horizontal contínuo (vai e vem) de 100 cpm foi utilizado para reproduzir a lixiviação das dietas no tanque experimental utilizando a mesma água onde os camarões foram mantidos com salinidade igual a 35 PSU e temperatura igual a 27°C. Três repetições de 2g para cada ração testada foram imersas em erlenmeyers de 250 ml por 5 minutos, tempo médio em que os peletes de ração permaneciam no fundo do tanque até serem ingeridos.

A água contendo a amostra foi filtrada à vácuo em filtros de fibra de vidro de 0,7 µm Millipore AP4004700 (Millipore, Billerica, EUA); previamente secos em estufa a 105°C por 24h, resfriados em dissecador, pesados e identificados; e a amostra cuidadosamente lavada com água destilada para a remoção do sal e seca para o cálculo da massa. A estabilidade do pellet foi calculada a partir da relação: matéria-seca lixiviada da ração : matéria-seca da ração original multiplicada por 100% (Obaldo et al., 2002). Os coeficientes de digestibilidade da matéria seca foram corrigidos em relação à perda de matéria-seca em suas respectivas dietas.

Cálculos

Foram calculados os seguintes índices para a comparação do perfil de aminoácidos das dietas:

AA escore = Participação % do AA no somatório dos AAes / níveis recomendados do AA em % do somatório dos AAes, sem o triptofano (Tacon et al., 2009). (1)

AAs abaixo do recomendado = número de AAs com AA escore inferior a 75%, o que corresponde a 75% da recomendação. (2)

AA limitante = AA com o menor nível observado. (3)

Índice de AA = $^{3}aa1/rec1 \times aa2/rec2 \dots x aan/recom$ (Lemos e Nunes, 2008) (4)

Escore médio = média dos AA escore. (5)

Escore químico = escore do AA limitante (com o menor nível). (Tacon, 1987) (6)

Déficit de AA = déficit1 + déficit 2 ...+ déficit n / proteína do ingrediente (Lemos e Nunes, 2008). (7)

Proteína verdadeira = soma dos AA's (sem o triptófano). (8)

Nitrogênio não-protéico = N x 6,26 - proteína verdadeira (9)

Os cálculos da digestibilidade da proteína foram feitos de duas formas. A primeira correspondeu à digestibilidade da proteína bruta obtida a partir dos níveis de nitrogênio nos ingredientes, nas dietas e nas fezes multiplicado pelo fator de conversão em proteína igual a 6,25. A segunda forma correspondeu à digestibilidade da proteína verdadeira obtida a partir da proteína verdadeira resultante da soma dos aminoácidos essenciais e não essenciais dos ingredientes, dietas e fezes.

Os cálculos dos coeficientes de digestibilidade aparente da proteína bruta, proteína verdadeira, energia bruta e a disponibilidade de aminoácidos das dietas referência e teste foram realizados a partir da fórmula (Cho et al., 1982):

$$DA = 1 - (F/D \times iD/iF)$$

Onde: DA = coeficiente de digestibilidade aparente da matéria-seca (DAMS), proteína bruta (DAPB), energia bruta (DAE) ou disponibilidade aminoácidos (DAaa) das dietas; D = % do nutriente (ou MJ g⁻¹ de energia bruta) da dieta; F = % do nutriente (ou MJ g⁻¹ de energia bruta) das fezes; iD = porcentagem do indicador cromo na dieta; IF = % de indicador nas fezes.

Os coeficientes de digestibilidade aparente da matéria-seca, proteína bruta, proteína verdadeira, energia bruta e de disponibilidade de aminoácidos dos ingredientes avaliados foram calculados a partir da adaptação da fórmula (Bureau e Hua, 2006):

(9)

$$DA = DA_{\text{dieta teste}} + [(DA_{\text{dieta teste}} - DA_{\text{dieta referência}}) \times (N_{\text{dieta referência}} \times D_{\text{ref}} / N_{\text{dieta teste}} \times D_{\text{ingrediente}})]$$

Onde: DA = coeficiente de digestibilidade da matéria-seca (DAMS), proteína bruta (DAPB), proteína verdadeira (DAPV), energia (DAE) ou da disponibilidade de aminoácidos (DAaa) dos ingredientes; $N_{\text{dieta referência}}$ = % de participação da dieta referência na mistura; $N_{\text{dieta teste}}$ = % de participação do ingrediente teste na mistura; D_{ref} = % do nutriente (ou MJ g⁻¹ de energia bruta) da mistura da dieta referência (matéria natural); D_{ing} = % do nutriente (ou MJ g⁻¹ de energia bruta) do ingrediente teste (matéria natural).

Análises estatísticas

Os valores são expressos como média e desvio padrão exceto quando especificado. O efeito dos ingredientes e dos níveis de inclusão na digestibilidade foram analisados por meio de ANOVA de duas vias e as diferenças entre os coeficientes de digestibilidade aparente foram determinadas com o Teste de Tukey. As análises de correlação de Pearson foram aplicadas aos dados relacionando os coeficientes de digestibilidade aparente à composição das dietas e dos ingredientes. As diferenças foram consideradas significativas quando $P < 0,05$. Os testes foram realizados com o software Statistica 9.1 (StatSoft, Inc. Tulsa, OK, EUA).

5.3. Resultados

Qualidade da água

Os parâmetros de qualidade da água nas duas rodadas experimentais e nos dois sistemas experimentais apresentaram níveis de oxigênio dissolvido acima de 4,0 mg L⁻¹ e com pequenas variações entre 5,0 e 5,8 mg L⁻¹ na rodada 1 e 4,9 a 5,7 mg L⁻¹ na rodada 2. A temperatura apresentou uma amplitude maior e variou de 27,0 a 30,1 °C na

rodada 1 e de 25,1 a 30,5°C na rodada 2 onde se verifica uma tendência de queda (Tabela 5.6; Figura 5.1).

A temperatura média da água nos dois sistemas na rodada 1 (29,4°C) foi 2,0°C superior à temperatura média da água nos dois sistemas da rodada 2 (27,4°C), uma diferença de 8%. O sistema 1 apresentou uma maior amplitude de temperatura nas rodadas 1 e 2 (3,1°C e 3,5°C, respectivamente) em relação ao sistema 2 que foi igual a 1,9°C. As médias de temperatura apresentaram diferenças estatísticas significativas entre as rodadas ($P = 0,00000$) e entre os sistemas ($P = 0,00418$), no entanto a interação entre a rodada e o sistema não foi significativa.

A condutividade variou de 51,9 a 58,8 $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ na rodada 1 e 51,0 a 51,7 $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ na rodada 2. A salinidade variou pouco e apresentou valores entre 34,1 e 35,3 ‰ na primeira rodada e 33,4 a 33,9 ‰ na segunda rodada e o pH se manteve entre 8,2 e 8,5 nas duas rodadas.

As concentrações de amônia não-ionizada obtidos a partir da amônia total, pH e temperatura da água variaram de 0,02 a 0,03 15 mgL^{-1} na rodada 1 a 0,02 a 0,15 na rodada 2. Os valores de nitrito foram mais altos na rodada 2 com concentrações entre 0,07 e 5,90 mgL^{-1} enquanto que na rodada 1 se mantiveram entre 0,03 e 0,82 mgL^{-1} . O nitrato apresentou concentrações similares nas duas rodadas e variou de 21,25 a 31,00 mg L^{-1} na rodada 1 (Tabela 5.6).

Tabela 5.6. Níveis de oxigênio dissolvido (OD), temperatura (T°C), condutividade, salinidade, pH, amônia não-ionizada (NH_{3-un}), nitrito (NO₂) e nitrato (NO₃) nos sistemas 1 e 2 durante as rodadas 1 e 2 para a determinação dos coeficientes de digestibilidade de ingredientes protéicos para juvenis de *L. vannamei* em sistema de recirculação.

Rodada	Sistema	OD mgL ⁻¹	T°C	Condutividade μS.cm ⁻¹	Salinidade ‰	pH	NH _{3-un} mgL ⁻¹	NO ₂ mgL ⁻¹	NO ₃ mgL ⁻¹
Média		5,4	29,0	53,6	34,7	8,5	0,02	0,07	25,46
dp	1	0,3	1,1	2,4	0,4	0,0	0,00	0,04	4,11
Mínimo		5,0	27,0	52,1	34,3	8,5	0,02	0,03	21,25
Máximo		5,8	30,1	58,4	35,3	8,5	0,02	0,13	31,00
Média	2	5,3	29,9	53,6	34,6	8,5	0,03	0,36	26,13
dp		0,2	0,7	2,6	0,4	0,0	0,00	0,33	2,34
Mínimo		5,0	28,6	51,9	34,1	8,5	0,02	0,03	23,91
Máximo		5,5	30,5	58,8	35,1	8,5	0,03	0,82	29,22
Média	R 1	5,3	29,4	53,6	34,7	8,5	0,02	0,22	25,79
Média		5,4	27,0	51,4	33,6	8,4	0,04	0,73	25,02
dp	1	0,2	0,9	0,3	0,2	0,2	0,03	1,26	2,54
Mínimo		5,2	25,1	51,0	33,4	8,2	0,02	0,07	23,03
Máximo		5,7	28,6	51,6	33,9	8,5	0,08	2,62	28,34
Média	2	5,2	27,7	51,4	33,6	8,4	0,06	1,59	25,46
dp		0,2	1,4	0,3	0,1	0,1	0,06	2,88	2,33
Mínimo		4,9	28,6	51,1	33,5	8,2	0,02	0,10	23,03
Máximo		5,6	30,5	51,7	33,9	8,5	0,15	5,90	27,45
Média	R2	5,3	27,4	51,5	33,6	8,4	0,05	1,16	25,24

Figura 5.1. Variação da temperatura nos sistemas 1 e 2 durante as rodadas 1 e 2 para a determinação dos coeficientes de digestibilidade de ingredientes protéicos para juvenis de *Litopenaeus vannamei* em sistema de recirculação.

Os camarões apresentaram um crescimento médio de 1,4 g sem⁻¹ e 1,3 g sem⁻¹, fatores de conversão alimentar médio de 1,7 e 3,0 e sobrevivências iguais a 91% e 82%, nas rodadas 1 e 2, respectivamente. Os detalhes dos parâmetros para a medição de desempenho e os resultados obtidos durante os ensaios são apresentados nos itens 6.2. Materiais e métodos e 6.3. Resultados do capítulo 6.

Composição das dietas

A composição dos ingredientes e os níveis de inclusão resultaram em valores nutricionais bem diferentes entre as diferentes rações teste. As menores diferenças entre o menor e o maior valor observado foram verificadas na energia bruta (18%) e na proteína bruta (31%) enquanto que as maiores diferenças entre o menor e o maior valor observado foram observadas em relação à fibra (300%) e ao material mineral (169%). O extrato etéreo e os extratos não nitrogenados apresentaram valores intermediários, sendo 70 e 36%, respectivamente (Tabela 5.4).

A análise do perfil de aminoácidos das dietas mostrou que a ARG, LEU, LIS tiveram o maior peso no perfil dos aminoácidos essenciais e representaram em média cerca de 15% do total de aminoácidos essenciais (AAEs), cada, totalizando 45% do total de AAEs. A CIS, HIS e TIR apresentaram as menores participações no total de AAE's das dietas experimentais (Tabela 5.7).

As dietas teste com glúten de milho apresentaram os menores níveis de ARG em relação ao total de AAEs (12 a 14%), o que reflete a composição do ingrediente. Todas as outras dietas apresentaram níveis entre 15 e 18%. O percentual de MET no perfil de AAs nas dietas variou de 5 a 10% e os menores valores (5 a 7%) foram observados nas dietas teste com farinha de penas hidrolisadas, enquanto que a dieta basal e as dietas teste com farinha de peixe e glúten de milho apresentaram os maiores níveis de MET (9 a 10%). A LIS apresentou níveis mais elevados em relação ao total de AAEs nas dietas teste com farinha de peixe e concentrado protéico de soja (16 a 17%) e níveis mais baixos nas dietas teste com o glúten de milho nas duas maiores inclusões (12 e 11%) e na farinha de penas hidrolisadas na maior inclusão (12%) (Tabela 5.7).

A CIS que apresentou valores extremos para os ingredientes farinha de vísceras de frango e farinha de penas hidrolisadas nas dietas teste apresentou valores próximos

aos das demais dietas teste. Uma análise dos seus níveis nas dietas referência e teste nas três inclusões sugere níveis de cistina nos ingredientes farinha de vísceras de frango e farinha de penas hidrolisadas próximos a 1,42 e 3,4%, respectivamente (Tabela 5.5).

O AA escore variou segundo o aminoácido e apresentou valores médios de 71% (faixa de 67 a 87%) para a TIR a 268% (faixa de 78 a 622%) para a CIS. Os AA escores da ARG, MET e LIS apresentaram diferenças estatísticas significativas de acordo com o ingrediente e os níveis destes aminoácidos na farinha de peixe e no concentrado protéico de soja foram estatisticamente iguais ou superiores aos dos demais ingredientes, com exceção da MET para o concentrado protéico de soja que foi inferior à farinha de peixe (Tabela 5.8).

As dietas contendo a farinha de carne e ossos e a farinha de penas hidrolisadas apresentaram o maior número de AAs abaixo do recomendado (7) e o aminoácido limitante para todas as dietas foi a tirosina, exceto para as dietas à base do glúten de milho nas quais a arginina foi o AA limitante. O AA índice foi menor nas dietas teste com glúten de milho (116 a 144%) e maior nas dietas referência e teste com farinha de penas hidrolisadas, provavelmente por influência da cistina elevada. O mesmo padrão foi observado no escore médio exceto pela dieta teste que não apresentou o maior escore médio. O escore químico apresentou resultados diferentes nos quais o menor valor é aquele da dieta teste com glúten de milho incluído a 30% e o maior valor é o das dietas teste com o concentrado protéico de soja. O déficit de aminoácidos foi maior na dieta referência e nas dietas teste com farinha de penas hidrolisadas (Tabela 5.8)

Tabela 5.7. Participação percentual dos aminoácidos essenciais, mais a cistina e a tirosina, no total de aminoácidos essenciais da dieta referência e das dietas teste contendo ingredientes protéicos para juvenis do *L. vannamei*: base matéria natural. Arginina-ARG; Fenilalanina-FEN; Histidina-HIS; Isoleucina-ISO; Leucina-LEU; Lisina-LIS; Metionina-MET; Treonina-TRE; Valina-VAL; Cistina-CIS; e Tirosina-TIR¹.

AA%ΣAAE	ARG	FEN	HIS	ISO	LEU	LIS	MET	TRE	VAL	CIS	TIR
REFERÊNCIA	15,3	7,6	6,2	6,0	14,4	15,4	8,7	6,7	7,4	6,8	5,5
FPX10	15,6	7,5	6,5	5,8	14,5	16,1	9,4	6,8	7,2	5,1	5,5
FPX20	15,1	7,4	6,6	6,0	14,7	16,9	9,7	6,8	7,3	4,1	5,5
FPX30	15,4	7,2	7,0	5,8	14,3	17,3	9,8	7,1	7,2	3,4	5,6
CPS10	15,8	8,0	6,4	6,1	15,8	16,4	8,2	7,1	7,3	2,9	5,9
CPS20	16,0	8,3	6,4	6,7	15,9	16,2	7,5	7,2	7,5	2,5	5,9
CPS30	15,7	8,4	6,3	6,7	15,9	16,0	6,9	7,2	7,5	3,5	5,9
FVI10	15,7	7,9	5,7	6,9	15,5	15,0	7,6	7,3	8,4	4,3	5,7
FVI20	16,2	7,7	5,2	6,9	14,6	13,8	8,0	7,4	8,4	6,2	5,6
FVI30	15,9	8,0	5,1	7,1	15,8	13,5	6,2	7,3	8,9	6,7	5,5
GLM10	14,2	8,4	6,2	6,8	18,7	14,2	8,8	6,9	7,8	1,9	6,2
GLM20	13,1	8,8	6,0	6,6	21,3	12,4	9,1	7,0	7,5	1,6	6,6
GLM30	12,1	9,1	5,7	6,6	23,4	10,8	8,9	6,7	7,5	2,0	7,1
FCO10	16,1	7,8	6,2	6,1	13,1	15,6	8,6	6,1	7,9	6,8	5,7
FCO20	17,3	7,8	6,2	5,6	12,9	15,7	8,4	6,8	7,6	6,0	5,6
FCO30	17,9	7,7	6,9	5,8	13,0	15,8	8,1	6,6	7,8	5,0	5,5
PEN10	15,3	8,0	5,6	6,6	13,5	14,4	6,7	6,6	8,5	9,0	5,6
PEN20	15,2	8,1	5,8	6,6	13,4	12,8	5,4	6,9	8,8	11,5	5,6
PEN30	15,4	8,0	4,8	6,6	13,5	11,8	5,3	7,4	9,1	12,4	5,6

¹FPX – farinha de peixe, CPS – concentrado protéico de soja, FVI – farinha de vísceras de frango com baixa gordura, GLM – glúten de milho, FCO – farinha de carne e ossos e PEN – farinha de penas hidrolisadas. Valores 10, 20 e 30 após o código do ingrediente significam os níveis de inclusão do ingrediente teste na dieta referência.

Tabela 5.8. Recomendações de aminoácidos essenciais mais cistina e tirosina em % dos AAE, AA escore em %, número de AAs abaixo do recomendado, AA limitante, índice de AA, escore médio em %, escore químico em % e déficit de AA dos aminoácidos essenciais mais cistina e tirosina das dietas referência e teste para juvenis do *L. vannamei* base matéria natural. Arginina-ARG; Fenilalanina-FEN; Histidina-HIS; Isoleucina-ISO; Leucina-LEU; Lisina-LIS; Metionina-MET; Treonina-TRE; Valina-VAL, Cistina-CIS e Tirosina-TIR.

AA Recom % AAE	ARG 19,3	FEN 9,9	HIS 4,3	ISO 8,2	LEU 14,2	LIS 10,7	MET 4,2	TRE 8,0	VAL 9,1	CIS 2,0	TIR 8,2	Índices					
AA escore Camarão	ARG	FEN	HIS	ISO	LEU	LIS	MET	TRE	VAL	CIS	TIR	AAs abaixo recom. ¹	AA limitant e ²	Índice AA ³	escore médio ⁴	escore químico ⁵	Déficit de AA ⁶
REFERÊNCIA	79,3	77,0	143,5	73,4	101,2	143,5	206,2	84,3	81,5	339,7	67,7	6	TIR	3,0	127,0	67,7	20,7
FPX10	81,0	75,5	150,8	70,8	102,4	150,6	223,0	85,0	78,7	256,6	67,0	6	TIR	2,6	121,9	67,0	16,5
FPX20	78,0	74,3	153,3	73,1	103,3	158,2	229,9	85,1	80,4	204,2	67,4	6	TIR	2,3	118,8	67,4	14,5
FPX30	79,8	72,4	163,8	70,2	100,9	161,4	232,8	88,5	78,8	169,8	68,2	6	TIR	2,0	117,0	68,2	13,2
CPS10	81,8	81,3	148,3	74,1	111,2	153,7	196,4	89,2	80,1	146,8	71,6	6	TIR	1,8	112,2	71,6	15,1
CPS20	83,2	83,7	147,9	81,1	111,7	151,8	179,0	89,8	82,6	122,9	71,7	6	TIR	1,7	109,6	71,7	14,2
CPS30	81,2	84,4	147,5	81,7	112,0	149,8	163,8	90,4	82,0	174,2	72,4	6	TIR	2,1	112,7	72,4	14,3
FVI10	81,6	80,0	133,7	84,2	108,9	140,0	180,6	91,2	91,8	215,0	69,5	6	TIR	2,5	116,0	69,5	17,0
FVI20	83,9	78,3	121,6	84,3	102,9	128,7	190,1	92,2	91,8	310,5	68,3	6	TIR	3,0	123,0	68,3	18,6
FVI30	82,3	80,7	117,9	86,4	111,5	125,8	148,5	91,4	97,6	336,5	67,3	6	TIR	2,8	122,4	67,3	18,9
GLM10	73,6	84,8	144,2	83,4	131,4	132,3	209,3	86,1	85,3	95,2	75,6	6	ARG	1,4	109,2	73,6	14,2
GLM20	67,9	89,3	140,6	80,4	150,3	115,5	215,9	87,0	82,5	77,8	81,0	6	ARG	1,2	108,0	67,9	12,5
GLM30	62,9	92,2	131,6	80,9	164,9	101,4	211,8	83,4	82,3	101,4	86,6	6	ARG	1,3	109,0	62,9	11,3
FCO10	83,4	79,0	143,8	74,2	92,1	146,1	205,6	76,6	86,5	339,8	69,2	7	TIR	3,0	126,9	69,2	19,7
FCO20	89,4	78,4	143,9	68,9	91,0	147,1	200,4	84,8	83,5	301,3	68,9	7	TIR	2,7	123,4	68,9	19,8
FCO30	92,6	77,7	160,8	70,1	91,5	147,8	192,3	82,3	85,7	251,7	66,8	7	TIR	2,5	119,9	66,8	18,5
PEN10	79,5	81,2	130,2	80,4	94,7	134,6	160,2	83,0	93,8	451,5	68,8	7	TIR	3,3	132,5	68,8	20,9
PEN20	78,6	81,5	134,6	80,4	94,6	120,0	127,7	86,1	96,6	574,6	68,0	7	TIR	3,3	140,2	68,0	22,2
PEN30	79,7	81,2	111,5	80,6	94,7	110,5	125,2	92,8	100,2	622,3	68,8	6	TIR	3,0	142,5	68,8	21,0

¹FPX – farinha de peixe, CPS – concentrado protéico de soja, FVI – farinha de vísceras de frango com baixa gordura, GLM – glúten de milho, FCO – farinha de carne e ossos e PEN – farinha de penas hidrolisadas. Valores 10, 20 e 30 após o código do ingrediente significam os níveis de inclusão do ingrediente teste na dieta referência.

Os resultados da determinação da perda de matéria-seca na dieta referência e nas dietas teste apresentaram valores entre 0,53% para a dieta FCO10 a 10,96 para a dieta FPX20. As dietas contendo os ingredientes teste farinha de carne e ossos e farinha de peixe apresentaram as maiores e menores perdas de matéria-seca, respectivamente nas condições avaliadas (tabela 5.9).

Tabela 5.9. Perda de matéria-seca determinada na dieta referência e nas dietas teste (média $\pm$ dp) contendo os ingredientes protéicos avaliados para juvenis do *Litopenaeus vannamei* após 5 minutos de exposição e submetido à agitação a 100 cpm na salinidade de 35 ‰ e temperatura de 27°C.

Dieta	Perda de matéria-seca %	dp
REFERÊNCIA	7,57	1,11
FPX10	8,12	1,38
FPX20	10,96	1,35
FPX30	6,52	0,87
CPS10	10,16	2,75
CPS20	4,76	2,85
CPS30	2,79	1,06
FVI10	7,96	0,61
FVI20	4,98	0,78
FVI30	5,54	1,85
GLM10	6,15	0,64
GLM20	3,66	0,78
GLM30	8,58	5,43
FCO10	0,52	1,91
FCO20	3,81	0,63
FCO30	0,78	0,07
PEN10	2,76	0,62
PEN20	3,09	1,22
PEN30	5,84	0,46

¹FPX – farinha de peixe, CPS – concentrado protéico de soja, FVI – farinha de vísceras de frango com baixa gordura, GLM – glúten de milho, FCO – farinha de carne e ossos e PEN – farinha de penas hidrolisadas, Valores 10, 20 e 30 após o código do ingrediente significam os níveis de inclusão do ingrediente teste na dieta referência

Digestibilidade das dietas

Os coeficientes de digestibilidade aparente da matéria seca, proteína bruta, proteína verdadeira e energia das dietas teste apresentaram diferenças estatisticamente significativas ($P < 0,05$) de acordo com o ingrediente e com o nível de inclusão e foram estatisticamente distintos ($P < 0,05$) de acordo com o nível de inclusão (tabela 5.10).

Tabela 5.10. Análise de variância (ANOVA) de 2 vias para a digestibilidade aparente da matéria-seca, proteína bruta, proteína verdadeira e energia bruta das dietas teste contendo seis ingredientes protéicos nos níveis de inclusão de 10, 20 e 30% em função do tipo de ingrediente, nível de inclusão e sua interação em dietas para juvenis do *Litopenaeus vannamei*.

	Matéria-seca	Proteína bruta	Proteína verdadeira	Energia bruta
VARIÁVEIS	<i>p</i>	<i>p</i>	<i>p</i>	<i>p</i>
INGREDIENTE	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
NÍVEL DE INCLUSÃO	0,000002	0,000000	0,000000	0,000002
INGREDIENTE X INCLUSÃO	0,000001	0,000000	0,000000	0,000000

As três dietas avaliadas na primeira rodada (FPX, CPS, FVI) apresentaram coeficientes de digestibilidade aparente para matéria-seca, proteína bruta, proteína verdadeira e energia superiores aos das três dietas avaliadas na segunda rodada (GLM, FCO, PEN) e os coeficientes de digestibilidade aparente apresentaram, na maioria dos casos, uma tendência de queda com o aumento do percentual de inclusão do ingrediente teste. Os coeficientes de digestibilidade aparente da matéria seca, da proteína verdadeira e da energia da dieta referência nas duas rodadas não apresentaram diferença estatística significativa, contrário ao que foi observado em relação aos coeficientes de digestibilidade aparente da proteína que foram significativamente maiores na primeira rodada em comparação à segunda (Tabela 5.11).

Tabela 5.11- Coeficientes de digestibilidade aparente para a matéria seca (DAMS), proteína bruta (DAPB), proteína verdadeira (DAPV), diferença % entre a DAPB e a DAPV e energia bruta (DAE) das dietas referência nas rodadas 1 e 2 e dietas teste nos níveis de inclusão 10, 20 e 30%) por juvenis do *Litopenaeus vannamei*. Valores expressos em média $\pm$ desvio padrão (n=3)¹.

Dieta	DAMS	DAPB	DAPV	Dif. % DAPV X DAPB	DAE
REF R1	● 76,1 $\pm$ 1,3 ^a	● 81,3 $\pm$ 1,8 ^a	● 81,5 $\pm$ 4,4 ^{abc}	0,14	● 83,5 $\pm$ 0,5 ^a
REF R2	● 71,6 $\pm$ 2,9 ^{abcd}	● 74,5 $\pm$ 2,4 ^{bc}	● 80,6 $\pm$ 2,6 ^{ab}	7,57	● 81,2 $\pm$ 1,5 ^{abcd}
FPX10	● 75,1 $\pm$ 1,2 ^a	● 81,5 $\pm$ 0,5 ^a	● 82,3 $\pm$ 4,0 ^a	1,01	● 82,6 $\pm$ 0,4 ^{ac}
FPX20	● 75,4 $\pm$ 1,6 ^a	● 79,8 $\pm$ 0,7 ^{ab}	● 85,2 $\pm$ 1,3 ^a	6,31	● 82,7 $\pm$ 0,9 ^{ac}
FPX30	● 75,9 $\pm$ 1,6 ^a	● 82,6 $\pm$ 0,8 ^a	● 85,2 $\pm$ 3,1 ^{abc}	3,05	● 84,2 $\pm$ 1,0 ^a
CPS10	● 76,0 $\pm$ 1,9 ^a	● 82,6 $\pm$ 1,7 ^a	● 86,1 $\pm$ 1,4 ^a	4,07	● 82,5 $\pm$ 0,8 ^{ac}
CPS20	● 74,1 $\pm$ 1,0 ^{ab}	● 81,8 $\pm$ 2,2 ^a	● 86,3 $\pm$ 1,6 ^a	5,21	● 81,9 $\pm$ 0,2 ^{abc}
CPS30	● 72,2 $\pm$ 2,1 ^{abc}	● 84,8 $\pm$ 1,7 ^a	● 86,3 $\pm$ 2,8 ^a	1,79	● 81,8 $\pm$ 1,7 ^{ac}
FVI10	● 72,1 $\pm$ 0,2 ^{abcd}	● 74,3 $\pm$ 0,5 ^{bcd}	● 79,6 $\pm$ 3,8 ^{abcd}	6,66	● 80,1 $\pm$ 0,3 ^{abcde}
FVI20	● 68,3 $\pm$ 2,1 ^{bcd}	● 71,1 $\pm$ 4,2 ^{cd}	● 83,6 $\pm$ 1,0 ^{ab}	14,96	● 77,9 $\pm$ 2,0 ^{bde}
FVI30	● 60,8 $\pm$ 3,8 ^{fg}	● 59,2 $\pm$ 3,5 ^e	● 55,9 $\pm$ 4,5 ^h	-6,07	● 71,1 $\pm$ 2,9 ^f
GLM10	● 68,9 $\pm$ 1,1 ^{bcd}	● 69,7 $\pm$ 2,6 ^{cd}	● 74,2 $\pm$ 0,9 ^{cde}	5,97	● 78,7 $\pm$ 1,1 ^{bcd}
GLM20	● 67,2 $\pm$ 1,2 ^{cde}	● 69,0 $\pm$ 1,5 ^{cd}	● 72,4 $\pm$ 2,3 ^{def}	4,62	● 76,5 $\pm$ 0,6 ^e
GLM30	● 71,9 $\pm$ 1,6 ^{abcd}	● 68,1 $\pm$ 1,2 ^d	● 73,6 $\pm$ 0,7 ^{efg}	7,55	● 77,1 $\pm$ 1,0 ^{de}
FCO10	● 63,0 $\pm$ 1,4 ^{ef}	● 73,5 $\pm$ 0,7 ^{bcd}	● 80,8 $\pm$ 2,0 ^{abc}	8,99	● 77,8 $\pm$ 1,1 ^{bde}
FCO20	● 64,1 $\pm$ 1,2 ^{ef}	● 74,6 $\pm$ 1,5 ^{bc}	● 80,9 $\pm$ 2,1 ^{abc}	7,81	● 81,0 $\pm$ 1,3 ^{abcd}
FCO30	● 55,2 $\pm$ 3,0 ^g	● 68,6 $\pm$ 0,9 ^{cd}	● 76,5 $\pm$ 2,4 ^{bcde}	10,35	● 77,5 $\pm$ 1,6 ^{de}
PEN10	● 66,8 $\pm$ 1,6 ^{de}	● 68,3 $\pm$ 3,4 ^{cd}	● 72,4 $\pm$ 0,8 ^{de}	5,70	● 76,5 $\pm$ 1,2 ^e
PEN20	● 65,3 $\pm$ 1,8 ^{ef}	● 59,9 $\pm$ 2,5 ^e	● 63,8 $\pm$ 2,7 ^g	6,08	● 72,1 $\pm$ 2,1 ^f
PEN30	● 63,9 $\pm$ 1,4 ^{ef}	● 57,4 $\pm$ 1,5 ^e	● 64,4 $\pm$ 0,9 ^{fg}	10,91	● 69,6 $\pm$ 1,1 ^f

¹Valores seguidos pela mesma letra em uma mesma coluna não diferem entre si estatisticamente (P<0,05). CPS (n=6), FVI (n=4). FPX – farinha de peixe, CPS – concentrado protéico de soja, FVI – farinha de vísceras de frango com baixa gordura, GLM – glúten de milho, FCO – farinha de carne e ossos e PEN – farinha de penas hidrolisadas, Valores 10, 20 e 30 após o código do ingrediente significam os níveis de inclusão do ingrediente teste na dieta referência. Círculos cheios e vazios representam os maiores e menores valores encontrados, respectivamente, na coluna.

A digestibilidade aparente da matéria-seca (DAMS) das dietas teste diminuiu com o aumento da inclusão, com exceção da FPX e GLM, muito embora na maioria dos casos a diminuição não tenha sido estatisticamente significativa. A DAMS das dietas referência e dietas teste FPX e CPS nos três níveis de inclusão, FVI10 e GLM30 não apresentaram diferenças estatísticas significativas entre si. A digestibilidade aparente da matéria-seca da FVI20 e GLM10 e GLM20 não apresentaram diferenças estatísticas significativas (Tabela 5.11).

Em relação à digestibilidade aparente da proteína bruta (DAPB), os coeficientes observados para as dietas referência e dietas teste diminuiram com a inclusão dos ingredientes teste com exceção da FPX e CPS. A DAPB das dietas FPX e CPS nos três

níveis de inclusão foram estatisticamente superiores aos coeficientes obtidos para as demais dietas. As dietas teste FVI10, FVI20, GLM, FCO10 e FCO30 não apresentaram diferenças estatísticas significativas em seus DAPBs. Os coeficientes de digestibilidade da proteína verdadeira foram em média cerca de 5% mais altos do que os coeficientes de digestibilidade da proteína bruta e entre as dietas avaliadas apenas a FVI30 apresentou um valor inferior de DAPV em comparação à DAPB. As maiores diferenças de DAPVs em relação à DAPB foram observadas nos níveis intermediários de inclusão das dietas FPX, CPS e FVI e nos níveis mais altos de inclusão das dietas GLM, FCO e PEN (Tabela 5.11). Os coeficientes de digestibilidade aparente da energia (DAE) diminuíram com a maior inclusão na maioria das dietas e apresentaram um padrão de diferenças semelhante ao observado nos coeficientes de digestibilidade aparente da proteína (Tabela 5.11).

A disponibilidade aparente média dos aminoácidos totais, exceto o triptofano, das dietas referência e teste foi igual a 75% e variou de 53% para a FVI30 a 85% para o CPS30. Para os aminoácidos essenciais (AAE), esta variação foi de 49% para o GLM30 a 86% para o CPS20 e 30, enquanto que para os aminoácidos não-essenciais (AANE), os coeficientes foram menores e a digestibilidade aparente oscilou entre 57% (FVI 30) a 84% (FPX30 e CPS30) (Tabela 5.12).

As dietas que apresentaram os maiores coeficientes médios de disponibilidade aparente dos aminoácidos foram as dietas Ref 1 e Ref 2, FPX, CPS, FVI 10, FVI 20, FCO10 e FCO20 que não apresentaram diferença estatística significativa entre si, enquanto que os menores coeficientes de disponibilidade aparente dos aminoácidos foram encontrados no FVI30 e GLM30, que foram estatisticamente iguais, seguidos pelo PEN cujos coeficientes foram um pouco maior do que os destas dietas. Analisando a disponibilidade aparente média dos aminoácidos de forma individual, nos AAEs esta variou entre 64% para a leucina a 88% para a metionina e nos AANEs a variação foi de 55% para a cistina a 87% para o ácido aspártico (tabela 5.13). A disponibilidade aparente dos aminoácidos para algumas dietas teste apresentaram valores negativos como, por exemplo a FVI30 e o GLM20 que apresentaram valores iguais a -24,9% e -0,7, respectivamente, para a cistina (Tabela 5.12).

AMINOÁCIDOS ESSENCIAIS

AMINOÁCIDOS ESSENCIAIS																																					
ARG				FEN				HIS				ISO				LEU				LIS				MET				TRE				VAL				Média	dp
REF 1	●	83,4 ± 3,5	abcd	●	77,0 ± 5,2	abcd	●	88,2 ± 0,3	ab	○	76,4 ± 1,2	abc	●	80,7 ± 3,3	abcd	●	87,7 ± 0,2	ab	●	91,6 ± 1,1	abc	●	75,9 ± 6,5	abcd	○	70,7 ± 5,7	ab	●	81,3 ± 3,0								
REF 2	○	83,1 ± 1,7	abcd	○	76,7 ± 3,1	abcd	○	84,5 ± 3,3	abcd	●	79,2 ± 4,6	ab	○	80,5 ± 2,3	abcd	○	87,0 ± 2,2	ab	○	90,5 ± 0,9	abcd	○	75,4 ± 2,3	abcd	●	73,3 ± 3,7	ab	●	81,1 ± 2,7								
FPX10	●	84,8 ± 4,2	abc	●	77,7 ± 3,8	abcd	●	88,5 ± 1,1	ab	●	79,6 ± 4,7	ab	●	82,7 ± 3,1	abc	●	88,0 ± 1,2	ab	●	92,3 ± 1,7	ab	●	76,3 ± 4,6	abcd	●	72,9 ± 5,5	ab	●	82,5 ± 3,3								
FPX20	●	88,1 ± 2,2	a	●	80,6 ± 1,4	ab	●	88,4 ± 1,4	ab	●	82,2 ± 6,1	ab	●	85,4 ± 2,1	ab	●	88,7 ± 1,7	ab	●	92,3 ± 2,4	ab	●	80,0 ± 0,8	abcd	●	77,8 ± 3,8	ab	●	84,8 ± 2,5								
FPX30	●	87,5 ± 3,8	ab	●	80,3 ± 3,7	ab	●	88,9 ± 2,3	ab	●	79,1 ± 6,5	ab	●	84,9 ± 3,5	ab	●	88,7 ± 2,6	ab	●	90,4 ± 2,5	abcd	●	81,6 ± 2,3	ab	●	76,9 ± 5,6	ab	●	84,3 ± 3,6								
CPS10	●	88,6 ± 2,0	a	●	82,1 ± 1,3	ab	●	88,7 ± 1,1	ab	●	82,0 ± 4,0	ab	●	85,9 ± 2,0	ab	●	89,5 ± 1,0	ab	●	93,2 ± 1,4	ab	●	80,2 ± 1,6	abcd	●	76,7 ± 3,1	ab	●	85,2 ± 2,0								
CPS20	●	89,1 ± 1,9	a	●	82,9 ± 1,0	ab	●	87,8 ± 3,7	ab	●	85,8 ± 1,5	a	●	86,1 ± 0,8	ab	●	89,0 ± 0,8	ab	●	94,4 ± 1,8	a	●	80,7 ± 0,6	abc	●	79,5 ± 1,8	ab	●	86,1 ± 1,5								
CPS30	●	88,8 ± 2,5	a	●	83,6 ± 3,1	a	●	89,8 ± 0,8	a	●	83,8 ± 1,9	a	●	86,0 ± 2,2	ab	●	89,5 ± 1,2	a	●	94,5 ± 2,7	a	●	82,6 ± 5,2	a	●	78,9 ± 4,6	a	●	86,4 ± 2,7								
FVII0	●	82,2 ± 4,5	abcd	●	74,8 ± 3,2	bcd	●	86,2 ± 1,5	abc	●	77,9 ± 6,8	abc	●	79,7 ± 3,9	abcde	●	85,3 ± 1,7	ab	●	90,0 ± 2,5	abcd	●	74,1 ± 2,7	abcd	●	70,6 ± 6,1	ab	●	80,1 ± 3,7								
FVI20	●	86,1 ± 1,1	abc	●	77,2 ± 2,6	abcd	●	82,7 ± 1,9	abcd	●	80,9 ± 6,4	ab	●	80,9 ± 3,0	abcd	●	83,8 ± 2,3	bcd	●	92,0 ± 2,6	ab	●	77,6 ± 2,0	abcd	●	75,7 ± 4,2	ab	●	81,9 ± 2,9								
FVI30	○	58,4 ± 4,4	g	○	51,6 ± 5,0	g	○	72,8 ± 2,8	d	○	49,6 ± 6,3	e	○	58,4 ± 4,7	h	○	70,3 ± 3,0	e	○	76,9 ± 3,4	f	○	52,5 ± 5,4	g	○	39,5 ± 7,0	e	○	58,9 ± 4,7								
GLM10	●	79,1 ± 1,7	cde	●	69,1 ± 2,2	de	●	81,8 ± 1,8	abcd	●	73,3 ± 2,2	abcd	●	72,6 ± 3,9	cde	●	84,6 ± 1,9	abc	●	84,8 ± 2,2	cde	●	70,5 ± 2,0	cde	●	68,4 ± 2,2	abc	●	76,0 ± 2,2								
GLM20	●	79,7 ± 0,6	bcd	●	67,0 ± 3,0	ef	●	80,7 ± 1,4	abcd	●	73,6 ± 1,0	abc	●	69,5 ± 4,3	efg	●	85,7 ± 2,4	ab	●	81,6 ± 2,8	ef	●	71,0 ± 1,3	cde	●	69,9 ± 1,2	ab	●	75,4 ± 2,0								
GLM30	●	82,8 ± 0,4	abcd	●	69,4 ± 0,9	cde	●	80,8 ± 1,0	abcd	●	76,3 ± 5,9	abc	●	71,9 ± 2,2	de	●	87,9 ± 0,7	ab	●	81,0 ± 0,5	ef	●	73,2 ± 0,9	bcd	●	72,5 ± 2,5	ab	●	77,3 ± 1,7								
FCO10	●	81,7 ± 1,0	abcde	●	77,9 ± 2,5	abcd	●	85,3 ± 2,3	abc	●	78,8 ± 2,6	ab	●	80,1 ± 2,7	abcd	●	85,0 ± 2,5	ab	●	89,8 ± 1,7	abcd	●	72,2 ± 1,9	bcd	●	75,9 ± 2,7	ab	●	80,7 ± 2,2								
FCO20	●	82,5 ± 2,0	abcd	●	78,9 ± 3,2	abc	○	75,4 ± 17,1	cd	●	78,2 ± 4,5	ab	●	80,5 ± 4,3	abcd	●	84,5 ± 3,3	abc	●	89,4 ± 1,6	abcd	●	76,6 ± 2,8	abcd	●	76,8 ± 4,7	ab	●	80,3 ± 4,8								
FCO30	●	76,2 ± 1,5	de	●	74,2 ± 3,8	bcd	●	81,3 ± 2,1	abcd	●	76,6 ± 8,4	abc	●	75,7 ± 5,4	bcd	●	78,4 ± 3,9	cd	●	84,5 ± 2,2	de	●	70,3 ± 3,0	de	●	72,9 ± 5,0	ab	●	76,7 ± 3,9								
PEN10	●	73,9 ± 0,5	ef	●	68,9 ± 0,7	def	●	82,2 ± 1,8	abcd	●	69,5 ± 3,5	bcd	●	71,3 ± 3,4	def	●	84,2 ± 0,0	abcd	●	86,8 ± 0,4	bcd	●	63,3 ± 0,7	ef	●	64,9 ± 4,4	bcd	●	73,9 ± 1,7								
PEN20	●	65,9 ± 3,2	fg	●	59,5 ± 4,0	fg	●	80,3 ± 2,2	abcd	●	61,8 ± 11,8	cd	○	60,9 ± 5,6	fgh	●	78,6 ± 2,8	cd	●	82,3 ± 3,8	ef	○	54,8 ± 3,5	fg	●	53,3 ± 7,8	d	●	66,4 ± 4,9								
PEN30	●	65,0 ± 3,1	g	○	57,1 ± 1,7	g	●	76,8 ± 0,7	bcd	●	57,2 ± 5,2	de	○	60,3 ± 3,2	gh	●	78,0 ± 1,0	d	●	81,0 ± 1,7	ef	○	58,1 ± 3,2	fg	●	53,6 ± 5,6	cd	●	65,2 ± 2,8								
Média AAE		80,3 ± 2,3			73,3 ± 2,8			83,6 ± 2,5			75,1 ± 4,8			76,7 ± 3,3			84,7 ± 1,8			88,0 ± 2,0			72,4 ± 2,7			70,0 ± 4,4			78,2 ± 2,9								
Anova P		0,00000			0,00000			0,00000			0,00000			0,00000			0,00000			0,00000			0,00000			0,00000											

Tabela 5.12. Continuação. Disponibilidade aparente dos aminoácidos essenciais (AAE) e aminoácidos não-essenciais (AANE) das dietas referência e teste elaboradas para a avaliação da digestibilidade de ingredientes protéicos para juvenis no *L. vannamei* em % da dieta. Valores expressos em média $\pm$ desvio padrão (n=3)¹.

AMINOÁCIDOS NÃO-ESSENCIAIS																		AAE + AANE	
	ALA		ASP		CIS		GLI		GLU		PRO		SER		TIR	Média	dp	Média	dp
REF 1	● 77,2 ± 2,3	abc	● 90,5 ± 2,4	ab	● 74,4 ± 21,4	a	● 72,5 ± 8,6	ab	● 88,8 ± 2,1	ab	● 71,1 ± 11,1	abcd	○ 67,7 ± 11,7	abc	● 81,4 ± 1,7	abcd	● 78,5 ± 5,7	● 79,7 ± 4,2	abc
REF 2	○ 74,0 ± 2,6	abcde	○ 89,8 ± 1,5	abc	○ 68,5 ± 23,1	ab	○ 71,7 ± 3,6	ab	○ 87,8 ± 1,6	ab	○ 70,8 ± 4,0	abcd	● 68,0 ± 2,8	ab	○ 79,0 ± 2,6	bcde	● 77,3 ± 2,7	● 78,8 ± 2,7	abc
FPX10	● 79,2 ± 2,9	ab	● 91,9 ± 1,1	a	● 81,8 ± 3,5	abc	● 73,9 ± 6,6	ab	● 89,3 ± 1,6	ab	● 72,2 ± 9,3	abcd	● 68,8 ± 10,9	ab	● 81,9 ± 1,9	abcd	● 79,6 ± 4,9	● 81,3 ± 4,0	abc
FPX20	● 82,2 ± 1,5	ab	● 93,2 ± 0,7	a	● 71,7 ± 5,4	a	● 78,5 ± 0,1	a	● 90,2 ± 0,5	ab	● 77,5 ± 0,9	abc	● 75,8 ± 0,6	ab	● 83,8 ± 2,3	abc	● 83,0 ± 1,0	● 83,3 ± 1,8	ab
FPX30	● 83,5 ± 2,8	a	● 92,0 ± 2,2	a	● 71,3 ± 2,1	a	● 79,7 ± 3,7	a	● 90,2 ± 2,1	ab	● 78,8 ± 3,4	abc	● 77,5 ± 4,1	a	● 82,8 ± 3,9	abcd	● 83,5 ± 3,2	● 83,2 ± 3,4	ab
CPS10	● 82,3 ± 2,0	ab	● 93,9 ± 0,9	a	● 66,3 ± 9,1	abc	● 79,0 ± 1,9	a	● 91,9 ± 1,0	a	● 79,7 ± 1,8	ab	● 77,7 ± 2,7	a	● 85,8 ± 1,0	abc	● 84,3 ± 1,6	● 83,7 ± 1,8	ab
CPS20	● 82,6 ± 1,4	ab	● 93,2 ± 1,9	a	● 68,1 ± 18,9	ab	● 78,5 ± 2,1	a	● 91,1 ± 1,2	ab	● 79,0 ± 1,7	abc	● 78,7 ± 1,6	a	● 86,8 ± 2,5	ab	● 84,3 ± 1,8	● 84,3 ± 1,6	ab
CPS30	● 80,4 ± 2,3	ab	● 92,6 ± 0,8	a	● 79,3 ± 24,9	a	● 78,5 ± 5,7	a	● 91,0 ± 1,1	a	● 79,5 ± 6,4	b	● 78,4 ± 6,2	a	● 87,1 ± 1,9	a	● 83,9 ± 3,5	● 85,0 ± 3,0	a
FVI10	● 75,7 ± 4,5	abcd	● 90,0 ± 2,9	abc	● 56,2 ± 23,4	abc	● 72,7 ± 3,9	ab	● 87,0 ± 2,3	ab	● 70,4 ± 4,7	abcd	● 67,1 ± 6,6	abc	● 79,7 ± 3,8	bcde	● 77,5 ± 4,1	● 77,6 ± 3,9	abcd
FVI20	● 79,3 ± 1,7	ab	● 88,9 ± 1,9	abcd	● 78,6 ± 17,2	a	● 78,5 ± 0,1	a	● 86,7 ± 1,5	abc	● 77,9 ± 0,6	abc	● 77,5 ± 0,9	ab	● 82,0 ± 2,3	abcd	● 81,5 ± 1,3	● 81,5 ± 2,2	ab
FVI30	○ 54,6 ± 3,8	g	○ 76,3 ± 2,3	f	○ -24,9 ± 12,3	d	○ 51,0 ± 4,9	e	○ 71,2 ± 3,0	f	○ 45,9 ± 5,8	f	○ 39,9 ± 6,7	e	○ 57,6 ± 4,8	i	○ 56,6 ± 4,5	○ 53,0 ± 4,6	g
GLM10	● 61,9 ± 4,9	fg	● 84,4 ± 2,5	bcde	● 20,8 ± 24,3	abcd	● 69,6 ± 1,8	abc	● 79,6 ± 0,3	de	● 65,5 ± 0,9	acde	● 61,6 ± 2,7	bcd	● 69,8 ± 1,8	fg	● 70,3 ± 2,1	● 70,4 ± 2,2	cde
GLM20	○ 60,1 ± 5,3	fg	● 83,3 ± 0,2	cde	● -0,7 ± 36,3	cd	● 71,5 ± 1,5	ab	○ 74,9 ± 1,5	ef	● 64,8 ± 2,0	cde	● 61,6 ± 2,3	bcd	● 66,8 ± 0,7	gh	● 69,0 ± 1,9	● 68,3 ± 2,0	de
GLM30	● 65,2 ± 3,9	ef	● 81,3 ± 3,5	ef	● 0,5 ± 49,5	bcd	● 75,3 ± 0,6	ab	○ 73,9 ± 1,1	f	● 67,8 ± 0,7	abcd	● 66,7 ± 1,6	abc	● 70,0 ± 1,2	fg	● 71,5 ± 1,8	● 70,4 ± 1,7	fg
FCO10	● 77,1 ± 1,8	abc	● 89,1 ± 3,2	abcd	● 79,8 ± 9,8	a	● 71,6 ± 1,8	ab	● 87,8 ± 1,7	ab	● 72,7 ± 1,3	abcd	● 69,1 ± 1,8	ab	● 78,3 ± 2,0	cde	● 77,9 ± 2,0	● 79,5 ± 2,1	abc
FCO20	● 76,1 ± 0,5	abcd	● 88,4 ± 4,7	abcd	● 86,9 ± 6,2	a	● 74,2 ± 2,8	ab	● 88,4 ± 1,4	ab	● 72,1 ± 8,2	abcd	● 72,2 ± 2,0	ab	● 79,3 ± 2,4	bcde	● 78,7 ± 3,1	● 80,0 ± 4,1	abc
FCO30	● 74,2 ± 4,0	abcde	● 88,0 ± 1,7	abcde	● 72,6 ± 10,1	a	● 66,4 ± 1,9	bcd	● 86,0 ± 1,3	bc	● 68,2 ± 2,0	abcd	● 68,5 ± 3,6	ab	● 75,0 ± 3,5	def	● 75,2 ± 2,6	● 75,8 ± 3,3	bcd
PEN10	● 68,7 ± 2,3	cdef	● 82,8 ± 3,1	de	● 61,4 ± 11,8	abc	● 65,3 ± 1,4	bcd	● 81,5 ± 1,4	cd	● 62,2 ± 0,8	de	● 52,2 ± 1,9	cde	● 71,8 ± 0,2	efg	● 69,2 ± 1,6	● 71,2 ± 1,6	cde
PEN20	● 67,1 ± 3,5	def	○ 76,0 ± 2,3	f	● 44,6 ± 26,4	abc	● 58,0 ± 3,1	cde	○ 74,6 ± 2,1	ef	○ 52,6 ± 3,2	ef	○ 44,9 ± 4,9	e	● 64,4 ± 3,4	ghi	● 62,5 ± 3,2	● 63,5 ± 4,2	ef
PEN30	● 73,7 ± 3,1	bcde	○ 75,0 ± 0,3	f	● 59,3 ± 3,9	abc	● 57,7 ± 1,5	de	○ 74,1 ± 2,5	f	○ 52,3 ± 2,0	ef	● 49,3 ± 2,9	de	○ 61,3 ± 1,2	hi	● 63,3 ± 1,9	● 64,1 ± 2,4	ef
Média ANE	73,7 ± 2,9		87,0 ± 2,0		55,8 ± 17,0		71,2 ± 2,9		84,3 ± 1,6		69,1 ± 3,5		66,2 ± 3,9		76,2 ± 2,3		75,4 ± 2,7	75,7 ± 2,8	
Anova P	0,00000		0,00000		0,00000		0,00000		0,00000		0,00000		0,00000		0,00000			0,00000	

¹Valores seguidos pela mesma letra em uma mesma coluna não diferem entre si estatisticamente (P<0,05). CPS (n=6), FVI (n=4). FPX – farinha de peixe, CPS – concentrado protéico de soja, FVI – farinha de vísceras de frango com baixa gordura, GLM – glúten de milho, FCO – farinha de carne e ossos e PEN – farinha de penas hidrolisadas, Valores 10, 20 e 30 após o código do ingrediente significam os níveis de inclusão do ingrediente teste na dieta referência. Círculos cheios e vazios representam os maiores e menores valores encontrados, respectivamente, na coluna.

As dietas FPX e CPS apresentaram coeficientes de disponibilidade aparente para AAAs e AANes superiores ou semelhantes aos dos demais ingredientes e no grupo dos AAAs entre os aminoácidos com maiores coeficientes de disponibilidade se destacam a metionina, histidina, arginina e lisina com disponibilidades aparentes próximas a 90%, enquanto que os menores coeficientes de digestibilidade aparente, ao redor de 80%, foram encontrados para valina, treonina e fenilalanina. Um comportamento semelhante ocorreu nos coeficientes de disponibilidade aparente dos AANes para as dietas com FPX e CPS em relação às demais. Os maiores coeficientes de disponibilidade aparente foram observados nos aminoácidos ácido aspártico e glutamato, um pouco acima de 90%, enquanto que a cistina e a serina apresentaram coeficientes mais baixos entre 70 e 76%, respectivamente (Tabela 5.12).

As dietas com FVI e FCO apresentaram nas inclusões de 10 e 20% coeficientes de digestibilidade similares para os AAAs que foram mais altos para a metionina, especialmente a FVI, e a lisina que oscilaram entre 83% (FCO) a 91% (FVI) e 85% para a metionina e lisina, respectivamente e mais baixos para a valina e a treonina. Os coeficientes de disponibilidade aparente dos AANes também exibiram um comportamento similar, sendo os mais altos verificados no ácido aspártico e glutamato e os mais baixos na cistina e serina para as dietas com FVI e FCO, respectivamente.

Os coeficientes de disponibilidade aparente dos aminoácidos AAAs e AANes das dietas com FVI30 foram significativamente inferiores aos seus coeficientes nas inclusões de 10 e 20% e às demais dietas nas três inclusões, com exceção da dieta PEN30 que apresentou resultados semelhantes ao FVI30 (Tabela 5.12).

As dietas com GLM apresentaram coeficientes de disponibilidade aparente dos aminoácidos semelhantes nos três níveis de inclusão para todos os AAAs, exceto para a leucina que apresentou um valor negativo. Os maiores coeficientes foram observados para a lisina e a metionina e os menores a fenilalanina e a valina. Entre os AANes os maiores e menores coeficientes foram encontrados no ácido aspártico e cistina, respectivamente (Tabela 5.12).

Os menores coeficientes de disponibilidade aparente dos aminoácidos foram verificados nas dietas com PEN, muito embora não tenha havido diferenças estatísticas significativas entre os seus coeficientes e aqueles das dietas com GLM, na maioria dos

casos, e na inclusão de 10% os seus coeficientes não apresentaram diferenças significativas dos coeficientes das dietas com FVI e FCO (tabela 5.12).

Digestibilidade dos ingredientes

Os coeficientes de digestibilidade aparente da matéria-seca, proteína e energia apresentaram diferenças significativas ($P < 0,05$) em função do tipo de ingrediente avaliado, bem como para o nível de inclusão, exceto para a proteína bruta e proteína verdadeira cujos coeficientes de digestibilidade aparente variaram apenas para o tipo de ingrediente. Contudo, os coeficientes de digestibilidade aparente da matéria-seca, proteína bruta, proteína verdadeira e energia dos ingredientes avaliados apresentaram diferenças significativas de acordo com o seu nível de inclusão, indicando que os coeficientes de digestibilidade dos ingredientes são diferentes para cada nível de inclusão (Tabelas 5.13).

Tabela 5.13. Análise de variância (ANOVA) de 2 vias para a digestibilidade aparente da matéria-seca, proteína bruta e energia bruta de seis ingredientes protéicos incluídos em dietas teste nos níveis de inclusão de 10, 20 e 30% em função do tipo de ingrediente, do nível de inclusão e sua interação em dietas para juvenis do *Litopenaeus vannamei*.

	Matéria-seca	Proteína bruta	Proteína verdadeira	Energia bruta
Variável	<i>p</i>	<i>p</i>	<i>p</i>	<i>p</i>
INGREDIENTE	0,000000*	0,000000*	0,000000*	0,000000*
INCLUSÃO	0,002055*	0,684569ns	0,101532ns	0,000421*
INGREDIENTE X INCLUSÃO	0,000137*	0,014861*	0,000085*	0,000055*

*diferença significativa ($P < 0,05$), ns – não há diferença significativa.

De forma geral, os coeficientes de digestibilidade aparente da matéria-seca, proteína e energia dos ingredientes apresentaram amplitudes maiores do que as observadas para as dietas variando de -6 a 75% para a matéria-seca, 28% a 89% para a proteína bruta, 23% a 108% para a proteína verdadeira e 39% a 86% para a energia bruta (tabela 5.14).

Tabela 5.14- Digestibilidade aparente da matéria-seca (DAMS), digestibilidade aparente da proteína bruta (DAPB), digestibilidade da proteína verdadeira (DAPV) e digestibilidade aparente da energia (DAE) de seis ingredientes protéicos incluídos em dietas teste nos níveis de 10, 20 e 30% para juvenis do *L. vannamei*. Valores expressos em média $\pm$ desvio padrão (n=3)¹.

Ingred ³	DAMS			DAPB			DAPV ⁴			Anova P	DAE		
FPX10	●	66,7 ± 11,4	abcd	●	82,1 ± 3,0	abc	●	86,4 ± 23,6	abc	0,768441	●	75,4 ± 3,7	ac
FPX20	●	72,9 ± 7,5	ab	●	76,2 ± 2,3	abcd	●	93,5 ± 4,2	ab	0,003526	●	80,2 ± 3,8	ab
FPX30	●	75,4 ± 5,1	a	●	84,2 ± 1,9	ab	●	89,9 ± 7,0	ab	0,247405	●	85,7 ± 2,9	a
CPS10	●	74,9 ± 17,7	a	●	89,1 ± 10,7	ab	●	108,4 ± 8,2	a	0,068621	●	74,7 ± 7,0	ac
CPS20	●	66,7 ± 4,4	abcd	●	82,9 ± 7,2	abc	●	96,7 ± 4,9	ab	0,051878	●	76,1 ± 0,9	ac
CPS30	●	63,8 ± 6,7	abd	●	89,5 ± 4,1	a	●	92,4 ± 6,2	ab	0,357757	●	78,3 ± 5,5	ab
FVI10	○	37,4 ± 2,0	ef	○	35,3 ± 3,4	gh	○	70,0 ± 22,8	bcd	0,059609	○	53,6 ± 2,4	defg
FVI20	○	38,5 ± 10,1	cef	○	45,9 ± 14,6	efgh	○	88,2 ± 3,4	ab	0,007994	○	58,6 ± 8,8	cdefg
FVI30	○	26,5 ± 12,4	ef	○	27,7 ± 8,6	h	○	22,5 ± 10,3	f	0,468244	○	46,4 ± 8,7	fg
GLM10	●	46,4 ± 10,7	bcd	○	46,4 ± 15,2	efgh	○	44,7 ± 4,9	def	0,861143	○	62,0 ± 8,2	bcd
GLM20	●	50,8 ± 5,4	abcde	○	57,1 ± 4,9	defg	○	55,6 ± 6,9	cde	0,776546	○	62,9 ± 2,2	bcd
GLM30	●	72,5 ± 5,0	ab	○	59,9 ± 2,8	cdef	○	65,3 ± 1,7	bcde	0,442210	○	70,0 ± 2,6	ad
FCO10	○	-6,1 ± 12,5	g	●	65,7 ± 5,7	bcde	●	81,7 ± 18,2	abc	0,220521	○	38,8 ± 14,1	g
FCO20	○	37,0 ± 5,6	ef	●	74,7 ± 6,6	abcd	●	81,8 ± 9,9	abc	0,358711	●	80,2 ± 8,2	ab
FCO30	○	21,1 ± 9,1	fg	○	57,0 ± 2,7	defg	○	67,6 ± 7,5	bcde	0,082365	○	66,7 ± 6,5	acde
PEN10	○	27,3 ± 15,0	ef	○	43,8 ± 16,7	efgh	○	43,2 ± 3,8	def	0,957132	○	44,2 ± 9,2	fg
PEN20	○	42,2 ± 8,3	cdef	○	34,4 ± 6,8	gh	○	37,2 ± 7,0	ef	0,645720	○	44,3 ± 8,6	fg
PEN30	●	47,3 ± 4,4	abcde	○	39,8 ± 3,0	fgh	○	49,4 ± 1,7	def	0,009054	○	48,9 ± 3,1	efg

¹Valores seguidos pela mesma letra em uma mesma coluna não diferem entre si estatisticamente (P<0,05). CPS (n=6), FVI (n=4). FPX – farinha de peixe, CPS – concentrado protéico de soja, FVI – farinha de vísceras de frango com baixa gordura, GLM – glúten de milho, FCO – farinha de carne e ossos e PEN – farinha de penas hidrolisadas. Soma dos aminoácidos exceto o triptofano. Circulos cheios e vazios representam os maiores e menores valores encontrados, respectivamente.

Digestibilidade aparente da matéria-seca (DAMS)

O aumento do nível de inclusão teve efeitos variados na DAMS e causou uma tendência de aumento para os ingredientes FPX, GLM e PEN e diminuição para os demais. A FPX, CPS, GLM20, GLM30 e PEN30 apresentaram coeficientes de DAMS entre 47,3 e 75,4% que foram significativamente superiores aos dos demais ingredientes, enquanto que a FCO apresentou os menores coeficientes DAMS entre os ingredientes testados, com um valor negativo (-6,1%) na inclusão de 10%, seguido da FVI (Tabela 5.14).

Digestibilidade aparente da proteína bruta e verdadeira (DAPB e DAPV)

O aumento do nível de inclusão teve efeitos variados na DAPB com tendências de aumento para a FPX, CPS e GLM e de queda para os demais. Diferente da tendência da DAPV na qual os coeficientes aumentaram para o GLM, PEN e FPX, diminuíram para os demais. As DAPBs do CPS foram maiores entre todos os ingredientes testados e iguais à FPX, FCO10 e FCO20 sem diferença estatística significativa. A PEN e o FVI registraram os menores DAPBs e foram significativamente semelhantes entre si (Tabela 5.14).

A DAPV apresentou valores mais altos em relação à DAPB, especialmente para a FVI10 e FVI20 que apresentaram um incremento superior a 90% em relação aos seus valores de DAPB que eram os menores entre os ingredientes mais digestíveis e passou para a quarta posição entre os ingredientes com maior DAPV. A FVI30 apresentou um comportamento oposto e o seu DAPV foi 19% inferior à DAPB. O mesmo comportamento foi observado no GLM10 e GLM20, porém as diferenças foram menores e iguais a 4% e 3%, respectivamente. Para os demais ingredientes não existe uma tendência evidente. A DAE apresentou um comportamento semelhante à DAPB, e os valores foram mais altos corresponderam à FPX e CPS, que não diferiram entre si (Tabela 5.14).

Verificou-se uma correlação significativa ($P < 0,001$, $r^2 = 0,634$) entre os coeficientes de digestibilidade aparente da proteína bruta (DAPB) obtida por determinação da proteína bruta pelo método Dumas e os coeficientes de digestibilidade aparente da proteína verdadeira (DAPV) obtida pela soma dos aminoácidos exceto o triptofano.

A proteína digestível calculada a partir dos coeficientes de digestibilidade aparente da proteína bruta e da proteína verdadeira apresentaram os maiores valores para o concentrado protéico de soja e farinha de peixe e o menor valor foi registrado na farinha de vísceras para a proteína digestível e a farinha de carne e ossos para a proteína verdadeira digestível. Contudo a FVI30 apresentou um valor bem abaixo (13,4%) dos demais valores dos outros ingredientes. Neste nível a FVI incluída na dietas basal

somada à inclusão de 30% eleva a porcentagem de FVI nesta dieta para 35,6% (Tabela 5.14).

As proteínas da PEN e da FCO apresentaram os menores valores em termos de US\$ por kg de proteína bruta. Em termos de proteína digestível, o CPS e a FCO apresentaram a média das proteínas digestíveis ao menor custo, ao contrário da FVI e da FPX que apresentaram as proteínas digestíveis de maior custo. Em relação à proteína verdadeira, as fontes mais baratas de proteína verdadeira digestível foram o CPS e a FCO, enquanto que a FPX e o GLM apresentaram os custos mais elevados por kg de proteína verdadeira. (Tabela 5.15).

Digestibilidade aparente da energia (DAE)

Os coeficientes de digestibilidade aparente da energia (DAE) aumentaram com o nível de inclusão para os ingredientes FPX, CPS, GLM e PEN, diminuíram para a FVI e oscilaram para a FCO. A FVI seguida pelo CPS registraram os maiores DAEs e a PEN e a FVI apresentaram os menores DAEs (Tabela 5.14).

A farinha de peixe e o concentrado protéico de soja apresentaram os maiores teores de energia digestível, calculada a partir dos coeficientes de digestibilidade aparente da energia bruta multiplicados pela energia bruta dos ingredientes, enquanto que a farinha de carne e ossos e a farinha de penas hidrolisadas apresentaram os menores valores. O mesmo comportamento foi observado em relação aos custos de energia bruta em termos de US\$ por MJ, contudo quando os custos foram transformados em US\$ por energia digestível em MJ o concentrado protéico de soja apresentou o menor valor seguido pela farinha de carne e ossos e a farinha de penas hidrolisadas com valores similares (Tabela 5.15).

Tabela 5.15. Preço em US\$ ton⁻¹ dos ingredientes protéicos, coeficientes de digestibilidade aparente da proteína bruta (DAPB), proteína bruta (PB), proteína digestível (PD), valor em US\$ por kg de PB e PD, coeficientes de digestibilidade aparente da proteína verdadeira (DAPV), proteína verdadeira (PV), proteína verdadeira digestível (PVD), valor em US\$ por kg de PVD, coeficientes de digestibilidade aparente da energia (DAE), energia bruta (EB), energia digestível (ED), valor em US\$ por kg de ED protéi, proteína verdadeira e energia bruta; níveis de proteína bruta, proteína verdadeira, energia bruta; proteína digestível, proteína verdadeira, proteína verdadeira digestível e energia digestível; custo da proteína digestível, proteína verdadeira digestível e energia digestível de ingredientes protéicos para juvenis do *L. vannamei* em três níveis de inclusão. Valores em g 100g⁻¹, exceto quando especificado. Base matéria natural (n = 3).

Ingrediente	Inclusão	US\$ ton ⁻¹	DAPB	PB	PD	US\$ kg PB ⁻¹	US\$ kg PD ⁻¹	DAPV	PV Ing	PVD Ing	US\$ kg PVD 10 ⁻¹	DAE	EB MJ kg ⁻¹	ED MJ kg ⁻¹	US\$ kg EB MJ ⁻¹	US\$ ED MJ kg ⁻¹
FPX	10	1400,0	● 82,1	60,3	49,5	● 2,32	● 2,83	● 86,4	60,2	52,0	● 2,69	● 75,4	21,5	16,2	● 6,50	● 8,62
FPX	20	1400,0	● 76,2	60,3	45,9	● 2,32	● 3,05	● 93,5	60,2	56,2	● 2,49	● 80,2	21,5	17,3	● 6,50	● 8,11
FPX	30	1400,0	● 84,2	60,3	50,7	● 2,32	● 2,76	● 89,9	60,2	54,1	● 2,59	● 85,7	21,5	18,5	● 6,50	● 7,58
CPS	10	718,6	● 89,1	60,9	54,3	● 1,18	○ 1,32	● 108,4	62,0	67,2	○ 1,07	● 74,7	20,1	15,0	● 3,58	● 4,79
CPS	20	718,6	● 82,9	60,9	50,5	● 1,18	○ 1,42	● 96,7	62,0	59,9	○ 1,20	● 76,1	20,1	15,3	● 3,58	● 4,71
CPS	30	718,6	● 89,5	60,9	54,5	● 1,18	○ 1,32	● 92,4	62,0	57,3	○ 1,25	● 78,3	20,1	15,7	● 3,58	● 4,58
FVI	10	658,7	○ 35,3	58,4	20,6	● 1,13	● 3,20	○ 70,0	59,5	41,7	○ 1,58	○ 53,6	21,6	11,6	○ 3,05	○ 5,69
FVI	20	658,7	○ 45,9	58,4	26,8	● 1,13	○ 2,46	○ 88,2	59,5	52,5	○ 1,25	○ 58,6	21,6	12,7	○ 3,05	○ 5,20
FVI	30	658,7	○ 27,7	58,4	16,2	● 1,13	● 4,07	○ 22,5	59,5	13,4	● 4,91	○ 46,4	21,6	10,0	○ 3,05	○ 6,57
GLM	10	868,3	○ 46,4	66,1	30,7	● 1,31	● 2,83	○ 44,7	65,6	29,3	● 2,96	○ 62,0	25,0	15,5	○ 3,47	○ 5,60
GLM	20	868,3	○ 57,1	66,1	37,7	● 1,31	● 2,30	○ 55,6	65,6	36,5	● 2,38	○ 62,9	25,0	15,7	○ 3,47	○ 5,52
GLM	30	868,3	○ 59,9	66,1	39,6	● 1,31	● 2,19	○ 65,3	65,6	42,8	● 2,03	○ 70,0	25,0	17,5	○ 3,47	○ 4,96
FCO	10	389,2	● 65,7	42,6	28,0	○ 0,91	○ 1,39	● 81,7	36,0	29,4	○ 1,32	○ 38,8	14,4	5,6	○ 2,71	○ 6,98
FCO	20	389,2	● 74,7	42,6	31,8	○ 0,91	○ 1,22	● 81,8	36,0	29,4	○ 1,32	● 80,2	14,4	11,5	○ 2,71	○ 3,38
FCO	30	389,2	○ 57,0	42,6	24,3	○ 0,91	○ 1,60	○ 67,6	36,0	24,3	○ 1,60	○ 66,7	14,4	9,6	○ 2,71	○ 4,06
PEN	10	538,9	○ 43,8	81,5	35,7	○ 0,66	○ 1,51	○ 43,2	83,9	36,3	○ 1,49	○ 44,2	24,1	10,6	○ 2,24	○ 5,06
PEN	20	538,9	○ 34,4	81,5	28,1	○ 0,66	○ 1,92	○ 37,2	83,9	31,2	○ 1,72	○ 44,3	24,1	10,7	○ 2,24	○ 5,05
PEN	30	538,9	○ 39,8	81,5	32,5	○ 0,66	○ 1,66	○ 49,4	83,9	41,4	○ 1,30	○ 48,9	24,1	11,8	○ 2,24	○ 4,57

¹Preços fornecidos pela Guabi Nutrição Animal Ltda em 17 de Março de 2011. PV = Soma dos aminoácidos exceto o triptofano. FPX – farinha de peixe, CPS – concentrado protéico de soja, FVI – farinha de vísceras de frango com baixa gordura, GLM – glúten de milho, FCO – farinha de carne e ossos e PEN – farinha de penas hidrolisadas.

⁴Círculos cheios e vazios representam os maiores e menores valores encontrados, respectivamente.

Disponibilidade aparente dos aminoácidos (DAaa)

Os coeficientes de disponibilidade aparente dos aminoácidos (DAaa) nos ingredientes teste foram influenciados de forma significativa pelo tipo de ingrediente ($P < 0,05$) e o seu nível de inclusão na dieta teste ($P < 0,05$), bem como foi significativa ($P < 0,05$) a interação entre os dois fatores, assim para cada ingrediente testado, o seu coeficiente de digestibilidade foi significativamente diferente de acordo para os diferentes níveis de inclusão dos ingredientes teste (Tabela 5.16).

Tabela 5.16. Análise de variância (ANOVA) de 2 vias para a disponibilidade aparente dos aminoácidos dos seis ingredientes protéicos incluídos em dietas teste nos níveis de inclusão de 10, 20 e 30% em função do tipo de ingrediente, do nível de inclusão e sua interação em dietas para juvenis do *Litopenaeus vannamei*.

DAaa	
Variável	<i>p</i>
INGREDIENTE	0,000000*
INCLUSÃO	0,000000*
INGREDIENTE X INCLUSÃO	0,000000*

*diferença significativa ($P < 0,05$),

Os ingredientes que apresentaram DAaas da dieta mais altos apresentaram valores ainda maiores de DAaas dos ingredientes e o oposto foi verificado em relação aos DAaas da dieta mais baixos, que neste caso apresentaram DAaas dos ingredientes ainda mais baixos. De forma geral, os coeficientes de disponibilidade aparente dos aminoácidos apresentaram uma tendência de comportamento distinta em relação ao nível de inclusão e enquanto os DAaas do CPS e FCO diminuíram com o aumento da inclusão os DAaas do GLM aumentaram e os DAaas da FPX, FVI e PEN apresentaram oscilações, com valores mais altos na inclusão de 20% para a FPX e FVI e níveis menores na mesma inclusão para a PEN (Tabela 5.17).

Os ingredientes com os maiores DAaas médios foram a FPX e o CPS, nos três níveis de inclusão sem diferenças estatísticas entre si, enquanto que os coeficientes de disponibilidade aparente dos aminoácidos mais baixos foram registrados na FVI30, na PEN e nos GLM10 e GLM30, sem diferença estatística significativa (tabela 5.17).

A média da DAaa dos AAE's avaliados foi igual a 70,9% e variou de 13,3% para a valina, influenciado pela baixa disponibilidade de AAs na FVI30 de forma geral,

Tabela 5.17. Disponibilidade aparente dos aminoácidos essenciais (AAE) e aminoácidos não-essenciais (AANE) dos ingredientes protéicos incluídos nos níveis de 10, 20 e 30% nas dietas teste elaboradas para juvenis do *Litopenaeus vannamei* em % do aminoácido no ingrediente. AAE: Arginina-ARG; Fenilalanina-FEN; Histidina-HIS; Isoleucina-ISO; Leucina-LEU; Lisina-LIS; Metionina-MET; Treonina-TRE; Valina-VAL. AANE: Alanina-ALA; Ác. aspártico-ASP; Cistina-CIS; Glicina-GLI; Ác. glutâmico-GLM; Prolina-PRO; Serina-SER e Tirosina-TIR. Valores expressos em média $\pm$ desvio padrão (n=3)¹.

AMINOÁCIDOS ESSENCIAIS																					
	ARG		FEN		HIS		ISO		LEU		LIS		MET		TRE		VAL	Média	dp		
FPX10	● 90,9 ± 22,3	abcd	● 81,8 ± 23,8	abc	● 90,4 ± 7,6	a	● 93,9 ± 25,1	abcd	● 93,5 ± 20,0	abc	● 89,3 ± 6,1	ab	● 94,8 ± 7,7	abc	● 78,3 ± 24,7	abcd	● 82,4 ± 29,1	ab	● 88,4 ± 18,5		
FPX20	● 97,1 ± 6,5	abc	● 89,1 ± 4,7	abc	● 89,2 ± 5,2	a	● 93,4 ± 18,1	abcd	● 97,1 ± 7,1	abc	● 90,5 ± 4,9	ab	● 93,4 ± 6,4	abc	● 88,0 ± 2,4	abc	● 91,6 ± 11,2	ac	● 92,2 ± 7,4		
FPX30	● 92,2 ± 8,0	abcd	● 84,8 ± 8,7	abc	● 90,2 ± 5,8	a	● 82,3 ± 14,0	abcd	● 90,9 ± 8,5	abc	● 89,9 ± 5,4	ab	● 89,2 ± 4,8	abcd	● 88,1 ± 4,8	abc	● 84,0 ± 11,8	ab	● 87,9 ± 8,0		
CPS10	● 111,3 ± 11,0	a	● 101,3 ± 6,2	a	● 91,3 ± 6,1	a	● 101,7 ± 18,3	a	● 109,2 ± 11,0	a	● 97,6 ± 5,3	a	● 108,3 ± 14,7	a	● 99,3 ± 8,6	a	● 100,9 ± 15,5	c	● 102,3 ± 10,8		
CPS20	● 100,2 ± 5,5	ac	● 92,7 ± 2,7	ab	● 87,1 ± 10,9	a	● 100,5 ± 3,8	ab	● 96,9 ± 2,4	abc	● 91,5 ± 2,4	ab	● 106,4 ± 9,5	ab	● 90,1 ± 1,8	abc	● 95,4 ± 5,1	c	● 95,6 ± 4,9		
CPS30	● 94,8 ± 5,4	ac	● 90,1 ± 6,1	ab	● 91,6 ± 1,7	a	● 90,6 ± 3,7	abc	● 92,1 ± 4,6	ab	● 91,6 ± 2,6	a	● 101,6 ± 9,5	ab	● 90,3 ± 11,2	ab	● 87,4 ± 9,3	c	● 92,3 ± 6,0		
FVI10	○ 76,5 ± 26,3	bcde	○ 65,0 ± 18,1	bcde	○ 69,1 ± 14,7	a	○ 84,3 ± 34,6	abcd	○ 75,0 ± 22,9	abcd	○ 66,9 ± 14,7	abcd	○ 78,3 ± 20,7	abcd	○ 66,2 ± 14,5	abcde	○ 70,6 ± 25,9	ab	○ 72,4 ± 21,4		
FVI20	○ 91,9 ± 3,4	abcd	○ 77,6 ± 7,9	abcd	○ 62,0 ± 9,1	a	○ 88,9 ± 18,0	abcd	○ 81,3 ± 9,4	abcd	○ 70,3 ± 10,1	abcd	○ 93,4 ± 11,3	abcd	○ 81,0 ± 6,0	abc	○ 83,0 ± 10,3	ab	○ 81,0 ± 9,5		
FVI30	○ 27,2 ± 9,9	h	○ 21,3 ± 11,0	f	○ 38,6 ± 9,0	a	○ 21,4 ± 12,9	e	○ 30,2 ± 10,6	f	○ 35,6 ± 8,9	d	○ 48,7 ± 10,0	def	○ 25,5 ± 11,5	g	○ 13,3 ± 12,9	f	○ 29,1 ± 10,7		
GLM10	○ 37,9 ± 19,5	gh	○ 44,6 ± 9,3	def	○ 66,4 ± 12,2	a	○ 43,7 ± 13,1	bcde	○ 54,0 ± 13,0	cdef	○ 40,6 ± 37,3	cd	○ 61,9 ± 11,3	bcdef	○ 44,0 ± 12,7	defg	○ 43,8 ± 13,0	bd	○ 48,5 ± 15,7		
GLM20	○ 64,1 ± 3,3	defg	○ 53,1 ± 7,3	cdef	○ 71,2 ± 4,8	a	○ 61,1 ± 3,1	abcde	○ 58,0 ± 8,7	bcdef	○ 75,9 ± 21,6	abc	○ 65,5 ± 7,8	abcdef	○ 60,6 ± 4,3	bcdef	○ 62,5 ± 4,0	ab	○ 63,5 ± 7,2		
GLM30	○ 81,9 ± 1,4	abcd	○ 63,3 ± 1,6	bcde	○ 75,2 ± 2,5	a	○ 72,5 ± 13,7	abcde	○ 66,6 ± 3,6	abcdef	○ 92,5 ± 3,8	ab	○ 71,0 ± 1,0	abcdef	○ 70,2 ± 2,1	abcde	○ 71,4 ± 5,7	ab	○ 73,9 ± 3,9		
FCO10	○ 73,1 ± 7,3	bcdef	○ 89,4 ± 27,3	ab	○ 93,9 ± 28,0	a	○ 74,4 ± 30,1	abcde	○ 76,0 ± 30,9	abcde	○ 67,1 ± 24,8	abcd	○ 74,4 ± 40,4	abcdef	○ 39,0 ± 21,3	efg	○ 97,1 ± 25,0	c	○ 76,0 ± 26,1		
FCO20	○ 80,9 ± 7,4	abcde	○ 88,4 ± 16,9	abc	○ 29,3 ± 104,0	a	○ 73,4 ± 25,3	abcde	○ 80,6 ± 24,6	abcd	○ 74,6 ± 16,5	abc	○ 78,0 ± 17,5	abcde	○ 82,4 ± 16,0	abc	○ 89,5 ± 22,0	ab	○ 75,2 ± 27,8		
FCO30	○ 64,9 ± 3,9	bdefg	○ 67,8 ± 13,2	abcde	○ 71,9 ± 8,1	a	○ 69,7 ± 31,3	abcde	○ 62,5 ± 20,4	bcdef	○ 58,5 ± 13,0	abcd	○ 50,0 ± 14,5	cdef	○ 56,6 ± 11,3	cdefg	○ 72,1 ± 15,8	ab	○ 63,8 ± 14,6		
PEN10	○ 42,2 ± 2,0	fgh	○ 45,2 ± 2,8	def	○ 68,5 ± 12,1	a	○ 42,6 ± 13,0	cde	○ 41,0 ± 14,4	def	○ 66,6 ± 0,1	abcd	○ 32,0 ± 6,1	ef	○ 27,9 ± 2,7	fg	○ 46,7 ± 13,8	ab	○ 45,9 ± 7,5		
PEN20	○ 39,5 ± 8,1	gh	○ 36,3 ± 9,3	ef	○ 69,2 ± 7,8	a	○ 40,5 ± 26,2	de	○ 32,4 ± 13,7	ef	○ 55,1 ± 10,5	bcd	○ 28,6 ± 28,7	f	○ 27,8 ± 8,2	fg	○ 34,1 ± 15,2	ef	○ 40,4 ± 14,2		
PEN30	○ 48,8 ± 5,9	efgh	○ 41,5 ± 3,0	def	○ 65,1 ± 1,8	a	○ 41,5 ± 9,0	cde	○ 43,0 ± 5,9	def	○ 63,4 ± 2,6	abcd	○ 44,8 ± 8,0	def	○ 45,0 ± 5,6	defg	○ 42,6 ± 8,8	de	○ 48,4 ± 5,6		
Média AAE	73,1 ± 8,7		68,5 ± 10,0		73,3 ± 14,0		70,9 ± 17,4		71,1 ± 12,9		73,2 ± 10,6		73,4 ± 12,8		64,5 ± 9,4		70,5 ± 14,1		70,9 ± 12,2		
Anova P	0.00000		0.00000		0.07476		0.00001		0.00000		0.00000		0.00000		0.00000		0.00000				

¹Valores seguidos pela mesma letra em uma mesma coluna não diferem entre si estatisticamente (P<0,05). CPS (n=6), FVI (n=4). FPX – farinha de peixe, CPS – concentrado protéico de soja, FVI – farinha de vísceras de frango com baixa gordura, GLM – glúten de milho, FCO – farinha de carne e ossos e PEN – farinha de penas hidrolisadas, Valores 10, 20 e 30 após o código do ingrediente significam os níveis de inclusão do ingrediente teste na dieta referência. Círculos cheios e vazios representam os maiores e menores valores encontrados, respectivamente, na coluna.

Tabela 5.17. Continuação. Disponibilidade aparente dos aminoácidos essenciais (AAE) e aminoácidos não-essenciais (AANE) dos ingredientes protéicos incluídos nos níveis de 10, 20 e 30% nas dietas teste elaboradas para juvenis do *Litopenaeus vannamei* em % do aminoácido no ingrediente. AAE: Arginina-ARG; Fenilalanina-FEN; Histidina-HIS; Isoleucina-ISO; Leucina-LEU; Lisina-LIS; Metionina-MET; Treonina-TRE; Valina-VAL. AANE: Alanina-ALA; Ác. aspártico-ASP; Cistina-CIS; Glicina-GLI; Ác. glutâmico-GLM; Prolina-PRO; Serina-SER e Tirosina-TIR. Valores expressos em média $\pm$ desvio padrão (n=3)¹.

AMINOÁCIDOS NÃO-ESSENCIAIS																				AAE + AANE	
	ALA		ASP		CIS		GLI		GLU		PRO		SER		TIR		Média	dp	Média	dp	
FPX10	● 86,9 ± 13,9	abc	● 98,7 ± 7,0	ac	○ 366,9 ± 140,7	c	● 77,7 ± 24,9	bc	● 92,0 ± 11,6	ab	● 78,1 ± 58,7	abcd	● 75,0 ± 72,5	abcde	● 84,7 ± 11,5	abcd	● 84,7 ± 28,6	● 86,8 ± 22,9	abc		
FPX20	● 90,5 ± 3,9	abc	● 99,2 ± 2,4	ac	○ 25,0 ± 98,5	c	● 85,8 ± 0,3	ab	● 94,1 ± 1,8	ab	● 92,7 ± 3,1	ab	● 96,1 ± 2,3	ab	● 89,0 ± 7,6	abc	● 92,5 ± 3,1	● 92,3 ± 5,5	abc		
FPX30	● 89,6 ± 5,6	abc	● 94,1 ± 5,2	abcd	○ 39,9 ± 22,6	c	● 84,9 ± 6,3	ab	● 92,5 ± 5,3	ab	● 89,4 ± 8,1	abc	● 91,9 ± 10,0	abc	● 84,6 ± 9,1	abcd	● 89,6 ± 7,1	● 88,6 ± 7,6	abc		
CPS10	● 110,8 ± 12,9	a	● 105,7 ± 4,1	a	○ -29,3 ± 116,5	c	● 117,4 ± 12,9	a	● 104,2 ± 5,0	a	● 125,0 ± 11,1	a	● 123,9 ± 14,8	a	● 105,5 ± 5,4	a	● 113,2 ± 9,5	● 107,1 ± 10,2	a		
CPS20	● 96,2 ± 4,7	ab	● 97,4 ± 5,0	abc	○ 34,9 ± 118,3	c	● 94,0 ± 7,7	ab	● 95,3 ± 3,4	ab	● 97,6 ± 5,7	ab	● 101,2 ± 4,8	ab	● 97,8 ± 7,6	ab	● 97,1 ± 5,6	● 96,3 ± 5,2	ab		
CPS30	● 85,1 ± 5,6	abc	● 94,4 ± 1,6	ac	○ 94,2 ± 101,4	c	● 87,7 ± 14,3	b	● 93,3 ± 2,2	ab	● 91,0 ± 15,0	ab	● 91,2 ± 13,7	ab	● 93,8 ± 4,2	ab	● 90,9 ± 8,1	● 91,7 ± 6,9	ab		
FVI10	○ 68,8 ± 25,0	bcde	● 87,1 ± 20,0	abcde	○ 22,9 ± 66,4	c	○ 73,2 ± 15,3	bcd	○ 74,3 ± 19,2	bcde	○ 68,0 ± 20,6	bcde	○ 65,4 ± 26,2	abcde	○ 69,8 ± 25,3	abcde	○ 72,4 ± 21,7	○ 72,4 ± 21,5	bcde		
FVI20	● 83,8 ± 5,1	abcd	○ 84,4 ± 6,9	abcde	○ 82,0 ± 31,2	c	● 86,1 ± 0,2	ab	● 79,8 ± 6,3	abcd	● 88,4 ± 1,4	abc	● 90,4 ± 2,0	abc	● 83,6 ± 7,9	abcd	● 85,2 ± 4,3	● 82,9 ± 7,2	abc		
FVI30	○ 27,6 ± 8,3	g	○ 54,1 ± 5,8	de	○ -72,0 ± 18,2	c	○ 34,9 ± 8,6	e	○ 38,4 ± 8,5	f	○ 23,5 ± 11,0	e	○ 18,5 ± 12,0	e	○ 23,2 ± 11,7	g	○ 31,5 ± 9,4	○ 30,1 ± 10,2	g		
GLM10	○ 32,8 ± 16,8	fg	○ 48,1 ± 19,2	e	○ -182,4 ± 127,9	c	○ 49,4 ± 18,5	cde	○ 51,2 ± 1,3	ef	○ 50,7 ± 3,3	bcde	○ 33,9 ± 14,4	cde	○ 44,5 ± 6,7	fg	○ 44,4 ± 11,4	○ 46,7 ± 13,8	efg		
GLM20	○ 45,2 ± 11,0	efg	○ 64,1 ± 0,8	abcde	○ -131,8 ± 105,0	c	○ 70,4 ± 7,7	bcd	○ 54,9 ± 3,8	def	○ 57,5 ± 4,4	bcde	○ 49,2 ± 6,7	bcde	○ 52,0 ± 1,6	defg	○ 56,2 ± 5,1	○ 60,3 ± 6,3	cdef		
GLM30	○ 59,8 ± 6,3	cdef	○ 66,6 ± 9,7	abcde	○ -74,5 ± 104,1	c	○ 83,9 ± 2,1	b	○ 61,4 ± 2,1	cdef	○ 65,7 ± 1,3	bcde	○ 65,2 ± 3,4	abcde	○ 63,6 ± 2,0	bcdef	○ 66,6 ± 3,8	○ 70,7 ± 3,9	efg		
FCO10	● 90,2 ± 9,5	abc	○ 79,5 ± 44,7	abcde	● 3877,3 ± 3289,4	a	○ 71,3 ± 5,7	bcd	● 87,7 ± 20,0	ab	○ 80,1 ± 6,8	abcd	○ 80,7 ± 20,9	abcd	○ 69,7 ± 28,8	abcde	○ 79,9 ± 19,5	● 77,7 ± 23,2	abcd		
FCO20	● 80,2 ± 1,6	abcd	○ 79,9 ± 31,2	abcde	● 2830,4 ± 936,5	ab	○ 76,5 ± 5,4	bc	● 91,4 ± 8,2	ab	○ 74,5 ± 22,9	abcd	○ 91,4 ± 11,4	abc	○ 81,0 ± 16,6	abcde	○ 82,1 ± 13,9	● 78,3 ± 21,7	abcd		
FCO30	○ 74,4 ± 8,5	bcde	○ 82,1 ± 7,5	abcde	○ 434,8 ± 885,7	bc	○ 63,5 ± 2,9	bcde	○ 80,8 ± 5,2	abc	○ 65,5 ± 4,0	bcde	○ 69,9 ± 13,2	abcde	○ 61,3 ± 15,8	cdef	○ 71,1 ± 8,2	○ 67,0 ± 11,8	bcde		
PEN10	○ 49,0 ± 10,8	efg	○ 52,6 ± 16,7	bde	○ 53,5 ± 25,0	c	○ 49,8 ± 4,7	cde	○ 48,4 ± 8,7	f	○ 41,6 ± 2,6	cde	○ 24,5 ± 5,2	de	○ 45,9 ± 0,9	efg	○ 44,5 ± 7,1	○ 45,3 ± 7,3	efg		
PEN20	○ 55,6 ± 9,2	defg	○ 49,3 ± 6,8	de	○ 32,7 ± 39,6	c	○ 43,1 ± 6,5	de	○ 43,6 ± 7,2	f	○ 33,2 ± 6,5	de	○ 26,9 ± 8,7	de	○ 41,0 ± 9,0	fg	○ 41,8 ± 7,7	○ 41,0 ± 11,3	fg		
PEN30	○ 73,3 ± 6,2	bcde	○ 58,5 ± 0,7	bcde	○ 56,6 ± 5,1	c	○ 48,8 ± 2,4	cde	○ 55,3 ± 5,9	def	○ 40,8 ± 3,2	cde	○ 40,8 ± 4,2	bcde	○ 44,6 ± 2,3	fg	○ 51,7 ± 3,6	○ 49,9 ± 4,7	defg		
Média ANE	72,2 ± 9,2		77,6 ± 10,8		414,5 ± 346,2		72,1 ± 8,1		74,4 ± 7,0		70,2 ± 10,5		68,7 ± 13,7		68,6 ± 9,7		72,0 ± 9,9	71,4 ± 11,2			
Anova P	0.00000		0.00001		0.00001		0.00000		0.00000		0.00000		0.00000		0.00000			0.000000			

¹Valores seguidos pela mesma letra em uma mesma coluna não diferem entre si estatisticamente (P<0,05). CPS (n=6), FVI (n=4). FPX – farinha de peixe, CPS – concentrado protéico de soja, FVI – farinha de vísceras de frango com baixa gordura, GLM – glúten de milho, FCO – farinha de carne e ossos e PEN – farinha de penas hidrolisadas, Valores 10, 20 e 30 após o código do ingrediente significam os níveis de inclusão do ingrediente teste na dieta referência. Círculos cheios e vazios representam os maiores e menores valores encontrados, respectivamente, na coluna.

Tabela 5.18. Aminoácidos essenciais (AAE) e aminoácidos não-essenciais (AANE) disponíveis nos ingredientes protéicos incluídos nos níveis de 10, 20 e 30% nas dietas teste elaboradas para juvenis do *Litopenaeus vannamei*. Valores médios expressos em % do aminoácido no ingrediente base matéria natural.. AAE: Arginina-ARG; Fenilalanina-FEN; Histidina-HIS; Isoleucina-ISO; Leucina-LEU; Lisina-LIS; Metionina-MET; Treonina-TRE; Valina-VAL. AANE: Alanina-ALA; Ác. aspártico-ASP; Cistina-CIS; Glicina-GLI; Ác. glutâmico-GLM; Prolina-PRO; Serina-SER e Tirosina-TIR (n=3)¹.

AA	ARG	ISO	LEU	LIS	CIS	MET	FEN	TIR	TRE	VAL	HIS	ALA	ASP	GLI	GLU	PRO	SER	ΣEAA
FPX10	● 4,72	● 1,91	● 3,59	● 4,91	0,95	● 3,32	● 1,77	● 1,37	● 1,79	● 2,09	● 1,35	● 3,39	● 4,47	● 4,23	● 6,69	● 2,47	● 1,79	● 27,77
FPX20	● 5,04	● 1,90	● 3,73	● 4,98	0,06	● 3,27	● 1,92	● 1,44	● 2,01	● 2,33	● 1,33	● 3,53	● 4,50	● 4,67	● 6,84	● 2,93	● 2,30	● 28,01
FPX30	● 4,78	● 1,67	● 3,49	● 4,94	0,10	● 3,12	● 1,83	● 1,37	● 2,02	● 2,13	● 1,34	● 3,49	● 4,26	● 4,62	● 6,73	● 2,82	● 2,20	● 26,81
CPS10	● 5,75	● 2,56	● 5,21	● 5,05	-0,25	● 1,43	● 3,04	● 1,91	● 2,25	● 2,76	● 1,88	● 2,90	● 7,05	● 3,00	● 11,41	● 4,00	● 3,64	● 31,60
CPS20	● 5,18	● 2,53	● 4,62	● 4,74	0,30	● 1,40	● 2,78	● 1,77	● 2,05	● 2,60	● 1,79	● 2,52	● 6,49	● 2,41	● 10,43	● 3,12	● 2,97	● 29,77
CPS30	● 4,74	● 2,25	● 4,30	● 4,67	0,43	● 1,38	● 2,59	● 1,66	● 1,87	● 2,24	● 1,86	● 2,14	● 6,27	● 2,02	● 10,04	● 2,64	● 2,46	● 27,97
FVF10	● 3,61	● 1,85	● 3,26	● 1,97	1,26	● 1,35	● 1,59	● 1,03	● 1,48	● 2,40	● 0,74	● 2,17	● 3,40	● 3,82	● 4,61	● 3,33	● 2,96	● 20,55
FVF20	● 4,34	● 1,95	● 3,54	● 2,07	4,50	● 1,62	● 1,90	● 1,23	● 1,81	● 2,82	● 0,66	● 2,65	● 3,29	● 4,49	● 4,95	● 4,33	● 4,10	● 26,44
FVF30	○ 1,13	○ 0,39	○ 1,18	○ 0,97	-4,43	○ 0,78	○ 0,45	○ 0,28	○ 0,49	○ 0,33	○ 0,38	○ 0,85	○ 2,02	○ 1,67	○ 2,19	○ 0,98	○ 0,68	○ 1,96
GLM10	○ 0,84	○ 0,77	● 4,90	○ 0,50	-4,31	● 1,96	● 1,56	● 1,33	● 0,81	● 0,96	● 1,06	● 1,98	○ 1,69	○ 0,78	● 6,53	● 3,07	○ 1,06	● 10,39
GLM20	○ 1,42	○ 1,08	● 5,25	○ 0,94	-3,11	● 2,08	● 1,86	● 1,55	● 1,12	● 1,37	● 1,14	● 2,73	○ 2,25	○ 1,11	● 7,01	● 3,49	● 1,53	● 14,69
GLM30	○ 1,81	○ 1,28	● 6,04	○ 1,15	-1,76	● 2,25	● 2,21	● 1,90	● 1,29	● 1,57	● 1,20	● 3,62	○ 2,34	○ 1,33	● 7,84	● 3,99	● 2,03	● 18,95
FCO10	● 2,67	○ 0,63	○ 1,53	● 1,69	1,16	○ 0,43	● 1,04	○ 0,43	○ 0,37	● 1,28	● 0,75	● 3,06	○ 1,46	● 5,09	○ 3,53	● 3,31	○ 1,05	● 11,98
FCO20	● 2,95	○ 0,62	○ 1,62	● 1,88	0,85	○ 0,45	● 1,03	○ 0,49	● 0,79	● 1,18	○ 0,23	● 2,72	○ 1,46	● 5,46	○ 3,67	● 3,08	○ 1,19	● 12,11
FCO30	● 2,37	○ 0,59	○ 1,26	● 1,47	0,13	○ 0,29	○ 0,79	○ 0,37	○ 0,54	● 0,95	● 0,57	● 2,52	○ 1,50	● 4,53	○ 3,25	● 2,70	○ 0,91	● 9,34
PEN10	● 2,78	● 1,37	● 2,65	● 2,40	4,79	○ 0,28	● 1,68	● 1,04	● 0,94	● 2,39	● 1,06	○ 1,92	● 2,85	● 3,09	● 4,07	● 2,93	● 1,88	● 21,37
PEN20	● 2,60	● 1,30	○ 2,09	● 1,98	2,93	○ 0,25	● 1,35	● 0,93	● 0,94	● 1,74	● 1,07	○ 2,18	● 2,68	● 2,68	○ 3,66	● 2,34	● 2,06	● 17,19
PEN30	● 3,22	● 1,34	● 2,78	● 2,28	5,07	○ 0,39	● 1,54	● 1,01	● 1,52	● 2,18	● 1,01	● 2,88	● 3,18	● 3,03	● 4,64	● 2,88	● 3,13	● 22,33

¹CPS (n=6), FVI (n=4). FPX – farinha de peixe, CPS – concentrado protéico de soja, FVI – farinha de vísceras de frango com baixa gordura, GLM – glúten de milho, FCO – farinha de carne e ossos e PEN – farinha de penas hidrolisadas, Valores 10, 20 e 30 após o código do ingrediente significam os níveis de inclusão do ingrediente teste na dieta referência. Círculos cheios e vazios representam os maiores e menores valores encontrados, respectivamente, na coluna.

Tabela 5.19. AA escore em %, número de AAs disponíveis abaixo do recomendado, AA limitante, índice de AA, escore médio em %, escore químico em % e déficit de AA dos aminoácidos essenciais mais cistina e tirosina de ingredientes protéicos nos níveis de 10, 20 e 30% nas dietas teste para juvenis do *L. vannamei* (matéria natural). Arginina-ARG; Fenilalanina-FEN; Histidina-HIS; Isoleucina-ISO; Leucina-LEU; Lisina-LIS; Metionina-MET; Treonina-TRE; Valina-VAL, Cistina-CIS e Tirosina-TIR.

AA escore	ARG	ISO	LEU	LIS	CIS	MET	FEN	TIR	TRE	VAL	HIS	AA's abaixo recomendado ¹	AA limitante ²	AA Index ³	escore médio ⁴	escore químico ⁵	Déficit de AA ⁶
FPX10	88,0	83,7	91,1	165,3	171,8	284,5	64,2	60,2	80,7	82,8	112,8	2	tir	0,92	111,3	60,2	2,1
FPX20	93,2	82,6	93,7	166,1	11,6	277,9	69,4	62,8	89,9	91,2	110,3	2	tir	1,31	113,7	62,8	2,3
FPX30	92,4	76,0	91,7	172,3	19,3	277,2	69,0	62,4	94,1	87,5	116,6	2	tir	1,27	113,9	62,4	2,3
CPS10	94,3	98,9	116,1	149,5	-39,4	107,8	97,1	73,7	89,1	95,8	138,4	1	tir	1,48	106,1	73,7	1,2
CPS20	90,1	103,7	109,4	148,8	49,8	112,3	94,4	72,5	85,9	96,1	140,2	1	tir	1,35	105,3	72,5	1,2
CPS30	87,8	98,1	108,1	156,0	76,0	117,1	93,7	72,2	83,4	88,0	154,6	1	tir	1,31	105,9	72,2	1,2
FVF10	91,0	109,6	111,9	89,8	305,8	157,0	78,3	60,9	90,2	128,3	83,7	1	tir	0,73	100,1	60,9	2,3
FVF20	85,0	89,8	94,2	73,3	851,2	145,4	72,6	56,7	85,8	117,2	58,3	3	tir	0,19	87,8	56,7	4,3
FVF30	298,5	240,7	422,7	459,9	-11265,7	948,0	232,1	176,5	313,4	185,9	453,2	0	tir	>100	373,1	176,5	nd ²
GLM10	41,8	90,8	331,8	45,3	-2072,0	449,4	151,9	155,6	97,4	101,8	237,9	2	arg	14,30	170,4	41,8	2,9
GLM20	50,0	89,8	251,8	59,9	-1058,4	336,3	127,7	128,6	94,9	102,8	180,2	2	arg	6,56	142,2	50,0	2,8
GLM30	49,5	82,6	224,3	56,6	-464,1	282,9	118,1	122,1	85,2	91,1	147,8	2	arg	2,43	126,0	49,5	3,9
FCO10	115,3	64,4	89,7	131,9	485,4	85,7	87,4	43,3	39,1	117,6	145,8	3	tre	0,19	92,0	39,1	2,2
FCO20	126,4	62,8	94,2	145,1	350,7	89,0	85,6	49,8	81,7	107,3	45,0	3	his	0,16	88,7	45,0	2,4
FCO30	131,4	77,3	94,7	147,4	69,8	74,0	85,0	48,8	72,7	112,0	143,1	4	tir	0,51	98,6	48,8	3,0
PEN10	67,4	78,3	87,4	104,8	1120,2	31,0	79,3	59,2	55,2	122,8	115,5	4	met	0,05	80,1	31,0	2,5
PEN20	78,4	92,6	85,7	107,9	852,0	34,4	79,1	65,7	68,4	111,5	145,1	3	met	0,13	86,9	34,4	2,0
PEN30	74,7	73,0	87,6	95,5	1134,9	41,6	69,7	55,0	85,1	107,2	105,1	5	met	0,07	79,5	41,6	3,7

¹menor que 75% da recomendação

²menor nível observado

³aa1/rec1 x aa2/rec2 ...x aan/recn

⁴média dos AA escore

⁵escore do AA limitante

⁶(AA escore < 75% 1+ AA escore < 75% 2 ...+ AA escore < 75% n) / proteína do ingrediente

^{2nd} – não determinado por que não há valores inferiores a 75% da recomendação

Tabela 5.20. Preço em US\$ ton⁻¹ dos ingredientes protéicos, aminoácidos disponíveis e preço em US dólar por kg de aminoácido disponível nos seis ingredientes protéicos para juvenis do *Litopenaeus. vannamei* em três níveis de inclusão. Valores em g 100g⁻¹ do ingrediente, exceto quando especificado, base matéria natural . ARG – arginina, MET – metionina, LIS – lisina, CIS – cistina, FEN – fenilalanina, TIR – tirosina e somatório dos aminoácidos essenciais - Σ AAE¹.

Ingrediente/i nclusão	US\$ ton ⁻¹	ARG	US\$ kg ARG D	MET	US\$ kg MET D	LIS	US\$ kg LIS D	CIS	US\$ kg CIS D	MET+CIS	US\$ kg MET+CIS	FEN	TIR	FEN+ TIR	US\$ kg FEN+TIR	Σ AAE	US\$kg AAE
FPX10	1400,0	● 4,72	○ 29,67	● 3,32	○ 42,19	● 4,91	○ 28,50	● 0,95	○ 146,76	● 4,27	○ 32,77	● 1,77	● 1,37	3,14	● 44,62	● 27,77	○ 5,04
FPX20	1400,0	● 5,04	○ 27,78	● 3,27	○ 42,81	● 4,98	○ 28,11	● 0,06	● 2157,68	● 3,33	○ 41,98	● 1,92	● 1,44	3,37	○ 41,59	● 28,01	○ 5,00
FPX30	1400,0	● 4,78	○ 29,27	● 3,12	○ 44,85	● 4,94	○ 28,32	● 0,10	● 1349,45	● 3,23	○ 43,41	● 1,83	● 1,37	3,20	○ 43,72	● 26,81	○ 5,22
CPS10	718,6	● 5,75	○ 12,49	● 1,43	○ 50,24	● 5,05	○ 14,22	● -0,25	○ -288,51	● 1,18	○ 60,84	● 3,04	● 1,91	4,95	○ 14,52	● 31,60	○ 2,27
CPS20	718,6	● 5,18	○ 13,88	● 1,40	○ 51,17	● 4,74	○ 15,16	● 0,30	○ 242,31	● 1,70	○ 42,25	● 2,78	● 1,77	4,55	○ 15,79	● 29,77	○ 2,41
CPS30	718,6	● 4,74	○ 15,16	● 1,38	○ 52,25	● 4,67	○ 15,39	● 0,43	○ 168,99	● 1,80	○ 39,91	● 2,59	● 1,66	4,25	○ 16,91	● 27,97	○ 2,57
FVF10	658,7	● 3,61	○ 18,24	● 1,35	○ 48,61	● 1,97	○ 33,37	● 1,26	○ 52,42	● 2,61	○ 25,22	● 1,59	● 1,03	2,62	○ 25,15	● 20,55	○ 3,21
FVF20	658,7	● 4,34	○ 15,18	● 1,62	○ 40,78	● 2,07	○ 31,76	● 4,50	○ 14,63	● 6,12	○ 10,77	● 1,90	● 1,23	3,13	○ 21,05	● 26,44	○ 2,49
FVF30	658,7	○ 1,13	● 58,21	○ 0,78	○ 84,22	○ 0,97	○ 68,14	○ -4,43	○ -14,88	○ -3,64	○ -18,08	○ 0,45	○ 0,28	0,74	● 89,55	○ 1,96	● 33,53
GLM10	868,3	○ 0,84	● 103,55	● 1,96	○ 44,28	○ 0,50	● 172,43	○ -4,31	○ -20,17	○ -2,34	○ -37,04	● 1,56	● 1,33	2,89	○ 30,06	○ 10,39	○ 8,36
GLM20	868,3	○ 1,42	● 61,28	● 2,08	○ 41,84	○ 0,94	● 92,24	○ -3,11	○ -27,91	○ -1,04	○ -83,88	● 1,86	● 1,55	3,41	○ 25,48	○ 14,69	○ 5,91
GLM30	868,3	○ 1,81	○ 47,97	● 2,25	○ 38,57	○ 1,15	○ 75,71	○ -1,76	○ -49,37	○ 0,49	● 176,40	● 2,21	● 1,90	4,11	○ 21,12	○ 18,95	○ 4,58
FCO10	389,2	○ 2,67	○ 14,60	○ 0,43	○ 90,23	○ 1,69	○ 23,01	○ 1,16	○ 33,46	○ 1,59	○ 24,41	○ 1,04	○ 0,43	1,46	○ 26,61	○ 11,98	○ 3,25
FCO20	389,2	○ 2,95	○ 13,18	○ 0,45	○ 85,99	○ 1,88	○ 20,71	○ 0,85	○ 45,84	○ 1,30	○ 29,90	○ 1,03	○ 0,49	1,52	○ 25,61	○ 12,11	○ 3,22
FCO30	389,2	○ 2,37	○ 16,42	○ 0,29	○ 134,11	○ 1,47	○ 26,41	○ 0,13	○ 298,42	○ 0,42	○ 92,53	○ 0,79	○ 0,37	1,16	○ 33,55	○ 9,34	○ 4,17
PEN10	538,9	○ 2,78	○ 19,40	○ 0,28	● 193,45	○ 2,40	○ 22,49	● 4,79	○ 11,26	● 5,07	○ 10,64	○ 1,68	○ 1,04	2,71	○ 19,85	○ 21,37	○ 2,52
PEN20	538,9	○ 2,60	○ 20,71	○ 0,25	● 216,91	○ 1,98	○ 27,16	● 2,93	○ 18,40	● 3,18	○ 16,96	○ 1,35	○ 0,93	2,27	○ 23,73	○ 17,19	○ 3,14
PEN30	538,9	○ 3,22	○ 16,74	○ 0,39	○ 138,19	○ 2,28	○ 23,61	● 5,07	○ 10,63	● 5,46	○ 9,87	○ 1,54	○ 1,01	2,55	○ 21,15	○ 22,33	○ 2,41

¹Preços fornecidos pela Guabi Nutrição Animal Ltda em 17 de Março de 2011. FPX – farinha de peixe, CPS – concentrado protéico de soja, FVI – farinha de vísceras de frango com baixa gordura, GLM – glúten de milho, FCO – farinha de carne e ossos e PEN – farinha de penas hidrolisadas. Circulos cheios e vazios representam os maiores e menores valores encontrados, respectivamente.

a valores próximos a 100% principalmente no CPS e FPX em todos os AAes. A menor média entre os AAes foi observada na treonina e a maior na arginina, histidina, lisina e metionina. A DAaa média nos AANes foi igual a 71,4% e variou de valores negativos para a cistina a valores superiores a 100% para o CPS na maioria dos AAs, com valores inferiores para a histidina. A menor média entre os AANes foi igual 69% para a serina e tirosina e a maior média foi 78% para o ácido aspártico. A DAaa para a cistina apresentou valores extremos que oscilaram entre valores negativos inferiores a 100% e valores positivos superiores a 1000% (Tabela 5.17). De forma geral, os DAaas do CPS, FPX, FVI (exceto FVI30) e FCO não apresentaram diferenças significativas entre si e apresentaram DAaas superiores aos verificados no GLM e PEN. ou semelhantes aos dos demais ingredientes. Os ingredientes FVI e FCO apresentaram DAaas intermediários em relação aos demais.

Os DAaas dos AAes da farinha de peixe foram altos e variaram de 78,3% para a treonina na FPX10 a 97,1% para a arginina na FPX20. O concentrado protéico de soja apresentou valores ainda mais altos e superiores a 87,4% para a valina no CPS30 e acima de 90% para os demais AAes. A FVI30 apresentou valores muito baixos e inferiores a 50% para todos os AAes ao contrário da FVI20 que apresentou valores entre 62% para a histidina e 93,4% para a metionina os quais foram estatisticamente iguais aos níveis observados na FPX e CPS.

Os DAaas dos AAes do GLM aumentaram com o nível de inclusão e no GLM30 os DAaas variaram de 63,3% para a fenilalanina a 92,5% para a lisina e os seus DAaas foram estatisticamente iguais aos DAaas da FPX e CPS, com exceção do menor nível observado para a fenilalanina. A FCO também apresentou níveis de AAes intermediários que variaram de 39% para a treonina a 97,1% para a valina na FCO10. Com poucas exceções, os DAaas deste ingrediente foram estatisticamente iguais aos observados na FPX e no CPS, porém este ingrediente apresentou um grande desvio padrão na grande maioria dos seus AAs, o que pode ter influenciado esta tendência.

A farinha de penas hidrolisadas, de modo geral, apresentou os menores DAaas dos AAes entre os ingredientes avaliados e os seus coeficientes apresentaram uma tendência de diminuição na inclusão de 20% em relação à inclusão de 10% seguida por um aumento na inclusão de 30%, com algumas exceções como por exemplo em relação à histidina. Os DAaas variaram de 27,8% para a treonina a 69,2% para a histidina na

FVI20. As menores DAAs do PEN, de forma geral, não apresentaram diferenças estatísticas em relação aos coeficientes da FVI30 e GLM e os maiores DAAs foram semelhantes aos dos ingredientes FVI e FCO (Tabela 5.17).

A FPX e o CPS apresentaram os maiores níveis de aminoácidos disponíveis determinados com destaque para a lisina e a arginina na FPX e CPS e a lisina na FPX, enquanto que a FCO e o GLM apresentaram, de modo geral, os menores níveis de aminoácidos disponíveis (Tabela 5.18). A tirosina foi o aminoácido limitante na FPX, CPS e FVI enquanto que a arginina foi o AA limitante no GLM, a metionina na PEN e a tirosina, histidina e treonina foram os limitantes para a FCO nas inclusões de 10%, 20% e 30%, respectivamente. Os indicadores índice de aminoácidos, escore médio e escore químico foram superiores na FPX e no CPS e inferiores na FVI30, GLM, FCO e PEN, enquanto que o déficit de AAs foi menor no CPS e similar nos demais ingredientes nos diferentes níveis de inclusão (Tabela 5.19).

Os menores custos por aminoácido disponível, em termos de US\$ por kg de aminoácido para a ARG, MET, LIS, CIS, FEN e TIR foram observados no concentrado protéico de soja e na farinha de carne e ossos para a ARG e LIS, no GLM e na FPX para a metionina, na PEN para a CIS e para a MET + CIS e no CPS para a FEN + TIR. Considerando o somatório dos aminoácidos essenciais disponíveis o CPS e a PEN aportaram os AAE disponíveis ao menor custo (Tabela 5.20).

Digestibilidade das dietas e ingredientes em cultivo de longa duração.

Os coeficientes de digestibilidade aparente da matéria-seca, proteína e energia da dieta contendo o concentrado protéico de soja foram iguais nas duas rodadas e significativamente superiores aos da dieta contendo a farinha de vísceras de frango e a DAPB da segunda rodada deste último foi superior ao da primeira rodada.

Um comportamento semelhante foi observado em relação aos coeficientes digestibilidade aparente dos ingredientes que em termos de matéria-seca, proteína bruta e energia bruta foram mais altos para o ingrediente CPS, sendo iguais nas duas rodadas. A DAMD e a DAPB da farinha de vísceras de frango foi significativamente superior na segunda rodada (Tabela 5.21).

Tabela 5.21. Digestibilidade aparente da matéria-seca (DAMS), digestibilidade aparente da proteína bruta (DAPB) e digestibilidade aparente da energia (DAE) das dietas teste contendo os ingredientes concentrado protéico de soja (CPS) e a farinha de vísceras de frango (FVI) e dos ingredientes CPS e FVI incluídos no nível de 30% nas dietas teste por juvenis do *L. vannamei* determinada após as rodadas 1 e 2. Valores em % e expressos em média $\pm$ desvio padrão (n=3)¹

Ingrediente	Rodada	n		Dieta			Ingrediente		
				DAMS	DAPB	DAE	DAMS	DAPB	DAE
CPS	1	6	média	72,2a	86,3a	81,8a	63,8a	92,4a	78,2a
			dp	2,1	2,8	1,7	6,7	6,2	5,5
	2	3	média	70,6a	86,2a	81,8a	68,3a	93,2a	83,0a
			dp	1,2	0,9	0,7	3,7	2,0	2,4
FVI	1	4	média	60,8	55,9	71,1	26,5	22,5	46,4
			dp	3,8	4,5	2,9	12,4	10,3	8,7
	2	3	média	63,5	63,5b	73,4	45,4b	41,3b	58,0
			dp	1,2	1,9	0,9	3,9	4,3	2,6

¹Valores seguidos pela mesma letra em uma mesma coluna não diferem entre si estatisticamente (P<0,05). CPS – concentrado protéico de soja, FVI – farinha de vísceras de frango.

Correlações

A determinação da proteína bruta através do método C,H,N. e Dumas apresentaram correlação significativa com a proteína verdadeira (P = 0,00004 e P = 0,0001, respectivamente e $r^2 > 0,98$).

Uma análise de correlação entre a digestibilidade aparente da proteína verdadeira (DAPV) dos ingredientes e a média do escore de aminoácidos AA dos ingredientes (tabela 4.5 do capítulo 4) mostrou que existe uma correlação negativa significativa (P<0,001, $r^2=0,5048$), diferente da correlação entre a DAPV dos ingredientes e o índice de aminoácidos dos ingredientes que não foi significativa (P = 0,0575, $r^2 = 0,0536$).

A digestibilidade aparente da matéria-seca dos ingredientes (DAMS) não apresentou correlação significativa (P = 0,0983) com o crescimento em gramas por semana (capítulo 6) enquanto que as correlações entre os coeficientes de digestibilidade aparente da proteína bruta (DAPB) e da proteína verdadeira (DAPV) dos ingredientes e o crescimento em g semana⁻¹ foram significativos (P = 0,0005, $r^2 = 0,1947$ e P = 0,0029, $r^2 = 0,1275$, respectivamente. Da mesma forma foi observada correlação entre o

crescimento e a disponibilidade média dos aminoácidos ($P=0,0002$, $r^2=0,2029$) e entre o crescimento e a digestibilidade aparente da energia (DAE) dos ingredientes ($P = 0,0444$ e $r^2 = 0,0599$). A correlação entre a digestibilidade aparente da proteína verdadeira dos ingredientes e o fator de conversão alimentar – FCA foi inversa e significativa ($P = 0,0365$, $r^2 = 0,0646$), muito embora os coeficientes de determinação tenham sido baixos.

5.4. Discussão

Qualidade da água e desempenho

A qualidade da água nos dois sistemas experimentais ao longo dos ensaios de digestibilidade estiveram dentro da recomendação, ou seja: oxigênio dissolvido acima de $3,0 \text{ mgL}^{-1}$ (Seidman e Lawrence, 1985), salinidade e temperatura média na faixa de 28 a 30°C e 33 a 40ppt, respectivamente (Ponce-Palafox et al., 1997), amônia não-ionizada ($\text{NH}_3\text{-un}$) inferior a $0,16 \text{ mgL}^{-1}$ (Lin e Chen, 2001), nitrito (NO_2) menor que $25,7 \text{ mgL}^{-1}$ (Lin and Chen 2003) e NO_3 abaixo de 220 mgL^{-1} (Kuhn et al., 2010).

A diferença de $2,1^\circ\text{C}$ na temperatura da água ao longo dos ensaios de digestibilidade nas rodadas 1 e 2 se deve à queda da temperatura do ar com o aumento da incidência das frentes frias na região Sudeste. O fato de o galpão estar situado a poucos metros do mar e não ser totalmente fechado favoreceu a entrada do vento frio no seu interior baixando a temperatura ambiente e muito embora os sistemas possuísem aquecedores estes não foram suficientes para manter a temperatura estável. O sistema 1 apresentou uma média de temperatura entre $0,7$ e $0,9^\circ\text{C}$ inferior à temperatura do sistema 2 devido ao fato de que este sistema era o que recebia o maior contato dos ventos enquanto que o sistema 2 estava atrás do sistema 1 e portanto mais protegido. Apesar destas diferenças, a queda da temperatura na rodada 2 não parece ter afetado o desempenho dos camarões e a sua digestibilidade, como mostram os dados de crescimento no capítulo 6, o que também foi observado por diferentes autores em relação ao crescimento em diferentes temperaturas. Um destes estudos demonstrou que a taxa de crescimento específico do *Litopenaeus vannamei* com pesos médios de 3,9 e 10,8g cultivados nas temperaturas de 27 e 30°C foi o mesmo (Wyban et al., 1995).

Um estudo avaliou o desempenho e a digestibilidade do *L. vannamei* em diferentes salinidades e temperaturas e observou que na salinidade de 31‰ a taxa de

crescimento específico foi significativamente menor na temperatura de 24°C do que nas temperaturas de 28°C e 32°C, que não apresentaram diferenças significativas entre si assim como o consumo de alimento. Já em relação ao coeficiente de digestibilidade da dieta não apresentou diferenças estatísticas significativas nas temperaturas de 24°C, 28°C e 32°C (Yan et al., 2007).

Resultados semelhantes foram obtidos para o crescimento em um estudo com o *L. vannamei* alimentado com dietas com diferentes níveis de carboidratos e observou-se que nas temperaturas de 27°C e 32°C os camarões alimentados com dietas contendo o mesmo nível de carboidratos apresentaram taxas de crescimento específico e consumo de alimento similares, porém os coeficientes de digestibilidade foram significativamente maiores na maior temperatura (Wang et al., 2006). Vale destacar que a amplitude da temperatura foi igual a 5°C, ou 1°C a mais da amplitude avaliada por Yang et al. (2007), que não registraram diferenças significativas entre os tratamentos citados.

Um estudo realizado com o camarão marinho *Fenneropenaeus chinensis* avaliou o efeito da flutuação da temperatura no desempenho e na digestibilidade determinada pelo método direto. Os resultados mostraram que na temperatura de 28°C a taxa de crescimento específico não apresentou diferenças significativas quando a temperatura da água apresentou flutuações de 1°C, 2°C ou 3°C e na temperatura de 31°C as taxas de crescimento específico foram as mesmas nas flutuações de 1°C e 2°C e nas flutuações de 2°C e 3°C, enquanto que o consumo de alimento foi igual em todas as amplitudes de flutuação da temperatura. Os coeficientes de digestibilidade da dieta não apresentaram diferenças estatísticas significativas entre as temperaturas de 25°C, 28°C e 31°C em flutuações que variaram de 0 a 4°C ao longo do dia (Tian e Dong, 2006).

Conforme foi observado nos estudos realizados sobre os efeitos da temperatura no desempenho e na digestibilidade diferenças iguais ou superiores a 5°C causam efeitos significativos nas duas respostas, crescimento e digestibilidade e o estudo realizado por Tian e Dong (2006) mostrou efeitos positivos de flutuações moderadas no desempenho. Neste estudo a amplitude de temperatura não ultrapassou 3,1°C ao longo da rodada 1 porém na rodada 2 chegou a 4,9°C, no entanto os desvios padrão foram inferiores a 1,1 na rodada 1 e 1,4 na rodada 2, o que demonstra que as flutuações estiveram dentro da faixa reportada em estudos sobre os efeitos da temperatura no

crescimento e na digestibilidade de camarões marinhos onde flutuações desta magnitude não afetaram as respostas dos camarões em termos de desempenho e digestibilidade.

O desempenho médio dos animais próximo a $1,4 \text{ g sem}^{-1}$ está acima do crescimento mínimo de $0,9 \text{ g sem}^{-1}$ sugerido por Fox et al. (2006) como parâmetro nas pesquisas sobre exigências nutricionais do *L. vannamei* e dentro da faixa observada em outros trabalhos com diferentes sistemas em água clara, sistema heterotrófico e com água verde, tais como os crescimentos de 0,45 a 0,64 e 1,90 a $2,16 \text{ g sem}^{-1}$ para o *L. vannamei* em um estudo realizado por Tacon et al. (2002) em sistema indoor com renovação e em troca zero, respectivamente e também é compatível com o crescimento nas fazendas no Brasil que é próximo a $1,0 \text{ g sem}^{-1}$, o que indica que as condições experimentais foram adequadas e atende a recomendação de crescimento igual ou superior ao obtido nas fazendas para estudos de nutrição de crustáceos em condições aplicadas (Tacon, 1996; Tacon, 2010). Uma discussão mais detalhada do crescimento, fatores de conversão alimentar e sobrevivência se encontra no capítulo 6.

Dietas experimentais – tamanho das partículas dos ingredientes

A durabilidade dos peletes feito com ingredientes com partículas no tamanho de $603\mu\text{m}$ foi significativamente inferior à durabilidade dos peletes com ingredientes com tamanhos de partículas iguais a $272\mu\text{m}$, muito embora a diferença tenha sido de apenas 0,84 pontos percentuais. Um comportamento semelhante foi observado em relação à estabilidade na água que foi significativamente diferente, mas a diferença percentual foi maior que 2,8 pontos percentuais. Apesar das diferenças nas características físicas dos peletes o crescimento semanal, o fator de conversão alimentar e a sobrevivência de juvenis do camarão *L. vannamei* alimentados com dietas com tamanho de partículas iguais a $272\mu\text{m}$ e $603\mu\text{m}$ foram estatisticamente iguais (Obaldo et al., 1998).

O menor tamanho de partícula é próximo à recomendação de que 95% dos ingredientes em peso após a moagem sejam inferiores a $250\mu\text{m}$ (Tan e Dominy, 1997) enquanto que o maior tamanho de partícula corresponde ao padrão utilizado por algumas indústrias de ração e adotado neste estudo. A energia necessária para moer um ingrediente no tamanho de $272\mu\text{m}$ é aproximadamente 7,6 vezes mais alto do que o custo para moer um ingrediente com partículas com $586\mu\text{m}$ (Obaldo et al., 1998).

Em um estudo realizado com o *Penaeus indicus* alimentados com dietas contendo ingredientes moídos em tamanhos que variaram de 50 μ m a 500 μ m foi observado que o tamanho da partícula não alterou significativamente a estabilidade dos peletes, muito embora a maior estabilidade tenha sido registrada nos peletes com ingredientes moídos no tamanho de 212 μ m, o qual também correspondeu aos maiores índices de digestibilidade e ganho de peso (Palaniswamy e Ahmad, 1991). Porém é importante observar uma falha da metodologia adotada pelos autores ao moer todos os ingredientes no diâmetro de 1,0 mm para em seguida separar o tamanho das partículas com o uso de peneiras. Os ingredientes são comercializados com diferentes tamanhos de partículas e normalmente as partículas das frações mais difíceis de moer apresentam tamanhos maiores e correspondem a espinhas de peixe, fibras de vegetais, impurezas que ao serem retiradas na peneira melhoram a qualidade do ingrediente peneirado.

O tamanho das partículas dos ingredientes adotado neste estudo está acima do recomendado por outros autores, mas como um dos principais objetivos da pesquisa foi obter dados em condições compatíveis com as condições práticas a adoção de tamanhos de partículas menores iria contra este objetivo. Além deste aspecto, de forma geral o efeito do tamanho das partículas na digestibilidade e no crescimento tanto em camarões como em peixes não tem sido significativo (Obaldo et al., 1998; Sveir et al., 1999; Zhu et al., 2001). As recomendações técnicas apresentam algumas diferenças em relação aos estudos, desta forma, o tamanho da partícula dos ingredientes merece ser analisado com cautela uma vez que os dados obtidos em alguns estudos podem apresentar incoerência na metodologia utilizada, o que abre espaço para novos estudos que determinem com mais precisão os aspectos relacionados ao tamanho das partículas e seus efeitos no processamento das dietas, na digestibilidade e no crescimento dos camarões cultivados.

Digestibilidade das dietas experimentais

A dieta referência foi formulada para possuir características similares a uma dieta comercial de alto desempenho (Tacon, 1996) e o seu coeficiente de digestibilidade aparente da matéria-seca esteve na faixa reportada em outros estudos similares com dietas de referência convencionais e cujos coeficientes de digestibilidade aparente da matéria-seca para o *L. vannamei* foram: 71% (Cruz-Suarez et al., 2009); 85,5% (Cruz-Suárez et al., 2007); 78,8 a 82,9% (Divakaran et al., 2000); 78,46% (Forster et al.,

2003); 68,9% (Goytortúa-Bores et al., 2006); 81,9% (Hernández et al., 2008); 66,1% (Lin et al., 2004); 70,2% (Rivas-Veja et al., 2006), 66,6% (Zhu et al., 2004).

Os coeficientes de digestibilidade aparente da proteína (DAPB) da dieta referência nas duas rodadas (75 e 81%) foram significativamente diferentes entre si mas foram próximos aos obtidos em outros estudos de digestibilidade para o *L. vannamei* onde foram encontrados valores de 77,7% (Cruz-Suárez et al., 2009), 88,9% (Cruz-Suárez et al., 2007), 88,1 a 89,8% (Divakaran et al., 2000), 92,63% (Forster et al., 2003), 79,7% (Goytortúa-Bores et al., 2006), 85,3% (Hernández et al., 2008), 80,4 (Lin et al., 2004); 85,8% (Rivas-Veja et al., 2006). Já em relação à digestibilidade aparente da proteína verdadeira (DAPV), não houve diferença entre as rodadas. Os coeficientes de digestibilidade aparente da energia da dieta referência obtidos nas rodadas 1 e 2 foram 81% e 83%, respectivamente, e são semelhantes aos coeficientes reportados em outros estudos cujos coeficientes foram menores com valores de 73,9% (Goytortúa-Bores et al., 2006) ou maiores com valores na faixa de 83,8% a 90,0% (Divakaran et al., 2000; Cruz-Suárez et al., 2007; Hernández et al., 2008; Cruz-Suárez et al., 2009). Para o *L. setiferus*, os coeficientes de digestibilidade aparente da proteína e energia foram respectivamente 82,9% e 70,3% (Brunson et al., 1997).

As diferenças entre os coeficientes de digestibilidade aparente da proteína da dieta referência nas duas rodadas podem refletir o efeito do tamanho dos camarões na digestibilidade como também diferenças nas condições experimentais entre as duas rodadas, apesar de não terem sido identificadas diferenças na qualidade da água e nem no crescimento e os procedimentos terem sido os mesmos, ou a variabilidade inerente aos estudos de digestibilidade. Outros estudos obtiveram respostas distintas constatando o efeito do tamanho nos coeficientes de digestibilidade aparente da proteína (Siccardi et al., 2006) ou concluindo que os coeficientes de digestibilidade apresentaram variações independentes do tamanho dos camarões (Smith et al., 1985).

Considerando que o sistema e o protocolo experimental deste trabalho buscaram reduzir a lixiviação da ração e das fezes é esperado coeficientes de digestibilidade aparente menores do que aqueles resultantes de outros estudos, muito embora as condições experimentais e as dietas sejam diferentes, entretanto é possível afirmar que a despeito de todas as variáveis estes dados, de forma geral, são comparáveis.

A escassez de estudos sobre digestibilidade das dietas para camarões marinhos, especialmente em níveis crescentes de inclusão, restringe a comparação de dados e a maioria dos estudos não apresenta os dados sobre a digestibilidade das dietas teste. Alguns dados passíveis de comparação são os coeficientes de digestibilidade aparente para matéria-seca (76%), proteína (83%) e energia (84%) da dieta teste contendo farinha de peixe 30% cuja participação na dieta total equivale a 44% são comparáveis aos coeficientes de digestibilidade obtidos por Cruz-Suárez et al. (2007, 2009) para as dietas referência citadas acima.

Para dietas com farinha de carne e ossos, Forster et al. (2003) registraram coeficientes de digestibilidade aparente da matéria-seca e da proteína de 68 e 85%, respectivamente, os quais foram superiores aos coeficientes obtidos no presente trabalho na inclusão de farinha de carne e ossos a 10% e que foram 63 e 73%. Embora o ingrediente avaliado por estes autores contivesse 95% de farinha de carne e ossos mais 5% de farinha de subprodutos de suínos e os seus níveis de proteína e cinzas tenham sido 20% maior e 41% menor, respectivamente, do que os níveis do ingrediente avaliado neste trabalho,. No estudo com o *L. setiferus* os coeficientes de digestibilidade aparente para a matéria-seca, proteína e energia da dieta teste contendo FCO foram 54, 76 e 68%, respectivamente (Brunson et al., 1997).

Alguns autores observaram que o nível de proteína do ingrediente tem efeito positivo na digestibilidade, enquanto que o teor de cinzas exerce um efeito negativo na digestibilidade (Lee, Lawrence, 1997; Siccardi et al., 2006). Neste trabalho foi verificada uma correlação significativa ($P < 0,05$) e positiva entre a proteína da dieta teste e a digestibilidade da matéria-seca e entre a proteína do ingrediente e a digestibilidade da proteína ($P < 0,05$). No entanto, uma generalização neste sentido parece incorreta e superficial uma vez que a digestibilidade da proteína da farinha de penas hidrolisadas foi inferior a de outros ingredientes, como a FPX e CPS com níveis inferiores de proteína bruta. Os resultados obtidos em um estudo com o *L. setiferus* também sustentam esta afirmação já que os coeficientes de digestibilidade da proteína farinha do fígado de lula foram estatisticamente iguais à do milho em grão e da farinha de trigo, a despeito do primeiro ingrediente possuir um nível de proteína mais elevado (Brunson et al., 1997). Um estudo realizado com o *Penaeus monodon* mostrou que as digestibilidades *in vivo* e *in vitro* de dietas contendo proteína bruta em seis níveis entre 30 e 41% foram mais altas na dieta contendo 35% de proteína bruta (Dayal et al., 2003)

enquanto que um estudo realizado com o pargo europeu mostrou que o nível de proteína da dieta não teve influência significativa (Fontoulaki et al., 2005).

Os coeficientes de digestibilidade aparente dos ingredientes teste em três níveis de inclusão obtidos neste trabalho mostraram que a digestibilidade das dietas foram coerentes com o esperado em relação ao efeito dos ingredientes na digestibilidade, ou seja, as dietas com os ingredientes teste mais digestíveis apresentaram coeficientes de digestibilidade aparente superiores aos das dietas com ingredientes teste menos digestíveis como, por exemplo a farinha de penas e a farinha de glúten de milho.

A digestibilidade aparente dos aminoácidos seguiu o mesmo padrão da digestibilidade aparente da matéria-seca, proteína e energia e foi maior nos mesmos ingredientes que apresentaram os maiores coeficientes de digestibilidade (farinha de peixe e concentrado protéico de soja). A digestibilidade da cistina nas dietas teste contendo farinha de vísceras de frango 30% e glúten de milho 20 e 30% variaram de - 25% a 21% e o AA score da cistina no glúten de milho foi o menor entre os ingredientes, ao contrário da farinha de vísceras onde o AA score para a cistina foram acima da média. A razão destes baixos coeficientes de digestibilidade para a cistina no caso do glúten de milho pode ser devido ao baixo AA score combinado à produção de cistina endógena e no caso da farinha de vísceras de frango o nível elevado de cistina no ingrediente pode ter prejudicado a sua digestibilidade, como observado por outros autores (Hertrampf e Piedad-Pscual, 2000).

Digestibilidade dos ingredientes (DAMS, DAPB, DAE)

A determinação dos coeficientes de digestibilidade aparente de ingredientes para dietas de camarões marinhos deve ser realizada em níveis crescentes de inclusão dentro da faixa empregada pelas fábricas de ração a fim de tornar os resultados mais aplicados (Tacon 1996; D'Abramo e Castell, 1997; Lee e Lawrence, 1997; Glencross, 2007). Apesar do lapso de tempo decorrido desde as primeiras recomendações as pesquisas avançaram pouco nesta direção e com raras exceções os estudos de digestibilidade com organismos aquáticos ainda empregam o nível de inclusão de 30% para o ingrediente teste independente da sua natureza. A necessidade de mais unidades experimentais para avaliar o mesmo número de ingredientes pode ser um dos principais fatores

responsáveis por tornar esta estratégia pouco atrativa. Entretanto, um aspecto que merece atenção é a vulnerabilidade do método a erros experimentais, especialmente quando a porcentagem do ingrediente de interesse na dieta teste ou a concentração do nutriente do ingrediente também (Sugiura, 2000, Smith et al., 2004). A variância da digestibilidade de um ingrediente na inclusão de 20% é 40 vezes maior do que a variância da digestibilidade de uma dieta contendo apenas o ingrediente teste e na inclusão de 50% esta variância é apenas 5 vezes maior do que a variância de uma dieta contendo apenas o ingrediente teste (Smith et al., 2004), o que torna a tarefa de compatibilizar inclusões de ingredientes a níveis práticos com a obtenção de dados representativos complicada, muito embora as interações observadas em diferentes inclusões, em alguns casos gerando coeficientes de digestibilidades maiores do que 100%, indicam efeitos dos ingredientes nas dietas (Glencross, 2011).

Neste trabalho, os coeficientes de digestibilidade aparente variaram com o ingrediente e o seu nível de inclusão e ao contrário do esperado os coeficientes de digestibilidade aparente nos menores níveis de inclusão de alguns ingredientes foram inferiores aos coeficientes observados nas inclusões mais altas como, por exemplo, nos coeficientes de digestibilidade aparente da matéria-seca para a farinha de peixe, glúten de milho, farinha de carne e ossos e farinha de penas hidrolisadas nos coeficientes de digestibilidade aparente da proteína bruta para a farinha de vísceras de frango e glúten de milho e nos coeficientes de digestibilidade aparente da energia para a farinha de carne e ossos e farinha de penas hidrolisadas.

Uma premissa dos estudos de digestibilidade é que os coeficientes estejam dentro da faixa que vai de 0% a 100%, porém alguns trabalhos que avaliaram ingredientes na inclusão de 30% reportaram valores negativos ou superiores a 100%, o que tem sido atribuído a erros analíticos na análise dos nutrientes e marcadores, baixa homogeneidade do cromo na ração, amostras não representativas de fezes, interações entre nutrientes, lixiviação, interferência por material endógeno, indisponibilidade de nutrientes provocada pela alta temperatura (reação de Maillard) durante o processamento do ingrediente ou da dieta (Akiyama, 1989; Sugiura et al., 1998; Divakaran, 2000; Glencross et al., 2007; Terrazas-Fierro, 2010).

Os coeficientes de digestibilidade aparente da matéria-seca (DAMS) da farinha de cavalinha e anchoveta, do Chile foram estatisticamente iguais entre si nas três

inclusões, sendo igual a 75,9% na inclusão de 30%, o que está dentro da faixa observada em outros estudos com o *L. vannamei* com valores de 64,3% para a farinha de *menhaden* (Akiyama et al., 1989); 73,5% para a farinha de anchoveta similar a este estudo (Siccardi et al., 2006); 81,4% para a farinha mista de sardinha do México e *menhaden* (Cruz-Suárez et al., 2007); 82,8% para a farinha de peixe não especificada (Yang et al., 2009); 76,2% para a farinha de sardinha do México (Terrazas-Fierro et al., 2010). Graças ao seu perfil de aminoácidos similar às exigências dos camarões marinhos, a digestibilidade da farinha de peixe não é afetada pelo nível de inclusão, como mostrou um estudo sobre a digestibilidade do arenque em níveis de inclusão entre 10 a 50% pelo *haddock* (Kim et al., 2006).

Os coeficientes de digestibilidade aparente da proteína bruta (DAPB) da farinha de peixe neste trabalho foram superiores aos dos demais ingredientes com exceção do concentrado protéico de soja e variaram de 76,2% a 84,2% nos níveis de inclusão de 20% e 30% respectivamente enquanto que os coeficientes de digestibilidade aparente da proteína verdadeira (DAPV) variaram de 86,4% a 93,5% nas inclusões de 10% e 20%, respectivamente. Outros estudos com juvenis do *L. vannamei* obtiveram DAPB iguais a 88,8% para a farinha de cavallinha do Chile (Siccardi et al., 2006) e de 80,7% a 91,6% para farinhas de peixe não especificadas (Akiyama et al. 1989; Yang et al., 2009) e de 62,7% a 87,9% para farinhas de sardinha do México (Cruz-Suárez et al., 2007; Terrazas-Fierro et al., 2010). Em *L. setiferus* a DAPB foi 75,9% para a farinha de *menhaden* (Brunson et al., 1997). Os coeficientes de digestibilidade aparente da energia da FPX variaram de 75,4% a 85,7%, o que foi um pouco abaixo do valor de 88,3% observado por Siccardi et al. (2006) para o mesmo tipo de ingrediente.

O concentrado protéico de soja de soja não apresentou diferenças estatísticas entre os DAMS nos três níveis de inclusão, porém foi verificada uma tendência de diminuição com a inclusão, ao contrário da farinha de peixe. A DAMS do concentrado protéico de soja nos dois níveis de inclusão mais altos foram inferiores aos coeficientes da farinha de peixe e o coeficiente obtido na inclusão de 30% foi igual a 64% e comparativamente foi inferior aos coeficientes resultantes de outros estudos com o *L. vannamei* que variaram de 84% (Akiyama et al., 1989), 85% (Cruz-Suárez et al., 2009) e 79% para o isolado protéico de soja (Siccardi et al., 2006). Em salmonídeos, os coeficientes de digestibilidade aparente da matéria seca em alguns ingredientes protéicos de origem vegetal em geral podem ser inferiores aos coeficientes da farinha de

peixe devido à presença de carboidratos indigeríveis, fibra e fitato que interfere na absorção dos minerais (Hardy, 2006).

O concentrado protéico de soja apresentou os maiores coeficientes DAPB e DAPV que variaram entre 82,9% e 89,5% (DAPB) e 92,4% a 100% (DAPV), valores abaixo do observado em outros estudos com o *L. vannamei* que obtiveram 96,4% (Akiyama et al., 1989) e 93,0% (Cruz-Suárez et al., 2009) para a DAPB. Estas diferenças podem ter sido influenciadas por diferenças no processamento dos ingredientes e das dietas e no método de coleta de fezes por sifonagem utilizado por estes autores que favorece a lixiviação das fezes. Os coeficientes de digestibilidade aparente da energia (DAE) do CPS neste trabalho variaram de 74,7% a 78,3% na maior inclusão, o que é inferior ao valor de 85,1% observado por Cruz-Suárez et al. (2009), possivelmente devido aos aspectos mencionados acima. Estes autores verificaram que o coeficiente de digestibilidade aparente do concentrado protéico de soja é superior ao coeficiente obtido para o farelo de soja, cujo teor de proteína bruta é menor, e inferior ao coeficiente de digestibilidade do isolado protéico de soja, cujo teor de proteína bruta é o mais elevado entre todos os ingredientes à base de soja avaliados. A mesma tendência foi observada por Siccardi et al. (2006) em um estudo onde foram avaliados o farelo de soja, o farelo de soja integral e o isolado protéico de soja onde os menores coeficientes de digestibilidade aparente foram observados no farelo de soja integral.

A farinha de vísceras de frango apresentou os menores coeficientes de DAMS (29 a 37% nas inclusões 30 e 10%, respectivamente) depois da farinha de carne e ossos e também em relação à literatura onde foram encontrados valores de 63,9% (Siccardi et al., 2006); 89,0% (Terrazas-Fierro et al., 2010) e para ingredientes de frango com qualidade superior à farinha de vísceras foram registrados coeficientes na faixa de 64,3 a 66,6% (Zhu et al., 2004), 90,4 (Cruz-Suárez et al., 2004) e 90,8% (Cruz-Suárez, 2007) em estudos utilizando a farinha de vísceras de grau alimentar para animais de estimação e 68,5% para a farinha de carne de frango (Yang et al., 2009). Cheng and Hardy (2002) em uma pesquisa sobre digestibilidade de ingredientes em dietas para trutas avaliaram farinha de vísceras de frango utilizadas na fabricação de rações para animais de estimação com três níveis de qualidade: *feed grade*, *prime* e refinada e verificaram que as digestibilidades da matéria-seca (70,9%; 71,5% e 74,5%, respectivamente) não apresentaram diferenças estatísticas significativas.

No teste de longa duração realizado neste estudo a média dos coeficientes de digestibilidade aparente para a farinha de vísceras de frango incluída a 30% na segunda rodada foi significativamente superior ($P = 0,011892$) à primeira e o valor obtido foi igual a 45%, o que muito embora ainda seja inferior aos coeficientes reportados em outros estudos com o *L. vannamei* se aproxima mais dos valores registrados em estudos com salmão onde no passado foram encontrados coeficientes iguais a 52% (Hertrampf e Piedad-Pascual, 2000). Nos Estados Unidos a digestibilidade dos subprodutos de origem animal tem aumentado ao longo dos últimos 20 anos com a melhoria do processo industrial (Meeker e Hamilton, 2006) enquanto no Brasil, a indústria de aproveitamento de subprodutos de origem animal é mais recente e, muito embora sejam empregadas tecnologias similares às de outros países para a industrialização dos subprodutos de origem animal, o produto pode sofrer com a falta de padronização, como mostrou um estudo que comparou a composição farinha de vísceras produzida no próprio frigorífico e aquela produzida em graxarias com matéria-prima de terceiros (Fernandes, 2011). Esta hipótese poderia ser validada com a existência de uma série histórica de parâmetros de qualidade, mas de qualquer forma, a falta de padronização na fabricação dos subprodutos de origem animal seria uma possível explicação para os coeficientes tão baixos verificados neste trabalho (Hardy, 2006, Tacon et al., 2009).

Outro aspecto que precisa ser considerado é a quantidade de cistina na farinha de vísceras de frango com baixa gordura ($5,5 \text{ g } 100\text{g}^{-1}$ de proteína) que foi superior à quantidade reportada em pesquisas realizadas no Brasil; onde foram reportados valores na faixa de 0,9 a 1,5 (Brumano et al., 2006, Caires, 2009) e em outros países onde foram reportados valores na faixa de 0,65 a 1,0 $\text{g } 100\text{g}^{-1}$ (Tacon et al., 2009). Este valor elevado de cistina pode ter causado um desbalanço do perfil de aminoácidos e consequentemente ter contribuído para a supressão do crescimento nos tratamentos com as dietas teste contendo farinha de vísceras de frango, como observado em aves (Eissler et al., 1996). Níveis elevados de enxofre provocados pela presença de aminoácidos sulfurados, como a cistina, em certos ingredientes como o glúten de milho podem ser tóxicos para aves (Rausch e Belyea, 2006), porém dados sobre a toxicidade do enxofre para organismos aquáticos não foram encontrados.

Em salmonídeos a digestibilidade da farinha de vísceras de frango é afetada pela queratina dos pés e das penas que incluídas em níveis elevados adulteram o ingrediente

e reduzem a sua digestibilidade ainda mais em função das pontes de dissulfeto associadas à cistina presente na queratina (Piedad-Pascual e Hertrampf, 2000).

Os coeficientes de digestibilidade aparente da proteína bruta da farinha de vísceras de frango variaram entre 27,7% e 45,9% nas inclusões de 30% e 20%, respectivamente e foram os mais baixos entre todos os ingredientes avaliados, diferente do comportamento observado em relação à digestibilidade aparente da proteína verdadeira cujos coeficientes apesar de ainda baixo (22,5%) na maior inclusão foram iguais a 70,0% e 88,2% nas inclusões de 10% e 20%, respectivamente. O DAPB obtido na inclusão de 30% neste estudo é muito inferior aos coeficientes obtidos em outros estudos com o *L. vannamei* que registraram valores de 78,7% (Siccardi et al. 2006); 84 a 80% (Yu, 2006); 90,4% (Cruz-Suárez et al., 2007); 75% (Yang et al., 2009) e 88,3% (Terrazas-Fierro et al., 2010). O valor nutricional da farinha de vísceras, bem como outros subprodutos de origem animal, varia consideravelmente de acordo com a origem, a matéria-prima e o processamento empregado (Hardy, 2000), como demonstrado em um estudo com salmão onde os coeficientes de digestibilidade da proteína da farinha de vísceras variou de 64,4% a 77,7% (Dong et al., 1993). O DAE obtido neste estudo também foi comparativamente baixo e variou de 46,4 a 58,6% nas inclusões de 30% e 20%, respectivamente enquanto que em outros estudos foram registrados valores entre 76,0% e 84,0% (Siccardi et al., 2006; Yu, 2006).

Neste estudo, a digestibilidade aparente da matéria-seca, proteína e energia da farinha de vísceras de aves em diferentes níveis de inclusão apresenta comportamentos distintos quando analisados quanto à digestibilidade da dieta teste e quanto à digestibilidade do ingrediente, pois enquanto que no primeiro há uma diminuição gradativa da digestibilidade na maior inclusão, no segundo a digestibilidade do ingrediente aumenta na inclusão intermediária e cai em seguida na inclusão mais alta. Este comportamento sugere a existência de um antagonismo entre os aminoácidos, como a cistina, da farinha de vísceras de aves, ainda mais intenso na inclusão de 30%.

O fato da diferença entre a DAPB e a DAPV ter sido maior na farinha de vísceras pode ser devido a presença de nitrogênio não-protéico na amostra de fezes, que representou 47,8% da proteína bruta da amostra de fezes no tratamento com 20% de inclusão, o que pode ter contribuído para a baixa digestibilidade do ingrediente. O nitrogênio não-protéico parece ser oriundo da excreção endógena uma vez que a

diferença entre a proteína verdadeira e a proteína bruta do ingrediente é de apenas 2 pontos percentuais. Esta perda endógena pode estar associada ao nível elevado de cistina, acima da média reportada na literatura, para este ingrediente o que pode ter causado um desbalanceamento do perfil de aminoácidos em função da difícil digestão da cistina combinada á queratina. No teste de longa duração o DAPV e DAE da farinha de vísceras na inclusão de 30% aumentaram para 41,3 e 58,0%, respectivamente o que indica uma possível adaptação do sistema digestivo dos camarões ao ingrediente, mas sem aumentos expressivos na sua digestibilidade.

Os coeficientes de digestibilidade aparente da matéria-seca (DAMS) do glúten de milho aumentaram com a sua inclusão, muito embora não tenha havido diferenças significativas, e atingiram 46,4; 50,8 e 72,5% nas inclusões de 10, 20 e 30%, respectivamente, o que é superior ao coeficiente de 41,8% obtido por Siccardi et al. (2006) e inferior aos coeficientes de 77,1% e 82,8% reportados por Yang et al. (2009) e Terrazas-Fierro et al. (2010) em estudos com juvenis do *L. vannamei*, que por sua vez apresentaram resultados semelhantes ao 77,0% obtido em um estudo semelhante para o bacalhau por Tibbets et al. (2006). Segundo outros autores, a proteína do glúten de milho pode ser altamente digestível para peixes, no entanto a sua deficiência em lisina restringe a sua inclusão a níveis entre 10 e 15% (Gatlin et al., 2007), no entanto o glúten de milho faz parte dos ingredientes com baixo AA score para camarões segundo Tacon et al. (2009) e na truta arco-íris a sua inclusão foi associada à cor amarelada nos filés (Skonberg et al., 1998). Neste trabalho o glúten de milho apresentou o terceiro menor AA score e a sua digestibilidade aparente, de forma geral, foi baixa.

O glúten de milho apresentou os menores DAPB (46,4% a 59,9% nas inclusões de 10 e 30%, respectivamente) após a farinha de vísceras de frango e a farinha de carne e ossos e o menor DAPV (44,7% a 65,3% nas inclusões de 10% e 30%, respectivamente) após este último ingrediente, além da menor diferença entre a digestibilidade da proteína bruta e da proteína verdadeira entre os ingredientes avaliados. Os coeficientes de digestibilidade aparente deste ingrediente apresentaram um comportamento particular de incremento com o aumento do nível de inclusão, contrário ao que foi verificado nos demais ingredientes. Esta tendência do glúten de milho também foi observada em um estudo com bacalhau onde a digestibilidade da proteína bruta de dietas contendo níveis crescentes de glúten de milho foi avaliada, no

entanto os autores não determinaram os coeficientes de digestibilidade aparente do ingrediente (Albrektsen et al., 2006).

Outros estudos avaliaram a digestibilidade do glúten de milho para o camarão marinho *L. vannamei*, porém nenhum deles utilizou níveis crescentes de inclusão e os valores da DAPB aqui obtidos foram próximos ou inferiores aos coeficientes obtidos em outros estudos que variaram de 59,1% (Siccardi et al., 2006) a 81,2% (Terrazas-Fierro, 2010) e 87,9% (Yang et al., 2009). Estas diferenças podem estar associadas às diferenças entre a qualidade e o teor de proteína dos ingredientes empregados neste (660,0 g Kg⁻¹) e nos demais estudos onde foram utilizados ingredientes com teores de proteína iguais a 667,2 g Kg⁻¹ (Siccardi et al. 2006) 723,0 g Kg⁻¹ (Terrazas-Fierro et al., 2010) e 878,9 g Kg⁻¹ (Yang et al., 2009) e permitem uma comparação mais coerente dos coeficientes obtidos neste estudo com os coeficientes reportados por Siccardi et al. (2006) cujo ingrediente apresentou um valor de proteína bruta similar ao avaliado neste estudo. Um comportamento semelhante foi observado em relação à digestibilidade da energia bruta (62,0% a 70,0% nas inclusões de 10 a 30%, respectivamente) que além de crescente foi similar ao coeficiente de 65,4% obtido por Siccardi et al. (2006) e inferior ao coeficiente de 86,8% reportado por Yang et al. (2009). Ao contrário do que foi reportado para peixes (Gatlin et al., 2007) a proteína do glúten de milho possui uma baixa digestibilidade para camarões em relação aos demais ingredientes avaliados neste estudo, o que também foi observado por Siccardi et al. (2006).

A farinha de carne e ossos foi o ingrediente com o menor nível de proteína (42,6g100g⁻¹) e o maior nível de cinzas (41,7 g 100g⁻¹) entre os ingredientes avaliados nesta pesquisa, o que merece atenção especial uma vez que níveis elevados de cinzas e fibras foram associados negativamente com a digestibilidade da matéria-seca e da proteína em camarões marinhos (Akiyama, 1992; Brunson et al., 1997) além da poluição. O ingrediente avaliado neste estudo apresentou teores de cinzas 7% e 31% acima dos valores oriundos de compilações do Brasil (Rostagno et al., 2005) e de outros países (Tacon et al., 2010) além de deficiências em cistina e triptofano enquanto Tacon et al. (2010) aponta a metionina e a tirosina como os aminoácidos deficientes neste ingrediente e indica uma faixa de inclusão entre 2 e 10%.

A DAMS da farinha de carne e ossos foi a mais baixa entre todos os ingredientes e variou de -6,1 a 37% nas inclusões de 10% e 30%, respectivamente, e

21% na inclusão de 20%. Coeficientes de digestibilidade negativos podem denotar um antagonismo da farinha de carne e ossos incluída a 10% na digestibilidade da matéria-seca da dieta referência e se deve à maior probabilidade de interações entre os ingredientes teste e a dieta basal em baixos níveis de inclusão que precisa ser melhor avaliada em estudos futuros (Sugiura et al., 1998; Glencross et al., 2007).

Os dados sobre digestibilidade da farinha de carne e ossos para camarões marinhos são escassos e neste estudo o valor de DAMS para a farinha de carne e ossos na inclusão de 30% foi apenas 21% e, portanto menor do que a DAMS de 46,4% registrado por Brunson et al. (1997) para o *L. setiferus*, a DAMS de 60% para o *P. monodom* (Smith et al., 2000) e a DAMS de 56,3% para o *L. vannamei* (Yang et al., 2009). Apesar da digestibilidade da FCO neste estudo ser inferior aos valores reportados por outros autores, a digestibilidade da dieta teste contendo farinha de carne e ossos a 10%, que foi 63,0%, é comparável à digestibilidade de 68,1% para a dieta teste contendo 10% de farinha de carne e ossos (sendo 90% farinha de bovinos) avaliada por Forster et al. (2003) a despeito da diferença do teor de material mineral nas dietas que foram 13,4% e 7,9% no trabalho atual e no estudo realizado por Forster et al. (2003), respectivamente. Um estudo semelhante obteve DAMS para as dietas contendo farinha de carne e ossos incluída a 13,2% e 17,6% iguais a 61,4 e 54,5% (Zhu et al., 2004), respectivamente, o que são semelhantes aos resultados deste estudo para as dietas com FCO incluída a 20% e 30% que foram 64,1% e 55,2% e que apesar dos diferentes níveis de inclusão parecem estar associados à semelhança nos teores de cinzas (cerca de 13%) das dietas destes dois estudos que foram cerca de 13%.

O DAPB da farinha de carne e ossos variou de 57,0% a 74,7% nas inclusões de 30% e 20%, respectivamente, com um valor intermediário (65,7%) na menor inclusão, assim como na farinha de vísceras de frango. O DAPV variou de 67,6% a 81,8% nas inclusões de 30% e 20%, respectivamente, o que resultou na maior diferença entre a digestibilidade da proteína bruta e da proteína verdadeira depois da farinha de vísceras de frango. A quantidade de proteína verdadeira do ingrediente foi 15% menor do que a quantidade de proteína bruta determinada a partir do nitrogênio, mas este fato parece não ter influenciado os resultados. Os coeficientes DAPB obtidos neste estudo foram inferiores aos reportados em outros estudos cujos valores foram: 77% (Smith et al., 2000), 82 a 85% (Yu, 2006) e 73,9% (Yang et al., 2009). No caso destes últimos autores utilizaram ingredientes com maior teor de proteína bruta (51,5 g 100g⁻¹ contra 41,7 g

100g⁻¹) e menor nível de cinzas na dieta, já que o teor de cinzas no ingrediente não foi informado (16,4 g 100g⁻¹ contra 19,9 g 100g⁻¹), o que supostamente pode estar ligado à qualidade do ingrediente avaliado neste estudo e ter influenciado na sua digestibilidade. Também foi reportado um valor de 58,6% para o *L. setiferus* (Brunson et al., 1997). Os coeficientes de digestibilidade aparente da energia (DAE) acompanharam quantitativamente o DAPV, com exceção da menor inclusão que registrou um valor muito inferior (38,8%) assim como em relação à DAMS nesta inclusão que foi negativo e pode ter sido causado por interações entre os nutrientes do ingrediente e os da dieta referência, como discutido anteriormente. O coeficiente de digestibilidade aparente da energia da FCO na inclusão de 30% e igual a 66,7% foi próximo ao reportado para o *L. setiferus*, 62,3% (Brunson et al., 1997), para o *P. monodon* 61% (Smith et al., 2000) e para o *L. vannamei*, 69% (Yu, 2006), no entanto foi inferior aos coeficientes de 84,8% reportado em um estudo mais recente (Yang et al., 2009).

O baixo nível de proteína e o teor de cinzas superior ao observado na literatura podem, ter sido os principais responsáveis pelo baixo desempenho deste ingrediente em relação aos demais avaliados neste estudo, mas de certo modo, os coeficientes encontrados estão próximos aos obtidos em pesquisas similares. Forster et al. (2003) observaram que a farinha de carne e ossos com 90% de origem bovina apresentou o melhor perfil nutricional para o *L. vannamei* e resultou no melhor crescimento em comparação a outros ingredientes contendo misturas de farinha de aves e suínos em diferentes proporções. Contudo o coeficiente de digestibilidade da dieta contendo este ingrediente foi ligeiramente inferior ao coeficiente de digestibilidade da dieta contendo um ingrediente composto de uma mistura proporcional de subprodutos de origem bovina, suína e de frango. Estes autores incluíram a farinha de carne e ossos em um nível de 10% na dieta teste e obtiveram um coeficiente de digestibilidade aparente da dieta de 85,1% com um ingrediente contendo 55,6 g 100g⁻¹ de proteína bruta e 24,1 g 100g⁻¹ de cinzas, contra o coeficiente de 73,5% obtido para a proteína bruta da dieta teste FCO10 neste estudo que, no entanto possui um menor nível de proteína bruta e um maior nível de cinzas do que o ingrediente avaliado por aqueles autores, o que sugere que o resultado obtido neste estudo está coerente.

Os coeficientes de digestibilidade aparente da matéria-seca (DAMS) da farinha de penas hidrolisadas (27,3%, 42,2% e 47,3% nas inclusões de 10, 20 e 30%, respectivamente) foram superiores apenas às DAMS da farinha de carne e ossos e

farinha de vísceras de frango. O coeficiente reportado em outro estudo de digestibilidade da farinha de penas hidrolisadas para o *L. vannamei* foi 61,3% (Siccardi et al., 2006) enquanto que para outras espécies os valores foram: 79 a 84% para a truta arco-íris (Bureau et al., 1999) e 68,4% para o bacalhau (Tibbets et al., 2006).

Assim como na farinha de vísceras de frango, a digestibilidade da farinha de penas pode ter sido afetada pelo alto nível de inclusão. De acordo com Tacon et al. (2009), a inclusão média para a farinha de penas está entre 2 a 3% (faixa de 1 a 5%) enquanto que neste trabalho a inclusão variou entre 10 e 30%. A comparação com outros trabalhos com camarões que reportaram coeficientes de digestibilidade superiores aos obtidos nesta pesquisa deve ser realizada com cautela uma vez que as condições experimentais foram distintas principalmente no que diz respeito, principalmente, às diferenças de qualidade dos ingredientes e às perdas de nutrientes por lixiviação das fezes e das rações durante os testes, entre outros fatores que podem alterar os coeficientes de digestibilidade (Tacon, 1996).

A DAPB da farinha de penas hidrolisadas entre 34,4% e 43,8% foi superior apenas à DAPB da farinha de vísceras de frango enquanto que em termos de DAPV, entre 37,2% e 49,4%, este ingrediente foi inferior a todos os demais ingredientes em função do aumento da DAPV em relação à DAPB da farinha de vísceras de frango, provavelmente devido a teores elevados de nitrogênio não-protéico do ingrediente. A quantidade de proteína verdadeira nas amostras de fezes dos camarões dos tratamentos contendo a farinha de penas hidrolisadas nos três níveis de inclusão foi em média 21% inferior ao teor de proteína bruta ($N \times 6,25$) nas mesmas amostras o que pode indicar a presença de nitrogênio não-protéico endógeno em quantidades expressivas na amostra. Além disso, assim como na farinha de vísceras, a quantidade de cistina acima da média pode ter provocado o desbalanceamento do perfil de aminoácidos e a redução da digestibilidade deste ingrediente.

O DAE da farinha de penas hidrolisadas de 44,2% a 48,9%, apresentou o menor nível entre os ingredientes avaliados o que indica que a proteína e a gordura deste ingrediente que apresentou a menor quantidade depois do concentrado protéico de soja, não foram utilizadas como fonte de energia de forma eficaz apesar de o ingrediente ter apresentado a maior quantidade de energia bruta após o glúten de milho. Outros estudos com o *L. vannamei* obtiveram coeficientes superiores aos obtidos neste estudo tais

como: DAPBs iguais a 63,9 e 81,0% (Siccardi et al., 2006 e Yu, 2006, respectivamente) e DAEs iguais a 72,7% e 85,0% (Siccardi et al., 2006; Yu, 2006). A farinha de penas processada em baixa temperatura (LT Feather meal), assim como a farinha de peixes processada em baixa temperatura (LT Fishmeal) apresentou digestibilidades *in vitro* e *in vivo* através de ensaios com o mink (*Mustela vison*) superiores aos obtidos com a farinha de penas hidrolizadas através do processo convencional e possui um grande potencial de aplicação em dietas de peixes e camarões (Rebafka, 2011).

Assim como foi verificado para os animais terrestres (Meeker e Hamilton, 2006) a digestibilidade dos subprodutos de origem animal para a truta arco-íris tem melhorado com o tempo, como no caso da farinha de penas cuja otimização da padronização das condições de processo de hidrólise destes subprodutos favoreceu o aumento da digestibilidade da proteína da farinha de penas de 58% a 62% em 1979 para 77 a 86% em 1999 (Bureau et al., 1999), o mesmo não pode ser afirmado em relação aos ingredientes disponíveis no Brasil devido à escassez de registros, especialmente para organismos aquáticos.

Os maiores níveis de proteína bruta da farinha de penas hidrolizadas e do glúten de milho não se repetiram em seus níveis de proteína digestível em função da baixa digestibilidade da proteína destes ingredientes em comparação à farinha de peixe e ao concentrado protéico de soja, o que torna a proteína digestível um parâmetro fundamental para a seleção de ingredientes para dietas de camarões marinhos. Esta informação combinada ao custo do ingrediente permite ao formulador selecionar os melhores ingredientes em termos nutricionais e econômicos, porém outros aspectos como o nível de inclusão devem ser considerados. Analisando apenas o custo do ingrediente em US\$ Kg PB⁻¹ alguém poderia fazer opção pela farinha de penas em detrimento do concentrado protéico de soja que custa 78% a mais enquanto que em termos de proteína digestível (US\$ Kg PD⁻¹) o concentrado protéico de soja pode apresentar um custo 20% inferior, graças à sua boa digestibilidade. O mesmo se aplicaria à energia digestível e, entre os ingredientes aqui testados, o concentrado protéico de soja mostrou ser o ingrediente cujo aporte de energia pode apresentar o menor custo. Quando a proteína verdadeira foi considerada o custo por quilograma de proteína digestível se torna mais preciso e no caso da farinha de vísceras o custo foi cerca de 95% menor nas inclusões de 10% e 20% em relação à proteína (Tabela 5.15).

Disponibilidade aparente dos aminoácidos

Os coeficientes de disponibilidade aparente dos aminoácidos observados neste estudo foram menores nos ingredientes que apresentaram os menores coeficientes de digestibilidade aparente da proteína bruta. A composição de aminoácidos das dietas teste atendeu em níveis acima de 100% as necessidades da maioria dos aminoácidos essenciais e semi-essenciais para os camarões como pode ser observado nos escore de AA. Os escore de AA mais baixos foram verificados para a tirosina, arginina, fenilalanina e isoleucina, cujos valores médio foram respectivamente 70,8%, 80,0%, 80,7% e 77,8%.

A disponibilidade dos AAs sulfurados em termos de metionina foi maior na farinha de peixe e no concentrado protéico de soja e em termos de cistina foi maior no concentrado protéico de soja, exceto na inclusão de 10%, e para a farinha de penas hidrolisadas e farinha de vísceras, exceto na inclusão de 30%. Ocorreram coeficientes fora do padrão para a cistina nas menores inclusões da farinha de peixe e do concentrado protéico de soja, possivelmente devido à algum desbalanço no perfil de aminoácidos, assim como na maior inclusão da farinha de vísceras de frango. Os DAAas da cistina do glúten de milho e da farinha de carne e ossos também apresentaram valores discrepantes, negativos e muito acima de 100%, respectivamente.

A metionina atende as exigências tanto para a metionina como para a cistina enquanto que a cistina supre apenas a necessidade de cistina e, portanto, apenas uma fração da exigência de aminoácidos sulfurados (metionina + cistina) (Wilson, 2003). Com exceção dos ingredientes de origem marinha, a maioria dos ingredientes utilizados em dietas para camarões marinhos possui mais cistina do que metionina e como consequência a dieta pode ter um nível de AA sulfurados elevados, mas baixa metionina. Além disso, foi sugerido que um nível de cistina elevado pode aumentar a exigência por metionina. Na alimentação de animais terrestres a proporção metionina: cistina foi discutida por diversos autores e o ideal parece ser em torno de 50% dos aminoácidos sulfurados (MET + CIS) supridos pela cistina (Lewis, 2003). Um estudo sobre a exigência de metionina para o *Penaeus monodon* realizado por Millamena et al (1996) encontrou uma exigência de aminoácidos sulfurados de 1,3% em uma dieta contendo 0,41% de cistina, o que resulta em uma proporção de 31,5% dos aminoácidos

sulfurados supridos pela cistina. Este valor está na faixa compreendida entre 26% a 35% observada nas dietas teste contendo farinha de peixe e concentrado protéico de soja, muito acima da faixa de 15% a 19% observada para as dietas teste com glúten de milho, abaixo da faixa compreendida entre 36% e 52% observada para as dietas teste contendo a farinha de vísceras de frango e farinha de carne e ossos. Representa também cerca de metade da proporção de cistina no total de aminoácidos sulfurados nas dietas teste contendo farinha de penas hidrolisadas que ficou na faixa de 57% a 70%, o que pode ter elevado a exigência por metionina para os camarões neste estudo.

Nos ingredientes avaliados neste trabalho, a proporção de cistina no fornecimento de aminoácidos sulfurados, em % do ingrediente, foi menor na farinha de carne e ossos e farinha de peixe (4,9% e 6,9, respectivamente) e maior na farinha de penas hidrolisadas e farinha de vísceras de frango (91,1% e 76,0%, respectivamente) enquanto que o concentrado protéico de soja e o glúten de milho forneceram valores intermediários (39,2% e 42,7%, respectivamente). Em relação ao concentrado protéico de soja o glúten de milho apresentou uma proporção ligeiramente maior de cistina nos AAs sulfurados do ingrediente, porém nas dietas teste esta proporção foi bastante inferior em relação ao concentrado protéico de soja. Possíveis causas seriam o efeito do calor no processamento das dietas na estabilidade da cistina do glúten de milho, interações com outros nutrientes das dietas reduzindo o teor de cistina, amostragem ou erro analítico. Níveis elevados de cistina trazem efeitos negativos ao desempenho dos animais e em ratos, o excesso de cistina pode causar alterações no metabolismo de lipídeos e reduções na ingestão de alimento e no ganho de peso (Lewis, 2003).

A disponibilidade dos aminoácidos ramificados em termos de isoleucina foi maior no concentrado protéico de soja, farinha de peixe, farinha de vísceras de frango nas inclusões de 10 e 20%, na inclusão de 20% da farinha de carne e ossos e nas inclusões de 20 e 30% do glúten de milho. Um comportamento semelhante foi observado em relação à leucina e valina.

O antagonismo envolvendo os aminoácidos ramificados leucina-isoleucina nos ingredientes derivados de milho, sorgo e farinha de sangue tem despertado o interesse de pesquisadores em função dos seus efeitos nas exigências nutricionais dos animais entre eles a depressão do crescimento em ratos e em aves devido ao excesso de leucina em relação à isoleucina e à valina (D'Mello, 2003). A dieta teste contendo o glúten de

milho apresentou quantidades de leucina 2,7 a 3,5 vezes superiores às de isoleucina e 2,4 a 3,1 vezes a quantidade de valina enquanto que na farinha de peixe a relação é LEU:ISO é no máximo 2,6 e LEU:VAL é 2,1, o que vai contra o efeito crescente das maiores inclusões do glúten de milho na sua disponibilidade.

Não foi verificada nenhuma evidência de antagonismo ARG:LIS como reportada por D'Mello (2003) e a relação ARG:LIS se manteve próximo a 1,06, as menores proporções ligeiramente abaixo da média foram observados na farinha de peixe e no concentrado protéico de soja e variaram entre 0,89 e 0,99.

As disponibilidades de arginina foram maiores no concentrado protéico de soja e na farinha de peixe em todos os níveis de inclusão e intermediárias na farinha de carne e ossos e nas duas menores inclusões da farinha de vísceras de frango e nas duas maiores inclusões do glúten de milho. A histidina e a lisina de forma geral apresentaram um comportamento semelhante exceto na histidina pela disponibilidade intermediária deste aminoácido na farinha de penas hidrolisadas e na maior e menor inclusão da farinha de carne e ossos e na lisina em função de um aproveitamento aparentemente melhor da farinha de carne e ossos nas três inclusões.

Em estudos com o *P. monodon*, Millamena et al. (1996) observaram um declínio no crescimento nos níveis de lisina e arginina acima do ideal para suprir as exigências nutricionais e o mesmo comportamento foi observado em relação à valina, metionina e histidina, sendo que esta última causou necrose no hepatopâncreas dos camarões, o que levou os autores a associarem a depressão no crescimento à toxicidade causada por aminoácidos em concentrações acima do encontrado nos tecidos dos camarões. Lisina e arginina são encontrados em grandes quantidades na proteína muscular dos peneídeos e são considerados limitantes para o *P. monodon* (Millamena et al., 1996).

Os aminoácidos aromáticos em termos de fenilalanina apresentaram DAAs elevadas na farinha de peixe, concentrado protéico de soja e farinha de carne e ossos nas inclusões mais baixas enquanto que as duas menores inclusões da farinha de vísceras e a maior inclusão da farinha de carne apresentaram coeficientes intermediários. Um comportamento semelhante foi verificado em relação à tirosina que é considerada dispensável porque pode ser sintetizada nos peixes a partir do aminoácido indispensável fenilalanina (Wilson, 2003). Uma relação similar à existente para a metionina e cistina ocorre em relação à fenilalanina e a tirosina e se esta é incluída na dieta a quantidade de

fenilalanina necessária diminui, sendo verificado que espécies de peixes possuem uma exigência para aminoácidos aromáticos onde a tirosina pode suprir entre 46 e 60% da fenilalanina na dieta (Wilson, 2003). Nas dietas experimentais do presente estudo a tirosina supriu entre 40,9% e 43,8% dos AAs aromáticos e não houveram indícios de um desbalanço na relação FEN:TIR nas dietas teste.

Como os aminoácidos são extensivamente metabolizados se assume que qualquer excesso será disposto sem efeitos adversos, contudo existem evidências inequívocas de que os aminoácidos podem provocar efeitos deletérios profundos em diversas classes de animais. Estes efeitos se manifestam conforme três categorias: desbalanço, antagonismo e toxidez (D'Mello, 2003). Neste estudo podem ter ocorrido desbalanço na relação cistina: AAs sulfurados nas dietas teste contendo farinha de penas hidrolisadas, farinha de vísceras de frango e farinha de carne e ossos e glúten de milho, especialmente em relação ao primeiro ingrediente, e contribuindo para a menor disponibilidade.

Houve, ainda, evidências sutis de antagonismo no glúten de milho em função da relação leucina:isoleucina em comparação aos demais ingredientes, que pode não ser expressivo uma vez que o concentrado protéico de soja no maior nível de inclusão apresentou uma relação próxima à do glúten de milho na menor inclusão e os coeficientes de disponibilidade aparente de ambos tratamentos são bem distintos, sendo os coeficientes do concentrado protéico de soja superior. O nível elevado de cistina oriundo da farinha de penas hidrolisadas, em primeiro lugar, e da farinha de vísceras de frango, em menor proporção, causou um aumento deste aminoácido nas dietas experimentais o que pode ter causado efeitos deletérios para os animais, seja por toxicidade branda, seja por causar um aumento na exigência por metionina, assim como ocorre em animais terrestres (D'Mello, 2003).

A disponibilidade aparente média dos aminoácidos (DAaa) essenciais para a farinha de peixe foi a segunda maior entre todos os ingredientes, depois do concentrado protéico de soja, e variou de 86,8 a 92,3% ou acima das amplitudes de 79,0 a 83,1% reportada por Akiyama et al. (1989) para uma farinha peixe não-especificada e próximo aos intervalos de 76,0 a 94,7% para farinha de peixe não-especificada (Yang et al., 2009) e 79,4 a 98,8% para a farinha de sardinha (Terrazas-Fierro et al., 2010). Os aminoácidos básicos arginina, histidina e lisina e o sulfurado metionina foram os que

tiveram os maiores DAaa, acima de 88,5%, na farinha de peixe avaliada neste trabalho e no estudo realizado por Yang et al. (2009) enquanto que outros autores registraram a arginina, leucina e isoleucina em comum e combinados com a metionina ou a lisina e a treonina ou valina (Akyiama et al., 1989; Terrazas-Fierro et al., 2010). Os coeficientes de DAaa observados para a cistina na farinha de peixe estão fora do padrão apresentado pelos demais aminoácidos, o que pode ser resultado de desbalanço, antagonismo ou intoxicação associada à ingestão de aminoácidos em excesso (D'Mello, 2003).

O concentrado protéico de soja apresentou coeficientes de DAaa médio acima de 90% para todos os aminoácidos, com exceção da cistina. Os valores mais altos foram observados na arginina e metionina, isoleucina, enquanto que Cruz-Suárez et al. (2009) reportaram valores mais altos para a arginina, lisina e metionina, entre 92,4% e 95,3%.

Os coeficientes de DAaa da farinha de vísceras de frango na inclusão de 30% não são comparáveis aos dados obtidos por outros autores uma vez que apresentaram valores muito abaixo da média, ao contrário dos resultados obtidos nas inclusões de 10% e 20%. Na inclusão de 20%, entre os coeficientes dos AAes, mais cistina e tirosina, os maiores valores foram observados na metionina, arginina e isoleucina (intervalo: 88,9 a 93,4%) em comparação aos maiores valores reportados por Terrazas-Fierro et al. (2010) que foram: arginina, metionina e lisina (93,5 a 94,0%) e Yang et al. (2009) para a farinha de carne de frangos que foram verificados na arginina, histidina e lisina (76,1% a 76,5%).

Todos os aminoácidos do glúten de milho apresentaram maiores disponibilidades com o aumento do nível de inclusão do ingrediente com destaque para a arginina e a lisina, cujos AA score diminuíram com o aumento da inclusão. O glúten de milho apresentou coeficientes intermediários em relação aos demais ingredientes e os maiores valores na inclusão de 30% foram observados na lisina, arginina e histidina (75,2 a 92,5%) em comparação aos maiores coeficientes apresentados nos estudos de Terrazas-Fierro et al. (2010) que foram iguais ao deste trabalho exceto pela metionina no lugar da lisina e coeficientes mais altos (88,3 a 96,7%) e Yang et al. (2009) que apresentou os mesmos aminoácidos deste trabalho no entanto com coeficientes menores (81,5 a 88,5%).

A deficiência em lisina é um dos limitantes para a utilização do glúten de milho nas dietas para aquicultura (Gatlin et al., 2007) e o ingrediente avaliado neste estudo

apresentou deficiência em lisina e também em arginina, o que está de acordo com a informação de Tacon et al. (2009), e desbalanço entre as quantidades de isoleucina e leucina, o que pode prejudicar o balanço dos aminoácidos da dieta (Allan et al., 2000) e consequentemente o desempenho dos camarões.

O perfil de aminoácidos da farinha de carne e ossos avaliada neste trabalho está dentro da faixa reportada para os aminoácidos essenciais, com exceção da valina, em um estudo que analisou seis farinhas de carne e ossos de diferentes indústrias nacionais (Vieites et al., 2000). Este ingrediente apresentou coeficientes de DAaa intermediários nas menores inclusões e inferiores na maior inclusão em comparação aos demais ingredientes e para os AAes os maiores valores de DAaa observados na inclusão de 30% estão associados à valina, histidina e isoleucina (69,7 a 72,1%) e de forma geral os coeficientes são inferiores aos apresentados por Yang et al. (2009) para a farinha de carne com 51% de proteína bruta cujas maiores DAaas foram observados para a metionina, isoleucina e histidina (71,6 a 81,5%). Os valores referentes à cistina na farinha de carne e ossos avaliada neste trabalho foram superiores a 100% enquanto que Yang et al. (2009) encontrou um valor de 64,4%. Na dieta teste a cistina foi absorvida satisfatoriamente e o valor obtido na inclusão de 20% (86,9%) foi superior ao valor de 78,1% reportado por Forster et al. (2003) para a dieta contendo farinha de carne e ossos com 90% de carne bovina cujos teores de proteína e cinzas foram maiores e menores, respectivamente, do que aqueles do ingrediente avaliado neste estudo.

A farinha de penas hidrolisadas apresentou as menores DAaas entre todos os ingredientes avaliados neste estudo o que foi coerente com os baixos valores de DAPB e DAPV encontrados para este ingrediente. As maiores DAaas em relação aos AAes foram observados na lisina, histidina e arginina (48,8 a 63,4%). Outros estudos que avaliaram este ingrediente em dietas para camarões marinhos não determinaram as DAaas e na ausência de referências que avaliaram este ingrediente em condições compatíveis com as encontradas neste estudo o que foi realizado por Davies et al. (2009) foi utilizado para fins de comparação. Estes autores avaliaram a DAaa da farinha de penas tratada enzimaticamente para o robalo (*Dicentrarchus labrax*) e o pargo (*Sparus aurata*) europeu e para o linguado (*turbot*, *Psetta maxima*) e assim como DAPB os coeficientes de DAaa foram baixos e o fato de este ingrediente ter sofrido tratamento enzimático e hidrólise parece não ter contribuído para aumentar a sua disponibilidade em comparação ao produto convencional. Entretanto, os autores observaram que ao

contrário do que foi verificado na cistina a DAaa da metionina melhorou e atingiu valores entre 75,9 e 78,4 nas três espécies em comparação ao valor de 44,8% observado neste estudo. Os outros aminoácidos com as maiores DAas obtidos por aqueles autores foram a lisina (59,4% a 72,1%), a isoleucina (43,2% a 63,8%) e arginina (41,3% a 61,3%) e a histidina apenas para o robalo europeu (98,9%). A cistina registrou valores até inferiores (13,7% a 27,8%) ao obtido neste estudo (56,6%), que foram próximos aos valores de 48,5% a 56,1% registrados para aves (Boushy e van der Poel, 1990).

As informações disponíveis sobre a digestibilidade de ingredientes para camarões marinhos são escassas e a falta de precisão das informações existentes torna limitada a utilização destes dados na comparação com os dados obtidos neste estudo. Um dos principais problemas observados é a falta da caracterização dos ingredientes utilizados. Os ingredientes avaliados nesta pesquisa apresentaram algumas diferenças em suas composições quando comparados aos valores encontrados na literatura, tanto em relação à composição centesimal dos ingredientes de origem animal, como também em relação aos níveis de aminoácidos, apesar de os perfis terem sido semelhantes, principalmente em relação à quantidade de cistina.

A correlação significativa ($P < 0,001$, $r^2 = 0,5048$) entre os coeficientes de digestibilidade aparente da proteína verdadeira obtidos neste estudo com o AA score dos ingredientes teste corrobora a hipótese da influência da composição dos ingredientes na digestibilidade dos nutrientes e da energia pelo camarão marinho, no entanto a correlação com o índice de AAs não foi significativa e é possível que este indicador induza ao erro em função do desbalanço dos aminoácidos de determinados ingredientes, como no caso da farinha de vísceras de frango e do glúten de milho avaliados neste estudo.

Neste estudo os crescimentos dos camarões nos diferentes tratamentos apresentaram correlações significativas e positivas com os coeficientes de digestibilidade da matéria-seca ($P = 0,0044$, $r^2 = 0,1166$), proteína verdadeira ($P = 0,0013$, $r^2 = 0,1453$) e energia bruta ($P = 0,0028$, $r^2 = 0,1277$) das dietas teste e dos ingredientes apenas para a matéria-seca ($P = 0,0259$, $r^2 = 0,0730$) e energia bruta ($P = 0,0329$, $r^2 = 0,0671$) o que reforça o papel do valor nutricional dos alimentos no atendimento às necessidades nutricionais do camarão marinho *L. vannamei*.

Além dos efeitos da composição dos ingredientes nos coeficientes de digestibilidade aparente, o nível de inclusão mostrou ser um aspecto chave em estudos sobre disponibilidade de nutrientes já que os comportamentos mostraram distinção como no caso do concentrado protéico de soja que apresentava uma tendência de diminuição das DAAs com o aumento do seu nível de inclusão ao passo que o glúten de milho apresentou um aumento das DAAs na mesma condição. Uma atenção especial deve ser dada aos resultados dos tratamentos nos menores níveis de inclusão, uma vez que parecem estar mais sujeitos aos efeitos das interações entre os nutrientes (Divakaran et al., 2000; Sugiura, 2000; Glencross, 2007).

Poucos trabalhos avaliaram a digestibilidade aparente de ingredientes para peixes e camarões marinhos em diferentes níveis de inclusão. Em peixes, um estudo verificou que a digestibilidade do amido aumentou com o seu nível de inclusão (Appleford e Anderson, 1997). Um outro estudo com o pargo europeu não verificou diferenças na digestibilidade aparente da proteína do farelo de soja em níveis de 0% a 40%. Para o *L. vannamei*, a digestibilidade aparente do farelo de soja foi avaliada em dois níveis de inclusão do ingrediente, 15 e 30%, e do marcador óxido crômico, 0,5% e 1,0%. Os autores verificaram que os coeficientes de digestibilidade aparente da matéria-seca, proteína e energia do ingrediente foram mais altos no maior nível de inclusão. No entanto o nível de inclusão do óxido crômico interagiu com o ingrediente e provocou um resultado inverso quando foi incluído no nível de 1% (Divakaran et al., 2000).

Estas interações prejudicam a determinação da digestibilidade dos ingredientes em níveis distintos e próximos a aqueles empregados pela indústria na formulação das dietas, conforme recomendam diferentes autores (Tacon, 1996; D'Abramo e Castell, 1997; Divakaran et al., 2000; Fox, 2006; Glencross, 2007), uma vez que os ingredientes são incluídos nas formulações em diferentes níveis.

Por outro lado as interações observadas sejam negativas ou positivas e em baixas ou altas inclusões oferecem informações preciosas sobre o efeito de um determinado ingrediente nas dietas que pode ser deletério quando a sua inclusão resulta em um valor de digestibilidade negativo, como observado para a farinha de vísceras de frango neste estudo ou benéfico quando a sua inclusão melhora a digestibilidade da dieta, como verificado para a farinha de peixe. Portanto estes valores devem ser mantidos na sua forma original uma vez que podem indicar potenciais interações (Glencross, 2011).

Os efeitos dos nutrientes dos ingredientes na composição das dietas teste e consequentemente nos coeficientes de digestibilidade aparente também precisam ser avaliados e entre os nutrientes, a proteína tem sido aquele que recebeu mais atenção em estudos de digestibilidade, no entanto a grande maioria dos estudos se baseia na proteína bruta calculada a partir do valor de nitrogênio x 6,25 ao invés da utilização de coeficientes específicos para o tipo de alimento ou preferencialmente a proteína verdadeira (Tacon et al., 2009). Neste estudo a digestibilidade aparente da proteína verdadeira apresentou diferenças de até 98% em relação à digestibilidade aparente da proteína bruta, o que pode trazer mudanças expressivas na interpretação dos dados sobre a disponibilidade dos nutrientes em um determinado ingrediente, como foi observado em relação à digestibilidade aparente das proteínas bruta e proteína verdadeira ou a disponibilidade aparente dos aminoácidos, o que reforçam os argumentos a favor de métodos mais adequados para avaliar fontes de proteína do que a sua quantificação através do nitrogênio (Mariotti et al., 2008, Tacon et al., 2009).

Entre os ingredientes avaliados, a farinha de peixe e o concentrado protéico de soja foram aqueles que apresentaram os maiores coeficientes de digestibilidade aparente para os nutrientes e para a energia, assim como os maiores valores de proteína e energia digestíveis e aminoácidos disponíveis. Contudo outros ingredientes como a farinha de vísceras e a farinha de carne e ossos nos menores níveis de inclusão apresentaram coeficientes de digestibilidade e disponibilidade razoáveis o que permitiria sugerir a sua inclusão nas dietas como substituto de parte da farinha de peixe. O glúten de milho avaliado neste estudo apresentou coeficientes de digestibilidade aparente inferiores aos dos demais ingredientes com exceção da farinha de penas que demonstrou ser o ingrediente com a menor disponibilidade de nutrientes e energia entre todos os ingredientes avaliados e de acordo com as recomendações deve ser utilizado em baixas inclusões, ao redor de 2 a 3% ou em misturas que tirem proveito do seu perfil de aminoácidos com benefícios para as formulações de dietas para o camarão marinho *L. vannamei* (Tacon et al., 2009).

Os aminoácidos arginina, lisina e metionina são os mais limitantes em formulações de custo mínimo (Fox et al., 2006) e nos ingredientes avaliados neste estudo a FPX e o CPS foram os que apresentaram as maiores quantidades totais destes três AAs; 13,0g 100g⁻¹ e 11,5 g 100g⁻¹, respectivamente, enquanto que nos demais ingredientes a soma ARG+LIS+MET variou de 4,3 g 100g⁻¹ no GLM a 5,9 g 100g⁻¹ na

FVI. No ingrediente PEN a soma dos três aminoácidos na forma disponível totalizou 5,4 g 100g⁻¹ e foi inferior à FPX, CPS e FVI, mas na forma bruta foi igual a 11,1 g 100g⁻¹ de ARG+LIS+MET, abaixo apenas da FPX e CPS, que foram 14,2 e 11,7 g 100g⁻¹, respectivamente. Tal fato demonstra que além de diferir consideravelmente da forma bruta, o aminoácido disponível pode alterar a posição dos ingredientes em um ranking de disponibilidade e induzir o formulador a um erro no momento da escolha dos ingredientes. Índices como o índice de AAs também podem levar ao erro em casos como o observado no GLM que apresentou o maior índice de AAs entre os ingredientes analisados o que foi fortemente influenciado pelos níveis de leucina e metionina. No entanto o GLM apresentou DAAs baixas e maiores apenas do que as da PEN.

Uma análise dos custos por aminoácidos disponíveis mostrou que a FPX e o GLM apresentaram de forma geral os custos mais elevados enquanto que o CPS e a PEN tiveram os custos mais baixos. A arginina foi um dos AAs de maior custo em comparação à metionina, lisina, cistina, fenilalanina e tirosina e o ingrediente que forneceu a arginina ao custo mais baixo foi o CPS, assim como também em relação à lisina. Para a metionina, o menor custo foi encontrado no GLM e na FPX. Isto demonstra que além do papel nutricional a determinação do aminoácido disponível pode desempenhar um papel econômico importante na viabilidade do cultivo comercial de camarões marinhos.

Muito embora tenham sido significativas, as correlações entre os coeficientes de digestibilidade aparente e o teor de proteína e os indicadores de qualidade dos aminoácidos dos ingredientes apresentaram coeficientes de determinação baixos. Da mesma forma a taxa de crescimento apresentou uma correlação significativa com os coeficientes de digestibilidade das dietas, apesar de que os coeficientes de determinação foram baixos.

Estudos sobre digestibilidade de ingredientes em condições de crescimento na aquicultura são raros e parecem ser ainda mais escassos quando se trata de camarões marinhos. Segundo Lee e Lawrence (1997), três estudos envolvendo digestibilidade de dietas e crescimento foram realizados e apenas os estudos envolvendo camarões entre 4 e 9 gramas apresentaram alguma relação entre digestibilidade e crescimento. Em estudos mais recentes não foram observadas relações entre crescimento e digestibilidade da matéria-seca de dietas contendo níveis distintos de farinha de carne e ossos e farinha

de vísceras de frango (Zhu et al., 2004) e dietas contendo aminoácidos sintéticos (Huai et al., 2010). Outro estudo apresentou os maiores crescimentos e coeficientes de digestibilidade aparente mais elevados nas dietas com maior teor de proteína (Xia et al., 2010). Cruz-Suárez et al. (2007) avaliaram o crescimento e a digestibilidade de dietas contendo níveis crescentes de farinha de subprodutos de frango e de acordo com os dados o crescimento não apresentou relação com a digestibilidade, assim como observaram Forster et al. (2003) em um estudo sobre digestibilidade e substituição da farinha de peixe por farinhas de subprodutos de bovinos, suínos e frango.

A falta de correlação entre a digestibilidade entre ingredientes, atividade enzimática e crescimento na nutrição de camarões ainda é uma questão sem resposta (Lee e Lawrence, 1997). O mesmo é observado em relação aos animais ruminantes onde a correlação entre a digestibilidade de forragens e o desempenho dos animais é baixa ($r^2 = 0,41$), contudo a digestibilidade é um etapa importante para determinar o desempenho através da ingestão de energia digestível (Coleman e Moore, 2003).

Os resultados obtidos mostraram que a metodologia utilizada neste estudo pode ser aplicada nas pesquisas sobre digestibilidade de ingredientes para dietas do camarão marinho *Litopenaeus vannamei* de forma compatível com o desempenho esperado em condições práticas. Além disso, a metodologia utilizada permitiu separar os ingredientes diferentes de acordo com o nível da sua digestibilidade aparente de forma coerente com as informações obtidas em outros estudos e com a sua composição determinada, muito embora alguns valores tenham sido bem inferiores ao esperado considerando os resultados obtidos em outros estudos, como, por exemplo, em relação à farinha de vísceras de frango que neste estudo apresentou coeficientes de digestibilidade considerados baixos.

Contudo a realização do teste de longa duração com a farinha de vísceras de frango deu força a hipótese de que o valor nutricional deste ingrediente era inferior ao das farinhas de frango avaliadas em outros estudos, que em alguns casos foram caracterizadas como de grau de qualidade para animais domésticos (*grau pet*), que possui qualidade superior à farinha de vísceras para ração convencional. Os coeficientes de digestibilidade aparente para a farinha de vísceras de frango no teste longo foram muito baixos e mesmo com o aumento de 83% e 25% dos valores de DAPB e DAE após a segunda rodada em relação à primeira os valores ainda permaneceram abaixo do

esperado. É importante ressaltar que os tratamentos que receberam as dietas contendo os ingredientes farinha de vísceras de frango e o concentrado protéico de soja no nível de inclusão de 30% tinham seis repetições na rodada 1 e todas as repetições do tratamento vísceras de frango apresentaram baixos coeficientes de digestibilidade aparente da matéria-seca, proteína bruta, energia bruta e aminoácidos.

Uma das possíveis causas para os baixos coeficientes de digestibilidade aparente para a FVI é a produção de nitrogênio metabólico fecal, que pode ter inflado os valores de nitrogênio nas fezes diminuindo o valor da digestibilidade. A produção de nitrogênio metabólico fecal está associada à baixa ingestão de alimentos e à presença de fatores anti-nutricionais e um possível aumento na secreção de enzimas que irão produzir nitrogênio metabólico fecal (Bureau et al, 2002; Lemos et al., 2009). Neste sentido, o uso de níveis de inclusão elevados para certos ingredientes como, por exemplo, 30% para a farinha de sangue, pode afetar negativamente a palatabilidade da dieta e o seu consumo e consequentemente os coeficientes de digestibilidade aparente, o que reforça a importância de avaliar a digestibilidade dos ingredientes em diferentes níveis próximos aos níveis utilizados na prática (Tacon, 1996).

Uma importante questão a ser respondida é o quanto estas amostras são representativas para o mercado nacional, pois se não houve erros analíticos, e a princípio não existem evidências para isto, o valor nutricional destes ingredientes disponíveis no Brasil foi inferior ao valor nutricional dos ingredientes disponíveis nos países onde se realizou a maioria dos estudos e ao utilizar estes dados a indústria nacional provavelmente irá superestimar a disponibilidade destes ingredientes.

Por outro lado, os coeficientes de digestibilidade aparente da proteína verdadeira da farinha de vísceras de frango mostraram um comportamento inverso e os valores nas inclusões de 10% e 20% praticamente dobraram, o que lança dúvidas sobre a aplicabilidade da proteína bruta calculada a partir do nitrogênio na determinação do valor nutricional dos ingredientes. Porém, no nível de inclusão de 30% o coeficiente de digestibilidade aparente da proteína verdadeira também foi baixo, e 19% inferior ao coeficiente de digestibilidade aparente da proteína bruta, e sugere que está acima do que seria o nível ideal, neste caso a inclusão de 20% resultou nos maiores coeficientes de digestibilidade aparente da proteína bruta e da proteína verdadeira. Um comportamento semelhante foi observado na digestibilidade aparente da proteína bruta e da proteína

verdadeira da farinha de carne e ossos e na digestibilidade aparente da proteína bruta da farinha de penas hidrolisadas avaliadas neste estudo e reforçam a importância da determinação da digestibilidade dos ingredientes em diferentes níveis de inclusão e próximos aos níveis utilizados pela indústria (Tacon, 1996; Divakaran et al., 2000).

5.5. Referências

- AKIYAMA D.M., COELHO S.R., LAWRENCE A.L. e ROBISON E.H. Apparent digestibility of feedstuffs by the marine shrimp *Penaeus vannamei* Boone. Nippon Suisan Gakkaishi, v. 55, p. 91–98, 1989.
- ALLAN, G., PARKINSON, S., BOOTH, M., STONE, D.A.J., ROWLAND, S.J., FRANCES, J., WARNER-SMITH, R. Replacement of fish meal in diets for Australian silver perch, *Bidyanus bidyanus*: I. Digestibility of alternative ingredients. Aquaculture, v. 186, p. 293–310, 2000.
- ALBREKTSEN, S., MUNDHEIM, H., AKSNES, A. Growth, feed efficiency, digestibility and nutrient distribution in Atlantic cod (*Gadus morhua*) fed two different fish meal qualities at three dietary levels of vegetable protein sources. Aquaculture, v. 261, p. 626–640, 2006.
- AMAYA, E. K., DAVIS, A., ROUSE, D.B. Alternative diets for the Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*. Aquaculture, v. 262, p. 419-425, 2007.
- AMAYA, E. K., DAVIS, A., ROUSE, D.B. Replacement of fish meal in practical diets for the pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) reared under pond conditions. Aquaculture, v. 262, p. 393-401, 2007.
- AOAC. Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists, Inc., Arlington, Virginia, USA, 1995.
- APPLEFORD, P., ANDERSON, T.A. The effect of inclusion level and time on digestibility of starch for common carp (*Cyprinus carpio*, Ciprinidae). Asian Fisheries Science, v.9, p. 121-126, 1997.

- BORGES, D.A., BEZERRA, M. A., FURTADO-NETO, M.A.A. Avaliação do ponto de equilíbrio e lucratividade aplicados a sistemas de produção de camarão marinho no estado do Ceara, Brasil. Arquivos de Ciências do Mar , v. 40, p. 42- 46, 2007.
- BOUSHY, A.R.E., VAN DER POEL, A.F.B., WALRAVEN, O.E.D. Feather Meal A Biological Waste: Its Processing and Utilization as a Feedstuff for Poultry. Biological Wastes, v. 32, p. 39-74, 1990.
- BRUMANO, G., GOMES, P.C., ROSTAGNO, H.S., ALBINO, L.T., SCHMIDT, M., GENEROSO, R.A.R. Aminoácidos digestíveis verdadeiros de alimentos protéicos determinados em galos cecectomizados. R. Bras. Zootec., v. 35, p. 2290-2296, 2006.
- BRUNSON, J.F., ROMAIRE, R.P., REIGH, R.C. 1997. Apparent digestibility of selected ingredients in diets for white shrimp *Penaeus setiferus* L. Aquaculture Nutrition v. 3, p. 9–16, 1997.
- BUREAU, D.P., HARRIS, A.M., CHO, C.Y. Apparent digestibility of rendered animal protein ingredients for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Aquaculture, v.180, p. 345–358, 1999.
- BUREAU, D.P., KAUSHIK, S.J., CHO, C.Y., 2002. Bioenergetics, In: Halver, J.E., Hardy, R.W. (Eds.), Fish Nutrition, 3rd edition. Academic Press, pp. 1–59.
- BUREAU, D.P. Rendered products in fish aquaculture feeds. Essencial Redering. David L. Meeker (Ed.). National Renders Association, NRA, p. 179 – 194, 2006.
- CAIRES, C.M. Dietas de frango de corte com subprodutos de origem animal e suplementação de creatina. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Medicina Veterinária, Uberlândia, Minas Gerais. 48p, 2009.
- CHENG, Z.J., HARDY, R.W. Apparent Digestibility Coefficients of Nutrients and Nutritional Value of Poultry By-product Meals for Rainbow Trout *Oncorhynchus mykiss* Measured in vivo Using Settlement. J. World Aquac. Soc. v.33, n. 4, p.458-465, 2002.

- CHO, C.Y., SLINGER, S.J., BAYLEY, H.S., Bioenergetics of salmonid fishes: energy intake, expenditure and productivity. *Comp. Biochem. Physiol.* v. 73, p. 25–41, 1982.
- CLARK, D.J., LAWRENCE, A.L., SWAKON, D.H.D. Apparent chitin digestibility in shrimp. *Aquaculture*, v. 109, p. 51-57, 1993.
- COLEMAN, S.W., MOORE, J.E. Feed quality and animal performance. *Field Crops Research* v. 84, p. 17–29, 2003.
- CRUZ-SUÁREZ L.E., NIETO-LÓPEZ M., RICQUE-MARIE GUAJARDO-BARBOSA C., SCHOLZ U. Uso de harina de subproductos avícolas en alimentos para *L. vannamei*. In Cruz-Suarez, L.E., Ricque-Marie, D., Nieto-López, M. G., Villarreal D., Scholz, U., González, M. *Avances en Nutrición Acuícola VII. Memorias del Séptimo Simposium Internacional de Nutrición Acuícola*, Hermosillo Sonora. México, 2004.
- CRUZ-SUÁREZ, L.E., NIETO-LÓPEZ, M., GUAJARDO-BARBOSA, C., TAPIA-SALAZAR, M., SCHOLZ, U., RICQUE-MARIE, D. Replacement of fish meal with poultry by-product meal in practical diets for *Litopenaeus vannamei*, and digestibility of the tested ingredients and diets. *Aquaculture* v. 272, p. 466–476, 2007.
- CRUZ-SUÁREZ, L.E., TAPIA-SALAZAR, M., VILLARREAL-CAVAZOS, D., BELTRAN-ROCHA, J., NIETO-LÓPEZ, M.G., LEMME, A., RICQUE-MARIE, D. Apparent dry matter, energy, protein and amino acid digestibility of four soybean ingredients in white shrimp *Litopenaeus vannamei* juveniles. *Aquaculture*, v. 292, p. 87–94, 2009.
- D'ABRAMO, L.R., CASTELL, J.D. Research Methodology. In: *Crustacean Nutrition, Advances in World Aquaculture* (D'Abramo, L.R., Conklin, D.E. e Akiyama, D.M. eds), pp. 3–25. World Aquaculture Society, Baton Rouge, LA, v. 6, p. 3-25, 1997.
- D'MELLO , J.P.F. Adverse effects of Amino Acids. In: *Amino Acids in Animal Nutrition* (D'Mello, J. P. Felix, ed).. Cambridge, MA, USA: CABI Publishing, pp.125-129, 2003.
- DAVIS, A.D., ARNOLD, C.R Evaluation of five carbohydrate sources for *Penaeus vannamei*. *Aquaculture*, v. 114, p. 285-292, 1993.

- DAVIS, A.D., ARNOLD, C.R. Effects of two extrusion processing conditions on the digestibility of four cereal grains for *Penaeus vannamei*. *Aquaculture*, v. 133, p. 287-294, 1995.
- DAVIS, D.A., ARNOLD, C.R., MCCALLUM, I. Nutritional value of feed peas (*Pisum sativum*) in practical diet formulations for *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture Nutrition*, v.8, p.87-94, 2002.
- DAVIES, S.J. GOUVEIA, A., LAPORTE, J., WOODGATE, S.L., NATES, S. Nutrient digestibility profile of premium (category III grade) animal protein by-products for temperate marine fish species (European sea bass, gilthead sea bream and turbot). *Aquaculture Research*. v. 40, p. 1759 – 1769, 2009.
- DAYAL, J.S., ALI, S.A., AMBASANKAR, K., SINGH, P. Effect of dietary protein level on its *in vitro* and *in vivo* digestibility in the tiger shrimp *Penaeus monodon* (Crustacea: Penaeidae). *Indian Journal of Marine Sciences*, v.32, p.151-155, 2003.
- DIAS, R., CARVALHO, R., LEMOS, D., TACON, A.G.J. Tailoring feed to farm conditions: water temperature, salinity, exposure time affect feed stability. *Global Aquaculture Advocate*, v. 12, p.50-52, 2009.
- DIVAKARAN, S., VELASCO, M., BEYER, E., FORSTER, I., TACON, A. Soybean meal apparent digestibility for *Litopenaeus vannamei*, including a critique of methodology. In: Cruz -Suárez, L.E., Ricque-Marie, D., Tapia-Salazar, M., Olvera-Novoa, M.A. y Civera- Cerecedo, R., (Eds.) *Avances en Nutrición Acuicola V. Memorias del V Simposium Internacional de Nutrición Acuicola*. Mérida, Yucatán, México, 2000.
- DONG, F.M., HARDY, R.W., HAARD, N.F., BARROWS, F.T.B., RASCO, B.A., FAIRGRIEVE, W.T., FORSTER, I.P. Chemical composition and protein digestibility of poultry by-product meals for salmonid diets. *Aquaculture*, v. 116, p. 149-158, 1993.
- EISSLER, C., FIRMAN, J.D. Effects of feather meal on the performance of turkeys. *J. Applied Poultry Res.* v. 5, p. 246-253, 1996.
- FERNANDES, V.A.G. Perfil nutricional e qualitativo da farinha de vísceras de aves com foco em sua utilização como ingrediente protéico em rações para organismos

- aquáticos. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Aquicultura, do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Santa Catarina, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Aquicultura. Florianópolis, SC. 64p. 2011.
- FORSTER, I.P., DOMINY, W., OBALDO, L. TACON, A.G.J. Rendered meat and bone meals as ingredients of diets for shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931). *Aquaculture*, v. 219, p. 655-670, 2003.
- FOUNTOULAKI, ALEXIS, M.N., NENGAS, J., VENOU, B. Effect of diet composition on nutrient digestibility and digestive enzyme levels of gilthead sea bream (*Sparus aurata* L.). *Aquaculture Research*, v.36, p.1243-1251, 2005.
- FOX, J.M., DAVIS, D.A., WILSON, M., LAWRENCE, A.L. Current Status of Amino Acid Requirement Research with Marine Penaeid Shrimp. En: L. Elizabeth Cruz Suárez, Denis Ricque Marie, Mireya Tapia Salazar, Martha G. Nieto López, David A. Vilareal Cavazos, Ana C. Puello, Cuz y Armando Garcia Ortega. *Avances en Nutrición Acuicola VIII. VIII Simposium Internacional de Nutrición Acuicola*. 15-17 Noviembre. Universidad Autónoma de Nuevo León. Monterrey, Nuevo León, México, 2006.
- FURUYA, W.M. Tabelas brasileiras para a nutrição de tilápias. Toledo: GFM, 100 p., 2010.
- GATLIN, D.M., BARROWS, F.T., BROWN, P., DABROWSK, K., GAYLORD, G., HARDY, R.W., HERMAN, E., HU, G., KROGDAHL, A., NELSON, R., OVERTURF, K., RUST, M., SEALEY, W., SKONBERG, D., SOUZA, E.J., STONE, D., WILSON, R., WURTELE, E. Expanding the utilization of sustainable plant products in aquafeeds: a review. *Aquaculture Research*, v. 38, p. 551-579, 2007.
- GLENCROSS, B.D., BOOTH, M., ALLAN, G.L. A feed is only as good as its ingredients – a review of ingredient evaluation strategies for aquaculture feeds. *Aquac. Nutr.* v. 13, p. 17–34, 2007.
- GLENCROSS, B.D. 2011. A comparison of the digestibility of diets and ingredients fed to rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) or barramundi (*Lates calcarifer*) - the

- potential for inference of digestibility values among species. *Aquaculture Nutrition*, v. 17, p. 207-215, 2011.
- GOYTORTUA-BORES, E., CIVERA-CERECEDO, R., ROCHA-MEZA, S. GREEN-YEE, A. PARTIAL replacement of red crab (*Pleuroncodes planipes*) meal for fish meal in practical diets for the white shrimp *Litopenaeus vannamei*. Effects on growth and in vivo digestibility, *Aquaculture*, v. 256, Pages p. 414-422, 2006
- HARDY, R.W. Alternate protein sources for salmon and trout diets. *Animal Feed Sci. Tech.*, v. 59, p. 71-80, 1996.
- HARDY, R.W. New developments in aquatic feed ingredients, and potential of enzyme supplements. In: Cruz -Suárez, L.E., Ricque-Marie, D., Tapia-Salazar, M., Olvera-Novoa, M.A. y Civera-Cerecedo, R., (Eds.). *Avances en Nutrición Acuícola V. Memorias del V Simposium Internacional de Nutrición Acuícola*. Mérida, Yucatán, Mexico, p. 10-22, 2000.
- HARDY, R.W. Worldwide Fish Meal Production Outlook and The Use of Alternative Protein Meals for Aquaculture. En: L. Elizabeth Cruz Suárez, Denis Ricque Marie, Mireya Tapia Salazar, Martha G. Nieto López, David A. Vilareal Cavazos, Ana C. Puello, Cuz y Armando Garcia Ortega. *Avances en Nutrición Acuícola VIII. VIII Simposium Internacional de Nutrición Acuicola*. 15-17 Noviembre. Universidad Autónoma de Nuevo León. Monterrey, Nuevo León, México. p. 410-419. 2006.
- HEMRE, G.-I., SANDNES, K. Seasonal adjusted diets to Atlantic salmon (*Salmo salar*): Evaluations of a novel feed based on heat-coagulated fish mince, fed throughout 1 year in sea: Feed utilization, retention of nutrients and health parameters. *Aquaculture*, v. 274, p. 166–174, 2008.
- HERNÁNDEZ, C., OLVERA-NOVOA, M.A., AGUILAR-VEJAR, K., GONZÁLEZ-RODRÍGUEZ, B., PARRA, I.A.P. Partial replacement of fish meal by porcine meat meal in practical diets for Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Aquaculture*, v. 277, p. 244–250, 2008.
- HERTRAMPF, J., PIEDAD-PASCUAL, F., 2000. *Handbook on Ingredients for Aquaculture Feeds*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands. 573 pp., 2000.

- HUAI, M.Y., LIU, Y.J., TIAN, L.X., DENG, S.X., XU, A.L., GAO, W., YANG, H.J. Effect of dietary protein reduction with synthetic amino acids supplementation on growth performance, digestibility, and body composition of juvenile Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Aquacult Int.* v. 18, p. 255–269, 2010.
- KIM, J.D., TIBBETTS, S.M., MILLEY, J.E., LALL, S.P. Effect of the incorporation level of herring meal into test diet on apparent digestibility coefficients for protein and energy by juvenile haddock, *Melanogrammus aeglefinus* L. *Aquaculture*, v. 258, p. 479–486, 2006.
- KUHN, D.D., SMITH, S.A., BOARDMAN, G.D., ANGIER, M.W., MARSH, L., FLICK, G.J. Chronic toxicity of nitrate to Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*: Impacts on survival, growth, antennae length, and pathology. *Aquaculture*, v. 309, p. 109–114, 2010.
- KWANYUEN, P., BURTON, J.W. A Modified Amino Acid Analysis Using PITC Derivatization for Soybeans with Accurate Determination of Cysteine and Half-Cystine. *J Am Oil Chem Soc.*, v. 87, p. 127–132, 2010.
- LEE, D. Study on digestion and absorption of protein in artificial feeds by four species of shrimps. *China Fish. Mon.* v. 208, p. 2–4, 1970.
- LEE, P.G., Lawrence, A.L. Digestibility. In: *Crustacean Nutrition, Advances in World Aquaculture* (D'Abramo, L.R., Conklin, D.E. e Akiyama, D.M. eds), World Aquaculture Society, Baton Rouge, LA, v. 6, p. 194–260, 1997.
- LEE, S.-M. Apparent digestibility coefficients of various feed ingredients for juvenile and grower rockfish (*Sebastes schlegeli*). *Aquaculture*, v. 207, p. 79–95, 2002.
- LEMO, D., NAVARRETE DEL TORO, A., CORDOVA-MURUETA, J.H., GARCIA-CARREÑO, F. Testing feeds and feed ingredients for juvenile pink shrimp *Farfantepenaeus paulensis*: in vitro determination of protein digestibility and proteinase inhibition. *Aquaculture*, v. 239, p. 307–321, 2004.
- LEMO, D.E.L., LAWRENCE, A.L., SICCARDI, A.J. Prediction of apparent protein digestibility of ingredients and diets by in vitro pH-stat degree of protein hydrolysis with species-specific enzymes for juvenile Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture*, v. 295, p. 89–98, 2009.

- LEWIS, A.J. METHIONINE-CYSTINE RELATIONSHIPS IN PIG NUTRITION. IN: D'MELLO, J. P. FELIX (EDITOR). Amino Acids in Animal Nutrition. Cambridge, MA, USA: CABI Publishing, p. 143 – 155, 2003.
- LIN, Y-C., CHEN, J-C. Acute toxicity of ammonia on *Litopenaeus vannamei* Boone juveniles at different salinity levels. J. Experimental Marine Biology and Ecology. v. 259, p. 109–119, 2001.
- LIN, Y-C., CHEN, J-C. Acute toxicity of nitrite on *Litopenaeus vannamei* (Boone) juveniles at different salinity levels. Aquaculture, v. 224, p.193–201, 2003.
- LIN, H.Z., GUO, Z., YANG, Y., ZHENG, Z., LI, Z. Effect of dietary probiotics on apparent digestibility coefficients of nutrients of white shrimp *Litopenaeus vannamei* Boone. Aquaculture Research, v. 35, p.1441-1447, 2004.
- MARIOTTI, F., TOME, D. MIRAND, P.P. Converting nitrogen into protein – beyond 6.25 and Jones' factors. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 48, 177–184, 2008.
- MEEKER, D.L., HAMILTON, C.R. An overview of the rendering industry. Essential Redering. David L. Meeker (Ed.). National Renders Association, NRA. p. 195 – 212p, 2006.
- MERICAN, Z.O., SHIM, K.F. Apparent digestibility of lipid and fatty acids in residual lipids of meals by adult *Penaeus monodon*, Aquaculture, v. 133, p. 275-286, 1995.
- MILLAMENA, O.M., BAUTISTA-TERUEL, M.N., KANAZAWA, A. Methionine requirement of juvenile tiger *Penaeus monodon* Fabricius. Aquaculture, v. 143, p. 403-410, 2006.
- MILLAMENA, O.M., BAUTISTA-TERUEL, M.N., REYES, O.S., KANAZAWA, A. 1996B. Requirements of juvenile marine shrimp, *Penaeus monodon* (Fabricius) for lysine and arginine. Aquaculture, v. 164, p. 95-104, 1996.
- NOSE, T. Protein digestibility of several test diets in cray and prawn fish. Bull. Freshw. Fish Res. Lab. v. 14, p. 23– 28, 1964.
- NAYLOR, R.L., HARDY, R.W., BUREAU, D.P., CHIU, A., ELLIOTT, M., FARRELLE, A.P., FORSTER, I., GATLIN, D.M., GOLDBURGH, R.J., HUA, K.,

- NICHOLSI, P.D. Feeding aquaculture in an era of finite resources. PNAS, v. 106, p. 15103–15110, 2009.
- OBALDO, L.G., DOMINY, W.G., TERPSTRA, J.H., CODY, J.J., BEHNKE, K.C. The impact of ingredient particle size on shrimp feed. Journal of Applied Aquaculture, v.8, p.55-66, 1998.
- OBALDO, G. L.; DIVAKARAN, S.; TACON, A. G. Method for determining the physical stability of shrimp in water. Aquaculture Research, v. 33, p. 369-377, 2002.
- PALANISWAMY, R., AHMAD, S. The impact of particle size of ingredients in compounded diets on pellet stability and performance in *Penaeus indicus* H. Milne Edwards. J. Aqua. Trop., v. 6, p. 119-127, 1991.
- PELLETIER, N, TYEDMERS, P. Feeding farmed salmon: is organic better? Aquaculture, v. 272, p. 399–416, 2007.
- PONCE-PALAFOX, J., MATINEZ-PALACIOS, C.A., ROSS, L.G. The effects 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.
- RAUSCH, K.D., BELYEA, R.L. The Future of Coproducts From Corn Processing. Applied Biochemistry and Biotechnology, v. 128, p. 47-86, 2006.
- REBAFKA, F.-P. A Revolutionary Type of Feather Meal for Fish Feed. Presentation at the World Aquaculture 2011, Alternative Feedstuffs and Aquafeeds Session. Natal, Brazil June 7-10, 2011. Resumo disponível em: <https://www.was.org/WasMeetings/meetings/SessionAbstracts.aspx?Code=WA2011&Session=46> em 30/07/2011.
- RIVAS-VEGA, M.E., GOYTORTÚA-BORES, E., EZQUERRA-BRAUER, J.M., SALAZAR-GARCÍA, M.G., CRUZ-SUÁREZ, L.E., NOLASCO, H., CIVERA-CERECEDO, R. Nutritional value of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) meals as ingredients in diets for Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei* Boone). Food Chemistry 97, p. 41–49, 2006.
- ROSTAGNO, H.S., ALBINO, L.F.T., DONZELE, J.L., GOMES, P.C., OLIVEIRA, R.F., LOPES, D.C., FERREIRA, A.S., BARRETO, S.L.T. Tabelas brasileiras para

- Aves e Suínos: Composição de alimentos e exigências nutricionais. Viçosa, UFV, 186p. 2005.
- SAPKOTA, A.R., LEFFERTS, L.Y., MCKENZIE, S., WALKER, P. What Do We Feed to Food-Production Animals? A Review of Animal Feed Ingredients and Their Potential Impacts on Human Health. *Environmental Health Perspectives*, v. 115 (5), p. 663-670, 2007.
- SEIDMAN, E.R., LAWRENCE, A.L. 1985. Growth, feed digestibility, and proximate body composition of juvenile *Penaeus vannamei* and *Penaeus monodon* grown at different dissolved oxygen levels. *Journal World Mar. Soc.*, v. 16, p. 333–346, 1985.
- SIBBALD, I. R. Estimation of bioavailable amino acids in feedingstuffs for poultry and pigs: a review with emphasis on balance experiments. *Can. J. Anim. Sci.* v. 67, p.221-301, 1987.
- SICCARDI, A.J., LAWRENCE, A.L., GATLIN, D.M., FOX, J.M., CASTILLE, F.L., PEREZ-VELAZQUEZ, M., GONZÁLEZ-FÉLIX, M.L. Digestibilidad aparente de energía, proteína y material seco de ingredientes utilizados en alimentos balanceados para el camarón blanco del Pacífico *Litopenaeus vannamei*. In: Cruz-Suárez, L.E., Ricque-Marie, D., Tapia-Salazar, M., Nieto-López, M.G., Villarreal-Cavazos, D.A., Puello-Cruz, A.C., García-Ortega, A. (Eds.), *Avances en Nutrición Acuícola VIII*. Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, Mexico, p. 213–237, 2006.
- SKONBERG, I., HARDY, R.W., BARROWS, F.T., DONG, F.M. Color and flavor analyses of fillets from farm-raised rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed low-phosphorus feeds containing corn or wheat gluten. *Aquaculture*, v. 166, p. 269–277, 1998.
- SMITH, L.L., LEE, P.G., LAWRENCE, A.L., STRAWN, K. Growth and digestibility by three sizes of *Penaeus vannamei* BOONE: Effects of Dietary Protein Level and Source. *Aquaculture*, v. 46, p. 85-96, 1985.
- SMITH, D.M., ALLAN, G.L., WILLIAMS, K.C. AND BARLOW, C. Fishmeal replacement research for shrimp feed in Australia. In: Cruz -Suárez, L.E., Ricque-Marie, D., Tapia-Salazar, M., Olvera-Novoa, M.A. y Civera-Cerecedo, R., (Eds.).

- Avances en Nutrición Acuícola V. Memorias del V Simposium Internacional de Nutrición Acuícola. Mérida, Yucatán, México, p. 277-286, 2000.
- SMITH, D.M., TABRETT, S.J. Accurate measurement of in vivo digestibility of shrimp feeds. *Aquaculture*, p. 232, v. 563–580, 2004.
- SMITH, D.M., TABRETT, S.J., GLENCROSS, B.D., IRVIN, S.J., BARCLAY, M.C. Digestibility of lupin kernel meals in feeds for the black tiger shrimp, *Penaeus monodon*. *Aquaculture*, v. 264, p. 353 – 362, 2007.
- SUÁREZ, J.A., GAXIOLA, G., MENDOZA, R., CADAVID, S., GARCIA, G., ALANIS, G., SUAREZ, A., FAILLACE, J., CUZON, G. Substitution of fish meal with plant protein sources and energy budget for white shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931), *Aquaculture*, v. 289, p. 118-123, 2009.
- SUGIURA, S.H., DONG, F.M., RATHBONE, C.K., HARDY, R.W. Apparent protein digestibility and mineral availabilities in various feed ingredients for salmonid feeds. *Aquaculture*, v.159, p. 177-202, 1998.
- SUGIURA, S.H. Digestibility. In: Encyclopedia of Aquaculture, ed. Robert R. Stickney. John Wiley e Sons, Inc. p. 209 – 218, 2000.
- SVEIER H., WATHNE E., LIED E. Growth, feed and nutrient utilisation and gastrointestinal evacuation time in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.): the effect of dietary fish meal particle size and protein concentration. *Aquaculture*, v. 180, p. 265-282, 1999.
- TAN, R.K.H., DOMINY, W.G. Commercial Pelleting of Crustacean Feeds. In: Crustacean Nutrition, Advances in World Aquaculture (D'Abramo, L.R., Conklin, D.E. e Akiyama, D.M. eds). World Aquaculture Society, Baton Rouge, LA, v. 6, p. 520-547, 1997.
- TACON, A.G.J. Nutritional studies in crustaceans and the problems of applying research findings to practical farming systems. *Aquacult. Nutr.*, v. 1, p. 165-174, 1996.

- TACON, A.G.J., AKIYAMA, D.M. 1997. Feed Ingredients. In: Crustacean Nutrition, Advances in World Aquaculture (D'Abramo, L.R., Conklin, D.E. e Akiyama, D.M. eds). World Aquaculture Society, Baton Rouge, LA, v. 6, p. 411-472.
- TACON, A.G.J. Global Review of Feeds and Feed Management Practices in Shrimp Aquaculture. Report prepared under the World Bank, NACA, WWF and FAO Consortium Program on Shrimp Farming and the Environment. Work in Progress for Public Discussion. Published by the Consortium. 68p., 2002.
- TACON, A.G.J., CODY, J.J., Conquest, L.D., Divakaran, S., Forster, I.P., Decamp, O.E. Effect of culture system on the nutrition and growth performance of Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone) fed different diets. Aquaculture Nutrition, v. 8, p. 121-137, 2002.
- TACON, A.G.J., HASSAN, M.R., SUBASINGHE, R.P. Use of Fishery Resources as Feed Inputs to Aquaculture Development: Trends and Policy Implications. FAO Fisheries Circular, No. 1018, 2006.
- TACON, A.G.J., METIAN, M. Global overview on the use of fish meal and fish oil in industrially compounded aquafeeds: Trends and future prospects. Aquaculture, v. 285, p. 146-158., 2008.
- TACON, A.G.J., METIAN, M., HASAN, M.R. Feed ingredients and fertilizers for farmed aquatic animals Sources and composition. Fao Fisheries and Aquaculture Technical Paper 540. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, 209p, 2009.
- TACON, A.G.J., CAHYONO, E.W., SUGEMA, U.U.S., CHOIRUZ ZAUDJAT, C. e NATES, S. Replacement of fishmeal and marine proteins in practical diets for Pacific white shrimp using terrestrial land animal proteins. Aqua Culture Asia Pacific Magazine, p. 12-17, 2010.
- TERRAZAS, M., CIVERA, R., IBARRA, L., GOYTORTÚA, E. Coeficientes de utilización digestiva aparente de materia seca, proteína y aminoácidos esenciales de ingredientes terrestres para el camarón del Pacífico *Litopenaeus vannamei* (Decapoda: Penaeidae). Rev. Biol. Trop. (Int. J. Trop. Biol.), v. 58, p. 1561-1576, 2010.

- TERRAZAS-FIERRO, M., CIVERA-CERECEDO, R., IBARRA-MARTÍNEZ, L., GOYTORTÚA-BORES, E., HERRERA-ANDRADE, M., REYES-BECERRA, A. Apparent digestibility of dry matter, protein, and essential amino acid in marine feedstuffs for juvenile whiteleg shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture*, v. 308, p. 166–173, 2010.
- TIAN, X. e DONG, S. The effects of thermal amplitude on the growth of Chinese shrimp *Fenneropenaeus chinensis* (Osbeck, 1765). *Aquaculture*, v. 251, p. 516– 524, 2006.
- TIBBETTS, S.M., MILLEY, J.E., LALL, S.P. Apparent protein and energy digestibility of common and alternative feed ingredients by Atlantic cod, *Gadus morhua* (Linnaeus, 1758). *Aquaculture*, v. 261, p. 1314–1327, 2006.
- VASAGAM, K.P.K., BALASUBRAMANIAN, T., VENKATESAN, R. Apparent digestibility of differently processed grain legumes, cow pea and mung bean in black tiger shrimp, *Penaeus monodon* Fabricius and associated histological anomalies in hepatopancreas and midgut. *Animal Feed Sci. Tech.*, v. 132, p. 250–266, 2007.
- VIEITES, F.M., ALBINO, L.F.T., SOARES, P.R., ROSTAGNO, H.S. Valores de Aminoácidos Digestíveis Verdadeiros da Farinha de Carne e Ossos para Aves. *Rev. bras. zootec.*, v. 29, p.2300-2307, 2000.
- VINATEA, L. A. Princípios químicos de qualidade da água em aquíicultura: uma revisão para peixes e camarões. Florianópolis: UFSC, 166 p., 1997.
- WANG, X., MA, S., DONG, S. Effects of water temperature and dietary carbohydrate levels on growth and energy budget of juvenile *Litopenaeus vannamei*. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, v. 24 (3), p. 318-324, 2006.
- WILSON, R.P. Amino Acid Requirements of Finfish and Crustaceans. In: D'Mello, J. P. Felix (Editor). *Amino Acids in Animal Nutrition*. Cambridge, MA, USA: CABI Publishing, p. 427 – 447, 2003.
- WYBAN, J., WALSH, W.A., GODIN, D.M. Temperature effects on growth, feeding rate and feed conversion of the Pacific white shrimp (*Penaeus vannamei*). *Aquaculture*, v.138, p. 267-279, 1995.

- XIA, S., YONG, L., WENQ, W., RAJKUMAR, M., PARAMASIVAM, K., VASAGAM, K., WANG, H. 2010. Influence of dietary protein levels on growth, digestibility, digestive enzyme activity and stress tolerance in white-leg shrimp, *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931), reared in high-density tank trials. *Aquaculture Research*, v. 41, p.1845 -1854, 2010.
- YAN, B., WANG, X., CAO, M. Effects of salinity and temperature on survival, growth, and energy budget of juvenile *litopenaeus vannamei*. *Journal of Shellfish Research*, v. 26, p. 141-146. 2007.
- YANG, Q., ZHOU, X., ZHOU, C., TAN, B., CHI, S., DONG, X. Apparent digestibility of selected feed ingredients for white shrimp *Litopenaeus vannamei*, Boone. *Aquaculture Research*, 2009, p. 1-9, 2009.
- YU, Y. 2006. Rendered products in shrimp aquaculture feeds. *Essencial Redering*. David L. Meeker (Ed.). National Renders Association, NRA. p.195 – 211, 2006.
- ZHU, S., CHEN, S., HARDY, R. W. AND BARROWS, F. T. Digestibility, growth and excretion response of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum) to feeds of different ingredient particle sizes. *Aquaculture Research*, v. 32, p. 885–893, 2001.
- ZHU, W., MAI, K., ZHANG, B., WANG, F., YU, Y. A Study on the Meat and Bone Meal and Poultry By-product Meal as Protein Substitutes of Fish Meal in Practical Diets for *Litopenaeus vannamei* Juveniles *Journal of Ocean University of China* (Oceanic and Coastal Sea Research, v. 3, No.2, p. 157-160, 2004.

Capítulo 6. Avaliação de fontes protéicas de origem animal e vegetal alternativos à farinha de peixe em diferentes níveis de inclusão sobre uma dieta referência no desempenho de juvenis do camarão marinho *Litopenaeus vannamei* em sistema de recirculação.

6.1. Introdução

Os camarões consomem através das rações 27% da farinha de peixe e 43% do óleo de peixe produzido no mundo o que os torna os maiores consumidores da farinha de peixe e o 4º maior consumidor de óleo de peixe do mundo (Tacon e Metian, 2008). Ainda segundo estes autores, a inclusão de farinha de peixe nas dietas para camarões marinhos em 2006 oscilou entre 5 e 40%, e no Brasil a inclusão de farinha de peixe e do óleo em rações comerciais foi de 5 a 25%, sendo 15% em média e 2 a 4%, sendo 3% em média, respectivamente. A dependência da aquicultura pela farinha de peixe pode fazer com que aumente ainda mais a pressão sobre os estoques pesqueiros e o balanço entre o pescado capturado, bem como o pescado disponível para a alimentação humana deverá depender das práticas adotadas pela aquicultura no futuro (Naylor et al., 2000).

A utilização dos estoques pesqueiros para a fabricação de rações além de contribuir para o esgotamento dos estoques pesqueiros retira do alcance da população um alimento acessível e de alto valor nutricional, o que faz com que o uso da farinha e do óleo de peixe na nutrição animal recaia sobre uma questão ética, tanto do ponto de vista social como também no aspecto ambiental. No modelo de produção atual, algumas das principais espécies aquáticas cultivadas consomem mais recursos pesqueiros do que produzem o que os torna consumidores líquidos de pescado. Entre estas espécies estão o salmão, os peixes e camarões marinhos que em 2006 consumiram, respectivamente, 4,9, 2,2 e 1,4 unidades de pescado forrageiro na forma de farinha e óleo de peixe para cada unidade produzida. Além da questão social e ambiental, o uso da farinha e do óleo de peixe representa um custo cada vez mais alto para a aquicultura à medida que a demanda aumenta e a oferta não acompanha este crescimento e como resultado o preço da farinha de peixe que foi US\$694,00 em 2005 (Tacon e Metian, 2008) e alcançou US\$ 1.500,00 em 2011 (Bacon, 2011).

Em função deste cenário diversos estudos sobre a utilização de ingredientes alternativos em substituição à farinha e ao óleo de peixe têm sido realizados em todo o mundo (Tacon e Akiyama, 1997; Hardy e Tacon, 2002; Gatlin et al., 2007; Tacon et al. 2010) e cada vez mais estes ingredientes serão a principal fonte de proteína nas rações para a aquicultura enquanto que a farinha de peixe deverá ser usada no equilíbrio do perfil de aminoácidos para suprir a falta de alguns constituintes importantes para o suporte ao crescimento dos animais cultivados e melhorar a palatabilidade das dietas (Hardy, 2000; Hardy e Tacon, 2002).

O uso de proteínas alternativas deve preencher alguns requisitos para serem consideradas com seriedade, tais como: preço competitivo com o da farinha de peixe (custo por unidade de proteína e desempenho), baixo potencial poluidor (por meio do aporte de nitrogênio ou fósforo indigeríveis), ser de fato comercializada em quantidade e regularidade adequadas para a indústria, fácil de transportar, manusear e processar na forma de ração (Hardy e Tacon, 2002). Além dos aspectos algumas características nutricionais são desejáveis tais como baixos níveis de fibra e extratos livres de nitrogênio, especialmente carboidratos não solúveis e anti-nutrientes, alto teor de proteína, perfil de aminoácidos favorável, alta digestibilidade e palatabilidade aceitável (Gatlin et al., 2007). As fontes alternativas de proteína utilizadas pela indústria têm sido os subprodutos da pesca, alimentos protéicos obtidos a partir do processamento de grãos, sementes e leguminosas e subprodutos do abate de animais terrestres. Entre as proteínas alternativas que ainda não chegaram ao mercado se destacam proteínas unicelulares e proteínas de invertebrados (Hardy, 2006).

Em comparação com os estudos realizados para peixes, os estudos sobre a ingredientes alternativos para a substituição da farinha de peixe em dietas para camarões marinhos são menos numerosos e incluem menos ingredientes. Nestes estudos, a farinha de peixe é substituída pelo ingrediente alternativo e estes compreendem uma grande variedade de ingredientes de origem marinha tais como a farinha de peixe de diferentes qualidades e origens (Rique-Marie et al, 1998; Tapia-Salazar et al., 2004; Terrazas-Fierro, 2010); casca de camarão fermentada (Amar et al., 2006); farinha de cabeça de camarão (Jaime-Ceballos et al., 2009) e farinha de krill (Nunes et al., 2010).

Entre os ingredientes de origem vegetal o farelo de soja foi um dos mais pesquisados como substitutos da farinha de peixe em dietas para camarões marinhos

(Lim e Dominy, 1990; Alvaréz et al., 2007; Amaya et al., 2007a; Suárez et al., 2009; Sookying, 2010); seguido pelo concentrado protéico de soja (Forster et al., 2002; Paripatananont et al., 2001 Sookying, 2010); isolado protéico de soja (Gamboa-Delgado e Le Vay, 2009), glúten de milho (Forster et al., 2002, Terrazas et al., 2010); farelo de canola (Lim et al., 1997); tremoço (Smith et al., 2007) e mais recentemente o pinhão manso (Harter et al., 2010).

Em relação aos ingredientes de origem animal, os subprodutos de aves têm sido os mais estudados, especialmente a farinha de vísceras e a farinha de penas (Amaya et al., 2007a; Davis e Arnold, 2000; Cheng et al., 2002; Cruz-Suárez et al., 2004; Chi et al., 2009; Mendonza et al., 2001); seguidos pela farinha de carne e ossos de bovinos (Lawrence e Castille, 1991; Smith et al., 2000; Simão et al., 2008; Zhu et al., 2004; Tan et al., 2005; Tacon et al., 2010); farinha de carne e ossos de suínos (Hernández et al., 2008, Terrazas, 2010) e farinha de carne e ossos contendo uma mistura de subprodutos de bovinos, aves e suínos (Forster et al., 2003). Alguns estudos avaliaram misturas de ingredientes como a mistura de vísceras de atum e farelo de milho (Hernández et al., 2004); mistura de farinha de penas e farelo de soja (Mendoza et al., 2001) e a mistura de vísceras de frango e farelo de soja (Samocha et al., 2004). As misturas são úteis para balancear a composição de aminoácidos essenciais de certos ingredientes e alguns aminoácidos cristalinos também podem ser adicionados para atender às exigências de AAAs (Torstensen et al., 2008).

O uso de ingredientes vegetais como fonte de proteína nas dietas para camarões marinhos tem sido defendido como alternativa aos subprodutos de origem animal em função de uma possível redução na sua disponibilidade no futuro com o aumento da demanda pelo setor de produção animal, além de aspectos relacionados à sua renovabilidade e biosegurança, o que motivou a realização de um estudo recente sobre a substituição da farinha de vísceras de frango por uma combinação dos ingredientes vegetais farelo de soja, sorgo, glúten de milho e grãos secos solúveis (Markey et al., 2010). Entretanto, este cenário merece uma análise mais cuidadosa, uma vez que a oferta dos subprodutos de origem animal acompanha o crescimento da produção.

Entre os ingredientes inovadores com potencial para substituir a farinha de peixe se destacam os flocos microbianos em função da sua composição e disponibilidade, o que foi comprovado em um estudo no qual o desempenho do *L. vannamei* alimentado

com dietas contendo até 20% de flocos microbianos foi superior ao crescimento no tratamento controle (Kuhn et al. 2009).

Existe uma grande variedade de estudos sobre ingredientes com potencial para substituir a farinha de peixe, no entanto a utilidade destes resultados tem sido prejudicada pela falta de informações e pela diversidade de condições experimentais empregadas. A adoção de alguns procedimentos tais como a caracterização dos ingredientes avaliados, o processamento adequado das dietas e a utilização de sistemas experimentais que se assemelhem ao máximo às condições reais de produção e que permita um crescimento igual ou superior ao verificado nas fazendas podem facilitar a comparação entre os resultados dos estudos sobre nutrição de organismos e torná-los mais aplicados à realidade das fazendas. Estes estudos devem ainda utilizar ingredientes disponíveis localmente (Tacon, 1996, D'Ábramo e Castell, 1997).

O objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho em termos de crescimento, conversão alimentar e sobrevivência de juvenis do camarão marinho *Litopenaeus vannamei* em um sistema de *recirculação* e alimentados com dietas contendo ingredientes protéicos em diferentes níveis de inclusão sobre uma dieta referência durante os ensaios de digestibilidade apresentados no capítulo 5. Foram selecionados ingredientes protéicos comerciais com potencial para a substituição da farinha de peixe, sendo eles o concentrado protéico de soja, a farinha de vísceras de frango de baixa gordura, a farinha de carne e ossos, o glúten de milho e a farinha de penas hidrolisadas, além da farinha de peixe que foi avaliada como controle.

6.2. Materiais e métodos

Ingredientes

A seleção dos ingredientes teve como critérios principais: a utilização de ingredientes protéicos, a sua disponibilidade no Brasil, a sua utilização pela indústria e o seu uso na fabricação de dietas para camarões marinhos no Brasil. Para isto, foram escolhidos quatro ingredientes de origem animal: farinha de peixes do Chile (mistura de cavalinha e anchoveta, denominada FPX), farinha de vísceras de frango (FVI), farinha de carne e ossos (FCO) e farinha de penas hidrolisadas (PEN), além de dois ingredientes de origem vegetal: o concentrado protéico de soja (CPS) e o glúten de milho 60 (GLM).

Todos os ingredientes foram moídos em um moinho de martelos Vieira MCS 280 com 5cv (Máquinas Vieira Indústria e Comércio Ltda.) com peneira de 600µm para homogeneizar as partículas no padrão empregado pela indústria

Uma descrição completa das características dos ingredientes e os resultados das análises quanto à composição centesimal, energia bruta, aminoácidos essenciais e não essenciais, minerais e ácidos graxos são apresentadas nos itens 4.1 e 4.2, respectivamente do capítulo 4.

Dietas experimentais

Para a realização deste estudo, foi elaborada uma dieta referência para atender as exigências nutricionais do camarão marinho *L. vannamei* e a partir desta foram elaboradas dezoito dietas teste substituindo 10%, 20% e 30% da dieta referência pela mesma quantidade de cada um dos seis ingrediente teste, resultando em proporções dieta referência: ingrediente teste iguais a 90:10, 80:20 e 70:30.

A composição analisada da dieta referência e das dezoito dietas em termos de composição centesimal, proteína digestível, energia bruta e digestível e a relação proteína digestível: energia digestível são apresentadas na Tabela 6.1. As formulações, os procedimentos de elaboração das dietas e as análises de aminoácidos estão detalhados no item 5.2 do capítulo 5.

Desenho experimental

Os testes foram realizados em paralelo a um ensaio de digestibilidade, apresentado no capítulo 5, e consistiram em duas etapas, ou rodadas, e em cada uma delas foram avaliados três ingredientes nos níveis de inclusão de 10%, 20% e 30% (18 dietas teste), mais a dieta referência que foi a mesma nas duas rodadas, totalizando 19 dietas. As dietas CPS30 e FVI30 foram avaliadas também em um teste paralelo às duas rodadas, denominado longo.

Tabela 6.1. Composição centesimal e da energia determinadas para as dietas referência e teste elaboradas para a avaliação da digestibilidade e do desempenho em função do ingrediente e do nível de inclusão em dietas para juvenis no *L. vannamei*. Valores base matéria natural em g 100g⁻¹ exceto quando especificado¹

Dieta	PB	PD	EE	FB	ENN	MS	MM	EB (MJ Kg ⁻¹)	ED (MJ Kg ⁻¹)	PD:ED (g proteína MJ ⁻¹)
REFERÊNCIA	39,0	30,4	8,2	0,8	34,8	92,5	9,7	20,0	16,5	18,4
FPX10	43,1	35,1	9,2	0,8	31,3	95,0	10,5	20,0	16,5	21,3
FPX20	45,3	36,1	9,1	0,4	28,1	93,6	10,7	19,8	16,4	22,1
FPX30	47,2	39,0	9,1	0,4	24,4	92,1	10,9	19,9	16,7	23,3
CPS10	40,9	33,8	8,0	1,1	32,3	92,2	10,0	19,5	16,1	20,9
CPS20	42,9	35,1	7,2	1,4	31,5	91,9	9,0	19,6	16,1	21,8
CPS30	45,9	38,9	6,2	1,4	29,8	92,0	8,7	20,4	16,7	23,4
FVII0	41,3	30,6	9,6	0,6	31,7	93,7	10,5	20,1	16,1	19,0
FVI20	43,4	30,9	9,8	0,5	28,5	93,4	11,1	20,2	15,7	19,6
FVI30	46,0	27,2	10,6	0,4	26,7	95,5	11,9	20,5	14,6	18,7
GLM10	42,9	29,9	9,4	0,4	32,9	94,9	9,4	20,9	16,4	18,2
GLM20	45,1	31,1	9,1	0,7	30,1	93,4	8,3	21,2	16,2	19,2
GLM30	46,9	31,9	8,9	0,7	31,4	95,4	7,4	21,1	16,3	19,6
FCO10	40,5	29,7	9,2	0,5	29,7	93,4	13,4	18,2	14,1	21,0
FCO20	40,1	29,9	9,2	0,5	29,0	95,4	16,6	18,9	15,3	19,5
FCO30	40,7	27,9	9,3	0,6	24,2	94,7	19,9	17,9	13,9	20,1
PEN10	44,0	30,1	9,2	0,7	31,4	94,8	9,4	20,2	15,5	19,4
PEN20	48,0	28,8	9,2	0,5	28,4	94,9	8,7	20,7	14,9	19,3
PEN30	52,6	30,2	9,3	0,4	24,4	94,9	8,1	21,2	14,7	20,5

¹PB – proteína bruta, PD – proteína digestível, EE – extrato etéreo, FB – fibra bruta, ENN – extrato não nitrogenado, MS – matéria-seca, MM – matéria mineral, EB – energia bruta, ED – energia digestível, PD:ED – relação proteína digestível: energia digestível. FPX – farinha de peixe, CPS – concentrado protéico de soja, FVI – farinha de vísceras de frango com baixa gordura, GLM – glúten de milho, FCO – farinha de carne e ossos e PEN – farinha de penas hidrolisadas. Valores 10, 20 e 30 após o código do ingrediente significam os níveis de inclusão do ingrediente teste na dieta referência. Proteína digestível e energia digestível calculados a partir dos dados obtidos no capítulo 5.

Cada dieta foi ofertada a três tanques sorteados entre os sistemas experimentais 1 e 2 (Tabela 6.2). No capítulo 2 estão descritos os detalhes sobre os sistemas experimentais.

Tabela 6.2. Desenho experimental adotado na rodada 1, na rodada 2 e no teste longo realizado em paralelo às duas rodadas para a avaliação do crescimento, conversão alimentar e sobrevivência de juvenis do *Litopenaeus vannamei* alimentados com dietas contendo ingredientes protéicos nos níveis de inclusão de 10%, 20% e 30% com três repetições (tanques) por tratamento.

	Dieta	Ingrediente teste	inclusão do ingrediente teste
Rodada 1	REF	Dieta referência	-
	FPX10	Farinha de peixe	10
	FPX20	Farinha de peixe	20
	FPX30	Farinha de peixe	30
	CPS10	Concentrado protéico de soja	10
	CPS20	Concentrado protéico de soja	20
	CPS30	Concentrado protéico de soja	30
	FVI10	Farinha de vísceras de frango	10
	FVI20	Farinha de vísceras de frango	20
	FVI30	Farinha de vísceras de frango	30
Rodada 2	REF	Dieta referência	-
	GLM10	Glúten de milho	10
	GLM20	Glúten de milho	20
	GLM30	Glúten de milho	30
	FCO10	Farinha de carne e ossos	10
	FCO20	Farinha de carne e ossos	20
	FCO30	Farinha de carne e ossos	30
	PEN10	Farinha de penas hidrolisadas	10
	PEN20	Farinha de penas hidrolisadas	20
	PEN30	Farinha de penas hidrolisadas	30
Rodada 1 a	CPS30	Concentrado protéico de soja	30
Rodada 2	FVI30	Farinha de vísceras de frango	30

bFarinha de peixe – FPX, concentrado protéico de soja – CPS, farinha de vísceras de frango – FVI, glúten de milho – GLM, farinha de carne e ossos – FCO, farinha de penas hidrolisadas – PEN.

Origem e manutenção dos camarões

A descrição sobre a origem e a manutenção dos camarões no sistema experimental está descrita no item 5.2 do capítulo 5. Em linhas gerais foram utilizados indivíduos com um peso médio de $4,7 \pm 1,47$ g e na densidade média de 46 indivíduos por tanque, ou 63,8 indivíduos por m², para a primeira rodada de determinação da

digestibilidade com duração de 33 dias e a densidade de estocagem na segunda rodada foi igual a 44 camarões por tanque, ou 61,1 camarões por m², com peso médio de 10,4 ± 2,00g por tanque e a duração foi de 30 dias.

Manutenção do sistema e manejo dos camarões

Os ensaios de crescimento foram realizados durante as rodadas para a determinação da digestibilidade e os procedimentos, portanto, foram os mesmos descritos no item 5.2. do capítulo 5.

Análises químicas

As análises de umidade, cinzas, proteína das dietas e ingredientes, lipídeos e fibra foram realizadas no Labtec em Campinas, SP. As análises de proteína das fezes foram realizadas na Central Analítica do Instituto de Química da USP em São Paulo e as análises de energia bruta foram realizadas no Instituto de Zootecnia, IZ, em Nova Odessa, São Paulo. Os métodos utilizados para as análises dos ingredientes e rações estão descritos no item 5.2 (materiais e métodos) do capítulo 5.

Cálculos

O crescimento semanal (gramas semana⁻¹) foi calculado da seguinte forma:

$$\text{Crescimento g sem}^{-1} = (\text{pesof} - \text{pesoi})/\text{dc} \times 7, \text{ onde:} \quad (1)$$

pesof = peso final, pesoi = peso inicial, dc = dias de cultivo e 7 = número de dias na semana.

A taxa de crescimento específico foi calculada da seguinte forma (Torstensen et al., 2008). (2)

$$\text{TCE (\% de crescimento diário)} = (\ln \text{Peso final} - \ln \text{Peso inicial} \times \text{días de experimento}^{-1}) \times 100$$

A sobrevivência inclui as mortalidades por canibalismo e as fugas e foi calculada da seguinte forma: (3)

$$\text{Sobrevivência \%} = [1 - (\text{nf} - \text{ni})/\text{ni}] \times 100, \text{ onde ni = número inicial de indivíduos e nf = número final de indivíduos.}$$

Foi adotado o fator de conversão alimentar econômico, que considera a quantidade de ração ofertada e não a quantidade de ração consumida (Rana, 2009), o qual foi calculado da seguinte forma: (4)

$FCA = \text{ração}f \text{ g} / (bf \text{ g} - bi \text{ g})$, onde: $\text{ração}f \text{ g}$ = ração fornecida em gramas, bi = biomassa inicial em gramas e bf = biomassa final em gramas. (5)

A taxa de eficiência protéica bruta (TEPB) foi calculada da seguinte forma (adaptado de Torstensen et al, 2008): (6)

$TEPB = (bf \text{ g} - bi \text{ g}) / (\text{ração}f \text{ g} \times P\text{Bração})$, onde:

bi = biomassa inicial em gramas, bf = biomassa final em gramas, $\text{ração}f$ = ração fornecida em gramas, $P\text{Bração}$ = percentual de proteína bruta na ração.

A taxa de eficiência protéica digestível (TEPD) foi calculada da seguinte forma (adaptado de Torstensen et al, 2008): (7)

$TEPD = (bf \text{ g} - bi \text{ g}) / (\text{ração}f \text{ g} \times P\text{Dração})$, onde:

bi = biomassa inicial em gramas, bf = biomassa final em gramas, $\text{ração}f$ = ração fornecida em gramas, $P\text{Dração}$ = percentual de proteína digestível na ração (fornecidos no capítulo 5).

A taxa de eficiência protéica bruta relativa (TEPB-R) e taxa de eficiência protéica digestível relativa (TEPD-R) foram calculadas da seguinte forma: (8)

$$TEPB\text{-}R_{\text{dietax inclusão y}} = TEPB_{\text{dietax inclusão y}} / TEPB_{\text{dieta referência}}, e$$

$$TEPD\text{-}R_{\text{dietax inclusão y}} = TEPD_{\text{dietax inclusão y}} / TEPD_{\text{dieta referência}}$$

A oferta diária de proteína bruta ($\text{g PB} / \text{kg} / \text{dia}$) foi calculada da seguinte forma: (9)

$$\text{g PB} / \text{kg} / \text{dia} = [(rc / d) \times PBr] / bm, \text{ onde:}$$

rc = ração consumida no período em g, d = dias de cultivo, PBr = kg de proteína bruta da ração por kg de matéria natural, bm = biomassa média (biomassa final g – biomassa inicial g / 2 + biomassa inicial).

A oferta diária de proteína digestível ($\text{g PD} / \text{kg} / \text{dia}$) foi calculada da seguinte forma: (10)

$$\text{g PD} / \text{kg} / \text{dia} = [(rc / d) \times PDr] / bm, \text{ onde:}$$

rc = ração consumida no período em g, d = dias de cultivo, PDr = kg de proteína digestível da ração por kg de matéria natural, bm = biomassa média (biomassa final g – biomassa inicial g / 2 + biomassa inicial).

Análises estatísticas

Os resultados são expressos como média e desvio padrão exceto quando especificado. Os efeitos dos ingredientes e dos níveis de inclusão no crescimento, sobrevivência e fator de conversão alimentar foram analisados por ANOVA de duas vias e as diferenças entre as médias foram determinadas pelo Teste de Tukey e análises de correlação de Pearson para os dados relacionados ao desempenho e composição dos ingredientes e das dietas. As diferenças foram consideradas significativas quando $P < 0,05$. Os testes foram realizados utilizando o software Statistica 9.1 (StatSoft, Inc. Tulsa, OK, EUA).

6.3. Resultados

Os ensaios de desempenho realizados com os camarões em paralelo aos ensaios de digestibilidade de ingredientes incluídos sobre uma dieta referência em diferentes níveis de inclusão mostraram que as condições experimentais foram adequadas para os objetivos propostos, o que foi comprovado com o desempenho dos camarões que ao mesmo tempo em que atenderam às premissas básicas para os estudos de digestibilidade também foi influenciado pelo tipo e o nível de inclusão dos ingredientes avaliados.

Qualidade da água

Os parâmetros de qualidade da água nas duas rodadas experimentais e nos dois sistemas experimentais apresentaram níveis de oxigênio dissolvido acima de $4,0 \text{ mg L}^{-1}$, temperatura média da água na rodada 1 igual a $29,4^{\circ}\text{C}$, ou $2,0^{\circ}\text{C}$ superior à temperatura média da água na rodada 2 ($27,4^{\circ}\text{C}$). As concentrações de amônia não-ionizada obtidos a partir da amônia total, pH e temperatura da água variaram de 0,02 a $0,0315 \text{ mg L}^{-1}$ na rodada 1 a 0,02 a 0,15 na rodada 2. Os valores de nitrito foram mais altos na rodada 2 com concentrações entre 0,07 e $5,90 \text{ mg L}^{-1}$ enquanto que na rodada 1 se mantiveram entre 0,03 e $0,82 \text{ mg L}^{-1}$. O nitrato apresentou concentrações similares nas duas rodadas e variou de 21,25 a $31,00 \text{ mg L}^{-1}$ na rodada 1.

Os resultados das análises de água foram detalhados no item 5.3. Resultados, no sub item qualidade da água, do capítulo 5.

Composição das dietas

A análise da composição das dietas teste mostrou que a composição variou de acordo com o ingrediente teste e o seu nível de inclusão e as diferenças de composição entre as dietas com ingredientes diferentes no mesmo nível de inclusão foram maiores nos maiores níveis de inclusão. Os níveis de proteína bruta, extrato etéreo, fibra bruta, material mineral e energia apresentaram diferenças de até 29, 70, 300, 169 e 18%, respectivamente, entre as dietas teste contendo ingredientes na inclusão de 30%.

O teor de proteína bruta das dietas teste variou apresentou uma média de 44g 100g⁻¹ e variou de 40,1 (FCO20) a 52,6 g 100g⁻¹ (PEN30), enquanto que a proteína digestível apresentou um valor médio de 32 g 100g⁻¹ e variou de 27,2 (FVI30) a 39,0 g 100g⁻¹ (FPX30). O extrato etéreo foi em média 9,0 g 100g⁻¹ e variou de 6,2 (CPS30) a 10,6 (FVI30). A fibra bruta foi o componente com a menor participação no conteúdo das dietas e apresentou um valor médio de 0,7 g 100g⁻¹, variando de 0,4 na FPX20 e FPX30, por exemplo, a 1,4 g 100g⁻¹ no CPS30. Os extratos não nitrogenados apresentaram valores similares e próximos a 30 g 100g⁻¹ em todas as dietas enquanto que o material mineral foi maior nas dietas contendo FCO e menor nas dietas contendo GLM e PEN. A energia bruta também apresentou valores similares e próximos a 20 MJ kg⁻¹ em todas as dietas enquanto que a energia digestível foi em média 20 MJ kg⁻¹, sendo maior nas dietas contendo FPX, CPS e GLM (Tabela 6.1).

Desempenho dos camarões

O sistema experimental não afetou significativamente o crescimento em g semana⁻¹ dos camarões submetidos aos diferentes tratamentos, contrário ao observado em relação à taxa de crescimento específico (TCE), que corresponde ao crescimento relativo, já que os animais nas duas rodadas apresentaram pesos iniciais diferentes, e reflete, portanto, o crescimento dos camarões nas duas rodadas experimentais separadamente. Nos camarões dos tratamentos realizados na primeira rodada, o crescimento, tanto em g semana⁻¹ como a TCE, foi superior ao dos camarões dos tratamentos realizados na segunda rodada. O crescimento, tanto em g semana⁻¹ como a TCE, em cada um dos sistemas não foi influenciado pela rodada (Tabela 6.3).

Tabela 6.3. ANOVA de duas vias ($P < 0,05$) para os efeitos do sistema experimental e da rodada no crescimento em g semana⁻¹ e na taxa de crescimento específico (TCE) de juvenis de camarão *L. vannamei* alimentados com dietas contendo diferentes ingredientes protéicos em sistema de recirculação.

	g semana ⁻¹	TCE
	<i>P</i>	<i>P</i>
SISTEMA	0,422455ns	0,032719*
RODADA	0,002714*	0,000000*
SISTEMA*RODADA	0,898840ns	0,438847ns

*diferença significativa ($P < 0,05$), ns – não há diferença significativa.

O tipo de ingrediente afetou significativamente o crescimento, sobrevivência e fator de conversão alimentar dos camarões, ao contrário do nível de inclusão que não exerceu nenhum efeito significativo no crescimento (g semana⁻¹ e TCE) dos camarões, da mesma forma que a interação entre os fatores: ingrediente *versus* nível de inclusão influenciou o desempenho dos camarões nos diferentes tratamentos (Tabela 6.4).

Tabela 6.4. Análise de variância (ANOVA) de 2 vias ($P < 0,05$) para os efeitos do ingrediente e do nível de inclusão no crescimento (g semana⁻¹, taxa de crescimento específico - TCE), fator de conversão alimentar e sobrevivência de juvenis de *Litopenaeus vannamei* alimentados com as dietas teste contendo seis ingredientes protéicos nos níveis de inclusão de 10%, 20% e 30% em sistema de recirculação.

	Crescimento	TCE	Conversão alimentar	Sobrevivência
Variáveis	<i>p</i>	<i>p</i>	<i>p</i>	<i>p</i>
INGREDIENTE	0,000117*	0,000000*	0,000000*	0,001611*
INCLUSÃO	0,444312ns	0,758880ns	0,654420ns	0,079312ns
INGREDIENTE x INCLUSÃO	0,381330ns	0,219850ns	0,167739ns	0,255300ns

*diferença significativa ($P < 0,05$), ns – não há diferença significativa.

Uma análise de cada tratamento mostrou que os camarões alimentados com as dietas teste FPX30 e CPS30 tiveram os maiores ganhos de peso em g semana⁻¹, os quais foram estatisticamente iguais entre si e aos demais tratamentos com exceção do GLM30, que foi estatisticamente inferior à FPX30 e CPS30 e numericamente inferior aos demais tratamentos. Já os resultados de crescimento em termos de taxa de crescimento específico (TCE) mostraram que os maiores crescimentos foram observados nos tratamentos realizados na primeira rodada com destaque para a FPX e CPS (em todas as inclusões) e a FVI10 e os menores crescimentos foram observados na

segunda rodada (Tabela 6.5). As figuras 6.1 e 6.2 mostram os resultados de crescimento em g semana⁻¹ e a TCE, e enquanto na primeira figura se observa uma pequena diferença entre os crescimentos em g semana⁻¹, na segunda esta diferença é mais nítida já que é expressa em termos relativos. Apesar de não haver diferenças estatísticas significativas, as taxas de crescimento tenderam a diminuir com o aumento do nível de inclusão em todas as dietas, exceto nas dietas FPX e CPS cujas taxas de crescimento foram mais altas. A sobrevivência dos camarões nos diferentes tratamentos não apresentou diferenças estatísticas significativas enquanto que o FCA apresentou resultados variáveis sendo, de forma geral, menor na primeira rodada com destaque para os tratamentos FPX30, que registrou o valor mais baixo, seguido pelo FPX10 e pela dieta referência na primeira rodada, enquanto que os maiores FCA foram observados nos tratamentos GLM10, GLM30 e FCO30, os quais não foram estatisticamente diferentes entre si (Tabela 6.5 e Figuras 6.1, 6.2, 6.3 e 6.4).

Tabela 6.5. Peso inicial e final, crescimento (g semana⁻¹, ganho de peso em % e taxa de crescimento específico - TCE), sobrevivência e conversão alimentar de juvenis do *Litopenaeus vannamei* alimentados com dietas contendo ingredientes protéicos nas inclusões de 10, 20 e 30% expressos como média ± desvio padrão¹

Trat	Peso inicial (g)	dp	Peso final (g)	dp	g semana ⁻¹	dp	Ganho%	dp	TCE	dp	Sobrevivência %	dp	FCA	dp
REF R1	○ 4,77	± 0,06	○ 11,37	± 0,49	● 1,36	± 0,09 ^{ab}	● 138,4	± 7,53 ^{abcd}	● 2,55	± 0,09 ^{ab}	● 97,1	± 1,21 ^a	○ 1,47	± 0,15 ^{ab}
FPX10	○ 4,63	± 0,32	○ 11,50	± 0,52	● 1,46	± 0,04 ^{ab}	● 148,5	± 6,28 ^{abcd}	● 2,76	± 0,08 ^{ab}	● 92,6	± 1,29 ^a	○ 1,47	± 0,05 ^{ab}
FPX20	○ 4,63	± 0,68	○ 11,67	± 1,07	● 1,46	± 0,07 ^{ab}	● 153,2	± 14,72 ^{abc}	● 2,76	± 0,18 ^{ab}	● 86,5	± 9,75 ^a	○ 1,73	± 0,40 ^{abcde}
FPX30	○ 4,90	± 0,26	● 12,27	± 1,11	● 1,55	± 0,17 ^a	● 150,1	± 12,12 ^{abc}	● 2,75	± 0,14 ^{ab}	● 94,7	± 1,08 ^a	○ 1,36	± 0,16 ^a
CPS10	○ 4,60	± 0,40	○ 10,90	± 1,31	● 1,34	± 0,19 ^{ab}	● 136,5	± 8,93 ^{bcd}	● 2,61	± 0,12 ^{ab}	● 97,6	± 2,38 ^a	○ 1,58	± 0,31 ^{abcd}
CPS20	○ 4,17	± 0,49	○ 10,69	± 0,28	● 1,36	± 0,06 ^{ab}	● 158,7	± 28,51 ^{ab}	● 2,81	± 0,29 ^{ab}	○ 80,3	± 17,70 ^a	● 2,29	± 0,95 ^{abcdef}
CPS30	○ 4,90	± 0,40	● 12,08	± 0,87	● 1,49	± 0,13 ^a	● 175,1	± 23,74 ^a	● 3,03	± 0,29 ^a	● 90,2	± 8,09 ^a	○ 1,67	± 0,20 ^{abcd}
FVI10	○ 4,63	± 0,12	○ 10,87	± 0,42	● 1,31	± 0,09 ^{ab}	● 134,7	± 13,82 ^{bcd}	● 2,56	± 0,14 ^{ab}	● 95,3	± 4,36 ^a	○ 1,62	± 0,20 ^{abcd}
FVI20	○ 5,00	± 0,46	○ 10,57	± 0,68	● 1,24	± 0,19 ^{ab}	● 111,9	± 10,28 ^d	● 2,37	± 0,26 ^b	● 85,6	± 2,38 ^a	● 2,05	± 0,48 ^{abcdef}
FVI30	○ 4,73	± 0,24	○ 10,82	± 0,48	● 1,26	± 0,13 ^{ab}	● 120,1	± 10,77 ^{cd}	● 2,36	± 0,14 ^b	● 91,4	± 6,17 ^a	○ 1,75	± 0,07 ^{abc}
REF R2	● 11,05	± 0,73	● 16,97	± 0,90	● 1,35	± 0,02 ^{ab}	○ 53,6	± 2,15 ^c	○ 1,40	± 0,06 ^c	○ 82,4	± 4,07 ^a	● 2,72	± 0,32 ^{bcdef}
GLM10	● 10,10	± 0,37	● 15,43	± 0,53	● 1,27	± 0,04 ^{ab}	○ 52,7	± 2,12 ^c	○ 1,44	± 0,02 ^c	○ 80,0	± 5,29 ^a	● 3,40	± 0,84 ^f
GLM20	● 9,87	± 0,86	● 15,14	± 1,13	● 1,24	± 0,12 ^{ab}	○ 53,6	± 4,41 ^c	○ 1,45	± 0,10 ^c	○ 82,0	± 7,21 ^a	● 2,47	± 0,62 ^{abcdef}
GLM30	● 10,02	± 2,07	● 14,69	± 1,93	○ 1,09	± 0,11 ^b	○ 48,6	± 15,09 ^c	○ 1,31	± 0,33 ^c	○ 82,9	± 3,84 ^a	● 3,32	± 0,14 ^f
FCO10	● 10,47	± 0,35	● 16,28	± 0,54	● 1,34	± 0,04 ^{ab}	○ 55,6	± 2,31 ^c	○ 1,46	± 0,04 ^c	○ 82,7	± 2,31 ^a	● 2,74	± 0,28 ^{bcdef}
FCO20	● 10,10	± 0,07	● 15,33	± 0,42	● 1,20	± 0,13 ^{ab}	○ 51,8	± 4,77 ^c	○ 1,36	± 0,13 ^c	○ 83,4	± 2,27 ^a	● 3,03	± 0,54 ^{ef}
FCO30	● 10,21	± 0,65	● 15,18	± 1,08	○ 1,17	± 0,07 ^{ab}	○ 48,7	± 1,33 ^c	○ 1,34	± 0,04 ^c	○ 81,6	± 3,93 ^a	● 3,12	± 0,10 ^f
PEN10	● 10,14	± 0,97	● 15,80	± 0,74	● 1,35	± 0,22 ^{ab}	○ 56,7	± 15,35 ^c	○ 1,52	± 0,29 ^c	○ 81,3	± 2,31 ^a	● 2,85	± 0,74 ^{cdef}
PEN20	● 10,42	± 0,54	● 15,93	± 0,51	● 1,27	± 0,10 ^{ab}	○ 53,1	± 7,86 ^c	○ 1,40	± 0,12 ^c	● 84,2	± 6,53 ^a	● 2,92	± 0,65 ^{cdef}
PEN30	● 11,30	± 0,35	● 16,72	± 1,07	● 1,25	± 0,16 ^{ab}	○ 48,0	± 7,32 ^c	○ 1,29	± 0,12 ^c	○ 83,3	± 2,31 ^a	● 2,94	± 0,22 ^{def}

¹Valores seguidos pela mesma letra em uma mesma coluna não diferem entre si estatisticamente (P < 0,05). CPS (n=6), FVI (n=4). REF – Referência, FPX – farinha de peixe, CPS – concentrado protéico de soja, FVI – farinha de vísceras de frango com baixa gordura, GLM – glúten de milho, FCO – farinha de carne e ossos e PEN – farinha de penas hidrolisadas. Círculos cheios e vazios representam os maiores e menores valores encontrados, respectivamente.

Figura 6.1. Crescimento (g sem^{-1}) de juvenis do *Litopenaeus vannamei* alimentados com as dietas REF – referência, FPX – farinha de peixe, CPS – concentrado protéico de soja, FVI – farinha de vísceras de frango com baixa gordura, GLM – glúten de milho, FCO – farinha de carne e ossos e PEN – farinha de penas hidrolisadas nas inclusões de 10, 20 e 30%. Valores médios e barras de erro (dp).

Figura 6.2. Taxa de crescimento específico de juvenis do *Litopenaeus vannamei* alimentados com as dietas REF – referência, FPX – farinha de peixe, CPS – concentrado protéico de soja, FVI – farinha de vísceras de frango com baixa gordura, GLM – glúten de milho, FCO – farinha de carne e ossos e PEN – farinha de penas hidrolisadas nas inclusões de 10, 20 e 30%. Valores médios e barras de erro (dp).

Figura 6.3. Fator de conversão alimentar de juvenis do *Litopenaeus vannamei* alimentados com as dietas REF – referência, FPX – farinha de peixe, CPS – concentrado protéico de soja, FVI – farinha de vísceras de frango com baixa gordura, GLM – glúten de milho, FCO – farinha de carne e ossos e PEN – farinha de penas hidrolisadas nas inclusões de 10, 20 e 30%. Valores médios e barras de erro.

Figura 6.4. Sobrevivência de juvenis do *Litopenaeus vannamei* alimentados com as dietas REF – referência, FPX – farinha de peixe, CPS – concentrado protéico de soja, FVI – farinha de vísceras de frango com baixa gordura, GLM – glúten de milho, FCO – farinha de carne e ossos e PEN – farinha de penas hidrolisadas nas inclusões de 10, 20 e 30%. Valores médios e barras de erro.

As taxas de eficiência protéica bruta (TEPB) e eficiência protéica digestível (TEPD) foram maiores na primeira rodada do que na segunda e em cada rodada os valores foram observados nas dietas referência. Entre os ingredientes avaliados na primeira rodada a farinha de peixe se destacou com os valores mais altos e o concentrado protéico de soja e a farinha de vísceras de frango apresentaram as mesmas médias. Na segunda rodada os maiores valores foram observados na farinha de carne e ossos seguida pela farinha de penas hidrolisadas. A TEPD foi maior para a farinha de vísceras de aves, seguida pela farinha de peixe enquanto que entre os ingredientes da segunda rodada a farinha de penas hidrolisadas apresentou as maiores taxas, seguida pela farinha de carne e ossos. Uma análise dos dados relativos através da taxa de eficiência protéica bruta relativa (TEPB-R) mostra que os valores mais altos foram aqueles da farinha de carne e ossos, farinha de peixe e farinha de penas hidrolisadas e glúten de milho apresentou os valores mais baixos. Em relação à TEPD-R, não houve diferença entre os valores observados nos diversos tratamentos (Tabela 6.6, Figura 6.5).

Tabela 6.6. Taxa de eficiência protéica bruta (TEPB), taxa de eficiência protéica digestível (TEPD), taxa de eficiência protéica bruta relativa (TEPB-R) e taxa de eficiência protéica digestível relativa (TEPD-R) de juvenis do *Litopenaeus vannamei* alimentado com dietas contendo diferentes ingredientes nos níveis de inclusão de 10, 20 e 30% expressos como média $\pm$ desvio padrão¹

	TEPB		TEPB-R		TEPD		TEPD-R	
REF1	● 1,63		● 1,0		● 2,01		● 1,0	
FPX10	● 1,50	ab	● 0,92	ab	● 1,84	abcd	● 0,92	a
FPX20	● 1,25	abcdef	● 0,77	abcd	● 1,57	abcdef	● 0,78	a
FPX30	● 1,45	abc	● 0,89	abc	● 1,76	abcde	● 0,88	a
CPS10	● 1,47	ab	● 0,90	abc	● 1,78	abcde	● 0,89	a
CPS20	● 1,05	bcdefg	● 0,64	bcd	● 1,28	bcdef	● 0,64	a
CPS30	● 1,18	abcdef	● 0,73	bcd	● 1,40	bcdef	● 0,70	a
FVI10	● 1,41	abcd	● 0,87	ab	● 1,90	abc	● 0,95	a
FVI20	● 1,10	abcdefg	● 0,67	abcd	● 1,54	abcdef	● 0,77	a
FVI30	● 1,19	abcdf	● 0,73	a	● 2,00	a	● 1,00	a
REF2	○ 0,88		● 1,0		○ 1,18		● 1,0	
GLM10	○ 0,68	g	○ 0,77	d	○ 0,97	f	○ 0,82	a
GLM20	○ 0,67	g	○ 0,76	d	○ 0,97	f	○ 0,82	a
GLM30	○ 0,61	g	○ 0,70	d	○ 0,90	f	○ 0,76	a
FCO10	○ 0,85	defg	● 0,96	bcd	○ 1,15	def	● 0,98	a
FCO20	○ 0,80	efg	● 0,91	cd	○ 1,07	ef	● 0,91	a
FCO30	○ 0,71	eg	○ 0,80	cd	○ 1,03	ef	● 0,87	a
PEN10	○ 0,79	efg	● 0,89	bcd	○ 1,15	def	● 0,98	a
PEN20	○ 0,70	eg	○ 0,79	bcd	○ 1,16	cdef	● 0,98	a
PEN30	○ 0,62	g	○ 0,70	cd	○ 1,07	ef	● 0,91	a

¹Valores seguidos pela mesma letra em uma mesma coluna não diferem entre si estatisticamente ($P < 0,05$). REF – Referência, FPX – farinha de peixe, CPS – concentrado protéico de soja, FVI – farinha de vísceras de frango com

baixa gordura, GLM – glúten de milho, FCO – farinha de carne e ossos e PEN – farinha de penas hidrolisadas. Valores 10, 20 e 30 após os códigos das dietas indicam os níveis de inclusão. Círculos cheios e vazios representam os maiores e menores valores encontrados, respectivamente.

Figura 6.5. Taxa de eficiência protéica bruta relativa (TEPB-R) e taxa de eficiência protéica digestível relativa (TEPD-R) de juvenis do *Litopenaeus vannamei* alimentado com dietas REF – referência, FFX – farinha de peixe, CPS – concentrado protéico de soja, FVI – farinha de vísceras de frango com baixa gordura, GLM – glúten de milho, FCO – farinha de carne e ossos e PEN – farinha de penas hidrolisadas nas inclusões de 10, 20 e 30%.

A oferta diária de proteína bruta calculada a partir da quantidade média de proteína oferecida por dia dividido pela biomassa média não apresentou diferenças entre os diversos tratamentos, ao contrário do que foi observado em relação à proteína digestível onde os camarões dos tratamentos CPS20 e CPS30 apresentaram uma oferta diária média de proteína superior aos demais tratamentos, muito embora não tenha sido significativa, enquanto que os camarões do tratamento FVI30 apresentaram a menor oferta diária entre todos os tratamentos (Tabela 6.7).

Tabela 6.7. Oferta média diária de proteína bruta e proteína digestível de juvenis do *Litopenaeus vannamei* alimentado com dietas contendo diferentes ingredientes nos níveis de inclusão de 10, 20 e 30% expressos como média $\pm$ desvio padrão¹

Dieta		g PB / Kg / dia ⁴		dp		g PD / Kg / dia ⁵		dp	
FPX10		21,7	$\pm$	1,06	^a		17,7	$\pm$	0,86 ^{ab}
FPX20		24,9	$\pm$	4,92	^a		19,9	$\pm$	3,93 ^{ab}
FPX30		22,2	$\pm$	2,08	^a		18,3	$\pm$	1,71 ^{ab}
CPS10		22,0	$\pm$	3,61	^a		18,2	$\pm$	2,98 ^{ab}
CPS20		28,8	$\pm$	9,92	^a		23,6	$\pm$	8,12 ^a
CPS30		28,3	$\pm$	5,78	^a		24,0	$\pm$	4,90 ^a
FVI10		22,0	$\pm$	2,29	^a		16,3	$\pm$	1,70 ^{ab}
FVI20		27,5	$\pm$	1,87	^a		19,6	$\pm$	1,33 ^{ab}
FVI30		24,2	$\pm$	0,20	^a		14,3	$\pm$	0,12 ^b
GLM10		25,3	$\pm$	1,64	^a		17,7	$\pm$	1,14 ^{ab}
GLM20		26,5	$\pm$	0,49	^a		18,3	$\pm$	0,34 ^{ab}
GLM30		27,2	$\pm$	2,97	^a		18,5	$\pm$	2,02 ^{ab}
FCO10		21,8	$\pm$	1,30	^a		16,0	$\pm$	0,95 ^{ab}
FCO20		21,9	$\pm$	1,52	^a		16,3	$\pm$	1,14 ^{ab}
FCO30		23,0	$\pm$	2,54	^a		15,8	$\pm$	1,74 ^{ab}
PEN10		25,0	$\pm$	1,76	^a		17,1	$\pm$	1,20 ^{ab}
PEN20		26,1	$\pm$	1,78	^a		15,6	$\pm$	1,07 ^{ab}
PEN30		27,4	$\pm$	1,17	^a		15,7	$\pm$	0,67 ^{ab}

¹Valores seguidos pela mesma letra em uma mesma coluna não diferem entre si estatisticamente ($P < 0,05$). ²CPS (n=6), FVI (n=4). ³REF – Referência, FPX – farinha de peixe, CPS – concentrado protéico de soja, FVI – farinha de vísceras de frango com baixa gordura, GLM – glúten de milho, FCO – farinha de carne e ossos e PEN – farinha de penas hidrolisadas, ⁴Círculos cheios e vazios representam os maiores e menores valores encontrados, respectivamente. ⁴grama de proteína bruta na dieta por Kg de massa corporal por dia = (Consumo de ração no período / dias de cultivo) x proteína bruta da ração / biomassa média. ⁵grama de proteína digestível por Kg de massa corporal por dia = (Consumo de ração no período / dias de cultivo) x proteína digestível da ração / biomassa média

Desempenho dos camarões no teste longo

No teste longo, após 8 semanas o desempenho dos camarões alimentados com as dietas contendo concentrado protéico de soja na inclusão de 30% (CPS30) e farinha de vísceras de frango na inclusão de 30% (FVI30) não apresentaram diferenças estatísticas significativas no crescimento em g semana⁻¹ e nem TCE, bem como na sobrevivência e fator de conversão alimentar, muito embora numericamente os valores obtidos para o

CPS30 tenham sido superiores aos valores observados para a FVI30 (Figura 6.6, Tabela 6.8).

Figura 6.6. Crescimento g semana⁻¹, taxa de crescimento específico (TCE), sobrevivência e fator de conversão alimentar (FCA) dos camarões *Litopenaeus vannamei* alimentados com as dietas concentrado protéico de soja incluída a 30% - CPS30 e farinha de vísceras de frango incluída a 30% - FVI30 após 8 semanas. Valores médios e barras de erro.

Tabela 6.8. Peso inicial (Pi g), crescimento semanal g semana⁻¹, taxa de crescimento específico (TCE) e sobrevivência (%) de juvenis do *L. vannamei* alimentados com as dietas teste CPS30 e FVI30 durante o experimento de longa duração nas semanas 1 a 4; 5 a 8 e 1 a 8.

	Semana 1 a 4				Semana 5 a 8				Semana 1 a 8			
	Pi(g)	g sem ⁻¹	TCE	FCA	g sem ⁻¹	TCE	FCA	Pf(g)	g sem ⁻¹	TCE	Sob%	FCA
CPS30	5,09	1,38	2,47	1,45	1,44	1,47	2,39	16,53	1,40	2,07	87,2	1,77
dp	1,00	0,05	0,05	0,42	0,14	0,16	0,34	1,73	0,04	0,08	7,0	0,23
FVI30	4,43	1,26	2,57	1,68	1,22	1,40	3,41	14,57	1,24	2,10	88,0	2,21
dp	1,23	0,19	0,50	0,06	0,05	0,01	1,47	1,60	0,13	0,30	15,1	0,32

OBS.: Os dados não apresentaram diferenças estatísticas significativas entre si ($P < 0,05$).

Correlações entre o desempenho e a composição da dieta, disponibilidade de aminoácidos e ingestão de proteína

A correlação entre os níveis de proteína bruta, energia bruta, fibra bruta, extrato etéreo e material mineral das dietas teste e a taxa de crescimento semanal em g sem⁻¹ não foram significativas ($P = 0,4767$, $P = 0,9473$, $P = 0,2483$, $P = 0,1809$ e $P = 0,4854$, respectivamente), ao contrário do que foi observado em relação à proteína digestível, energia digestível e relação proteína digestível: energia digestível que apresentaram correlações estatísticas significativas e positivas com a taxa de crescimento (Tabela 6.9).

Tabela 6.9. Correlações a taxa de crescimento semanal (g semana⁻¹) e a composição centesimal, energia bruta, proteína e energia digestível e relação proteína digestível: energia digestível das dietas teste contendo diferentes ingredientes nos níveis de inclusão de 10, 20 e 30% para juvenis de *Litopenaeus vannamei*. Valores expressos em g 100g⁻¹ exceto quando especificado. As correlações foram significativas quando $P < 0,05$.

Índice	<i>P</i>	<i>r</i>	<i>r</i> ²
Proteína bruta	0,4767	0,17923	0,0321
Energia bruta (MJ Kg ⁻¹)	0,9473	0,01678	0,0003
Fibra bruta	0,2483	0,28697	0,0824
Extrato etéreo	0,1809	-0,33020	0,1090
Matéria mineral	0,4854	-0,17580	0,0309
Proteína digestível	0,0000	0,59907	0,3589
Energia digestível (MJ Kg ⁻¹)	0,0069	0,36359	0,1322
Proteína digestível: Energia digestível	0,0000	0,58771	0,3454

Foi verificada uma correlação significativa entre o crescimento e o AA score da MET + AA score da LIS das dietas, ao contrário da correlação entre o crescimento e o AA score médio das dietas e o crescimento e o déficit de AA das dietas. Também foi significativa a correlação entre o crescimento e as disponibilidades aparentes da MET, LIS e da soma ARG+LIS+MET, bem como entre o crescimento e a soma dos aminoácidos digestíveis das dietas (Tabela 6.10).

A taxa de eficiência protéica bruta (TEPB) apresentou correlação significativa ($P = 0,0000$, $r^2 = 0,3170$) e positiva com o ganho de peso, o que também foi observado em relação à taxa de eficiência protéica digestível (TEPD), muito embora o coeficiente de determinação tenha sido inferior ($P = 0,0012$, $r^2 = 0,1727$). Os coeficientes relativos

apresentaram comportamento semelhante para a proteína bruta, TEPB-R ($P = 0,0012$, $r^2 = 0,1727$) e proteína digestível, TEPD – R enquanto que a taxa de eficiência protéica digestível relativa, TEPD-R não tenha sido significativa ($P = 0,3608$, $r^2 = 0,0149$).

Tabela 6.10. Correlações entre o crescimento e: AA escore da metionina mais o AA escore da lisina, crescimento, AA escore médio, déficit de AAs e coeficientes de digestibilidade da metionina, lisina, ARG+LIS+MET e a soma dos AAs disponíveis nas dietas teste contendo diferentes ingredientes nos níveis de inclusão de 10, 20 e 30% para juvenis de *Litopenaeus vannamei*. As correlações foram significativas quando $P < 0,05^{-1}$.

Índice	P	r	r ²
AA escore MET + LIS	0,0115	0,32161	0,1034
AA escore médio	0,2389	-0,1571	0,0247
Déficit de AAs	0,1727	-0,1769	0,0313
DAaa MET	0,0169	0,3126	0,0977
DAaa LIS	0,0175	0,31100	0,0967
DAaa ARG+LIS+MET	0,0138	0,32162	0,1034
Soma AAE Digestíveis	0,0107	0,5854	0,3427

As correlações entre a taxa de crescimento (g semana⁻¹) e a oferta diária de proteína bruta (g PB/ Kg/ dia) e proteína digestível (g PD/ Kg/ dia) não foram significativas ($P = 0,1779$ e $P = 0,2603$). A oferta diária de proteína digestível apresentou uma correlação significativa e ascendente com a relação proteína digestível: energia digestível das dietas teste ($P = 0,0004$, $r^2 = 0,2131$).

6.4. Discussão

Qualidade da água

Os parâmetros de qualidade da água nos dois sistemas experimentais ao longo dos ensaios de digestibilidade estiveram dentro dos valores recomendados, ou seja: oxigênio dissolvido acima de 3,0 mgL⁻¹ (Seidman e Lawrence, 1985), salinidade e temperatura na faixa de 28 a 30°C e 33 a 40ppt, respectivamente (Ponce-Palafox et al., 1997), amônia não-ionizada (NH_{3-un}) inferior a 0,16 mgL⁻¹ (Lin e Chen, 2001), nitrito (NO₂) menor que 25,7 mgL⁻¹ (Lin and Chen 2003) e NO₃ abaixo de 220 mg L⁻¹ (Kuhn et al., 2010).

Uma discussão mais detalhada sobre os parâmetros de água analisados é apresentada no item 5.4. Discussão, do capítulo 5, especialmente em relação à proteína e seus possíveis efeitos no crescimento, consumo de alimento e digestibilidade dos camarões.

Desempenho dos camarões

O desempenho médio dos animais foi próximo a $1,4 \text{ g sem}^{-1}$ e está acima do crescimento mínimo de $0,9 \text{ g sem}^{-1}$ sugerido por Fox et al. (2006) para pesquisas sobre exigências nutricionais do *L. vannamei* e dentro da faixa observada em outros trabalhos em água clara, sistema heterotrófico e com água verde, tais como o estudo realizado por Tacon et al. (2002) em sistema indoor com renovação e em sistema de troca zero com o *L. vannamei* cujos crescimentos foram $0,45$ a $0,64$ e $1,90$ a $2,16 \text{ g sem}^{-1}$, respectivamente. Wasielesky et al. (2006) registraram taxas de crescimento entre $0,86$ a $1,26 \text{ g sem}^{-1}$ na densidade de $300 \text{ camarões m}^{-2}$ alimentados com rações contendo 350 g Kg^{-1} em água clara e em água contendo flocos microbianos, respectivamente. Lemos e Nunes (2007) realizaram um estudo com o *L. vannamei* cultivado em água clara na densidade de 114 m^2 e alimentados com rações comerciais contendo 348 a 371 g Kg^{-1} de proteína bruta e verificaram taxas de crescimento entre $0,56$ a $0,98 \text{ g sem}^{-1}$, Ray et al., (2010) avaliaram o crescimento do *L. vannamei* em sistema super-intensivo com troca mínima e remoção de sólidos alimentados com rações à base de farinha de peixe e proteína vegetal e cerca de 350 a 400 g Kg^{-1} de proteína e os resultados mostraram taxas de crescimento entre $0,89$ e $0,86 \text{ g sem}^{-1}$, para as dietas à base de peixe e vegetais, respectivamente. Vasagan et al. (2009) obteve taxas de crescimento entre $1,19$ e $2,46 \text{ g sem}^{-1}$ para o *Litopenaeus stylirostris* em microcosmos com remoção de sólidos e alimentados com rações com níveis de proteína acima de 400 g Kg^{-1} sob diferentes regimes alimentares; Huai et al. (2010) obtiveram crescimentos ao redor de $0,7 \text{ g sem}^{-1}$ em tanques para estudos de digestibilidade em água clara com renovação limitada. Os crescimentos obtidos neste estudo são compatíveis com os crescimentos verificados nas fazendas de camarão no Brasil, que variam entre $0,7$ a $1,4 \text{ g sem}^{-1}$ e ainda contam com um aporte de alimento natural o que indica que as condições experimentais deste estudo foram adequadas.

A sobrevivência nos ensaios variou de 80,0% a 97,6% e apesar de não ter havido diferença estatística significativa entre os tratamentos de forma individual, os valores foram maiores na primeira rodada do que na segunda rodada e não apresentaram correlação significativa com o ganho de peso ($P = 0,4009$), o que poderia indicar um efeito da densidade no ganho de peso (Smith et al., 1985). O motivo para a menor sobrevivência na segunda rodada pode ser a maior incidência de mortalidades por fuga uma vez que os camarões estavam maiores e os seus saltos eram mais altos e embora os tanques possuísem cobertura alguns camarões escapavam pela abertura por onde caía o alimento.

O uso de tabelas de alimentação para camarões marinhos deve ser feito com cautela, uma vez que as recomendações são genéricas e podem resultar em fatores de conversão alimentar elevados (Markey et al., 2010), como observado neste estudo onde o fator de conversão alimentar apresentou variações nas duas rodadas. Na primeira rodada os valores foram inferiores à 2, o que pode ser considerado satisfatório em um sistema intensivo com alimentação exclusiva por ração. Na segunda rodada os valores foram, em geral, superiores aos da primeira rodada possivelmente em função da oferta de alimento em excesso. Os valores de tabela utilizados (Forster et al., 2003) resultaram em fatores de conversão alimentar adequados na primeira rodada porém este fato não se repetiu na segunda rodada.

Composição das dietas e desempenho

As dietas teste utilizadas na avaliação dos ingredientes alvo deste estudo apresentaram diferenças expressivas na sua composição e a possível efeito destas diferenças nos resultados de desempenho é discutível. O fato de que as correlações entre os níveis de proteína bruta, energia bruta, fibra bruta, lipídeos e material mineral das dietas experimentais e o crescimento não terem sido significativas poderia sugerir que os resultados obtidos não foram influenciados pela composição da dieta em relação à estes componentes, entretanto, a proteína e a energia digestível apresentaram correlações positivas e significativas com a taxa de crescimento.

A maioria dos estudos sobre substituição de farinha de peixe parte do princípio de que as dietas experimentais são isoprotéicas e isoenergéticas, mas não consideram a

proteína e a energia digestível, provavelmente devido à escassez de dados, e a utilização de proteínas de baixa digestibilidade ou valor biológico pode resultar em exigências protéicas super estimadas (Guillaume, 1997) e desta forma dietas com níveis similares de proteína bruta vão causar diferenças significativas óbvias em tratamentos contendo proteínas digestíveis distintas enquanto que a utilização de níveis similares de proteína digestível isolariam este efeito e evidenciariam os efeitos dos ingredientes. Um outro aspecto que merece atenção diz respeito ao nível da farinha de peixe a ser substituído que é muito variável e pode induzir à conclusões incertas uma vez que a substituição de 50% da farinha de peixe em uma dieta contendo 10% de farinha de peixe é muito diferente da substituição de dos mesmos 50% em uma dieta contendo 20% de farinha de peixe.

Neste estudo as dietas experimentais foram formuladas para a determinação da digestibilidade de ingredientes alternativos e devido às diferenças na composição dos ingredientes teste a formulação de dietas isoprotéicas e isoenergéticas só seria possível se diferentes dietas referência fossem elaboradas, o que limitaria consideravelmente o número de tratamentos. Apesar de suas diferenças, o nível de proteína bruta nas dietas experimentais parece não ter influenciado o desempenho dos camarões uma vez que as dietas teste PEN e FCO que apresentaram o maior e o menor teor de proteína bruta, respectivamente, apresentaram desempenhos estatisticamente iguais enquanto que as dietas teste contendo farinha de peixe (PEX) e glúten de milho (GLM) apesar de apresentaram níveis de proteína iguais registraram diferença estatística significativa em suas taxas de crescimento.

Estudos mostraram um aumento da taxa de crescimento de juvenis de *L. vannamei* com o incremento do nível de proteína da dieta em diferentes faixas e intervalos. O nível de proteína bruta de 31% resultou em um ganho de peso superior ao obtido no nível de 21% (McIntosh et al., 2000). Na faixa de 20 a 35% com intervalos de 5% o crescimento de *L. vannamei* foi mais alto no nível de 35%, sendo estatisticamente igual ao crescimento do nível de 25% e diferente do crescimento no nível de 30% (Cruz-Suárez et al., 2000). O crescimento de *L. vannamei* alimentados com rações comerciais contendo níveis de proteína na faixa de 25% a 40% com intervalos de 5% apresentou resultados semelhantes aos apresentados acima uma vez que o crescimento não apresentou diferenças significativas entre os tratamentos e foi mais altos nos níveis de proteína de 40, 30 e 25% do que no nível de proteína de 35%. No entanto vale

destacar que, neste caso, a composição das dietas comerciais não foi apresentada e uma eventual diferença na qualidade dos seus ingredientes pode ter influenciado os resultados (Gómez-Jiménez et al., 2005). Outro estudo avaliou dietas teste com os mesmos níveis de proteína, porém não verificou diferenças significativas no crescimento de *L. vannamei* em função do nível de proteína da dieta e nem interações entre a proteína e as salinidades de 2, 35 e 50‰ (Perez-Velazquez et al., 2007), o que contrasta com outros estudos que avaliaram o efeito do nível de proteína na dieta em diferentes salinidades e observaram que o crescimento foi maior nos camarões alimentados com dietas contendo níveis mais altos de proteína, sendo que dietas com níveis mais elevados de proteína resultam em melhores taxas de crescimento nas salinidades mais elevadas (Robertson et al., 1993; Zhu et al., 2010).

O efeito de níveis crescente de proteína (30 a 42% com intervalos de 4%) em diferentes níveis de lipídeos (5, 7,5 e 10%) no crescimento de juvenis de *L. vannamei* não foi significativo, exceto na comparação entre os níveis extremos de proteína, o que indica que o crescimento foi o mesmo na faixa de 34% a 42%, o que corresponde a uma amplitude de 8 pontos percentuais (Hu et al., 2008), inferior à amplitude encontrada na composição das dietas teste avaliadas no presente estudo, 12,5 ou 7,1 pontos percentuais com a exclusão das dietas contendo farinha de penas que apresentaram os maiores níveis de proteína bruta.

O crescimento de *L. vannamei* de diferentes tamanhos (4,0; 9,8 e 20,8g) alimentados com dietas contendo níveis de proteína em intervalos de 7% (22, 29 e 36%) e diferentes proporções de proteína de origem animal e vegetal foi mais influenciado pelo nível de proteína nos camarões menores do que nos médios e grandes, muito embora todos os tamanhos tenham apresentado um aumento de peso com o incremento do nível de proteína, enquanto que a origem da proteína exerceu uma maior influência no crescimento dos camarões maiores (Smith et al., 1985). Este comportamento foi semelhante ao observado neste estudo, conforme exposto anteriormente, uma vez que o crescimento dos camarões não apresentou correlação significativa com os níveis de proteína, contudo os crescimentos dos camarões nos tratamentos FPX30 e CPS30 foram superiores aos demais e significativamente superiores ao crescimento dos camarões no tratamento GLU30, que tiveram o pior desempenho, a despeito dos níveis similares de proteína bruta.

Uma amplitude de 7 pontos percentuais entre os níveis de proteína parece insuficiente para uma avaliação das exigências protéicas do *L. vannamei* (Kureshi e Davis, 2002) e com base nestas informações pode-se considerar que os níveis de proteína nas dietas teste não influenciaram significativamente o crescimento dos camarões.

As taxas de eficiência protéica bruta (TEPB) e digestível (TEPD) sofreram influencia da rodada experimental e do tipo de ingrediente. Na segunda rodada, a tabela de alimentação utilizada resultou em excesso de ração e como consequência o aumento dos fatores de conversão alimentar forçaram os valores de TEPB e TEPD para baixo. A maior correlação entre a TEPB do que a TEPD com o crescimento pode estar de alguma forma ligado ao fato de que o crescimento e a digestibilidade nem sempre apresentam correlação (Lee e Lawrence, 1997).

Os valores de TEPB encontrados neste estudo variaram de 1,05 a 1,63 na primeira a 0,62 a 0,88 na segunda rodada experimental e foram, de certa forma, superiores aos reportados em um estudo com juvenis de *L. vannamei* sobre a substituição da proteína de origem marinha por uma mistura de cevada e glúten de trigo no qual a TEPB variou de 1,0 para a dieta controle à base de proteína de origem marinha a 0,9; 0,8 e 0,5 nas dietas teste onde a proteína de origem marinha foi substituída por 33, 66 e 100% da mistura de cevada e glúten de trigo (Molina-Poveda e Morales, 2004) e inferiores aos valores reportados em um estudo sobre a substituição da farinha de peixe por farinha de subprodutos de frango em até 100% da farinha de peixe e que variaram de 1,82 no controle a 1,62 na substituição de 100% (Torstensen et al., 2008). A taxa de eficiência protéica de juvenis de *L. vannamei* alimentados com dietas substituindo a proteína de origem animal por farelo de soja variou de 1,48 no controle a 0,83 na dieta contendo apenas proteína vegetal (Lim e Dominy, 1990).

Os valores da taxa de eficiência protéica bruta foram mais altos e oscilaram entre 0,90 para o glúten de milho a 2,01 para a dieta referência na segunda rodada. Estes números são menores do que os valores reportados para o bacalhau, e que estiveram na faixa de 1,82 a 2,28 (Albrektsen et al., 2006).

Um aspecto importante a ser considerado é que a maioria dos estudos deu enfoque aos níveis de proteína bruta necessários na dieta ao invés de uma quantidade diária necessária de proteína na dieta, o que seria mais correto uma vez que uma dieta

com baixo nível de proteína pode ser compensada por uma maior ingestão e como consequência as exigências de proteína determinadas por meio da avaliação de níveis diferentes estão sujeitas a variações consideráveis (Kureshi e Davis, 2002). Estes autores concluíram que para o crescimento máximo de juvenis de *L. vannamei* seria exigida uma ingestão diária de proteína digestível (PD) igual a 20,5 g DP kg⁻¹ peso corporal dia⁻¹.

Neste estudo a oferta diária de proteína bruta (PB) variou de 21,7 a 28,8 gPB /Kg /dia e foi estatisticamente igual entre os tratamentos, sendo numericamente superior nos tratamentos CPS, GLM e PEN e inferior nos tratamentos FCO, comportamento diferente da oferta diária da PD que variou de 14,3 a 24,0 gPD /kg /dia e foi estatisticamente superior no CPS20 (23,6 gPD /kg /dia) e CPS30 (24 gPD /kg /dia) e inferior no FVI30 (14,3 gPD /kg /dia), sendo numericamente maior nos tratamentos CPS, FPX e GLM e inferior nos tratamentos FCO e PEN, que foram ingredientes com menor digestibilidade. Os valores médios de oferta diária de proteína digestível dos tratamentos CPS e FPX foram superiores aos demais e são próximos ao valor encontrado para o crescimento máximo do *L. vannamei* (Kureshi e Davis, 2002) e em adição, estes tratamentos foram os que apresentaram as maiores taxas de crescimento em g/semana, o que demonstra que a definição de um programa alimentar com base na oferta diária de proteína deve levar em conta a oferta de proteína digestível.

Efeito do ingrediente no desempenho dos camarões

O crescimento dos camarões alimentados com a dieta referência em g semana⁻¹ foi o mesmo nas duas rodadas experimentais o que indica que as condições experimentais foram semelhantes a ponto dos animais expressarem o mesmo potencial de crescimento. Os ganhos de peso em g semana⁻¹ dos camarões nos tratamentos realizados na primeira rodada de forma geral não apresentaram diferenças estatísticas significativas quando comparados aos ganhos de peso dos camarões na segunda rodada, com exceção do ganho de peso dos camarões do tratamento CPS30 que foi significativamente superior ao ganho de peso dos camarões do tratamento GLM30. O ganho de peso em g semana⁻¹ representa o ganho absoluto, independente do tamanho dos animais, o qual foi distinto nas duas rodadas. As avaliações do ganho de peso relativo, considerando o tamanho médio inicial e final dos animais, realizada através do

ganho de peso percentual em relação ao peso inicial (ganho%) e em relação à taxa de crescimento específico (TCE) que mede o crescimento % diário mostraram, que diferente do que é observado em relação ao ganho de peso em g semana⁻¹, o ganho de peso dos animais avaliados na segunda rodada foram significativamente inferiores ao ganho de peso dos animais avaliados na primeira rodada e não apresentaram diferenças estatísticas significativas entre si. Enquanto que a análise do ganho de peso absoluto permite a comparação dos crescimentos nas duas rodadas a mesma não leva em conta as diferenças de peso e idade dos indivíduos, o que é considerado na análise do ganho de peso relativo. Estas últimas análises evidenciam a redução da velocidade de crescimento dos juvenis de *L. vannamei* com a idade e separam os crescimentos obtidos nas duas rodadas em grupos distintos, ao contrário do ganho de peso absoluto, que por sua vez, é a medida mais utilizada na prática e mostra que o ganho de peso por indivíduo independente da rodada foi o mesmo quando se analisa os resultados obtidos com a dieta referência. Uma forma de comparar o crescimento em termos relativos dos camarões submetidos aos diferentes tratamentos nas duas rodadas seria a o cálculo da diferença percentual entre o crescimento dos camarões alimentados com cada dieta teste e o crescimento dos camarões alimentados com a dieta referência em cada rodada.

Muito embora não tenha havido diferença estatística, as taxas de crescimento médio (nas três inclusões) em g semana⁻¹ dos camarões alimentados com dietas nas três inclusões para cada ingrediente nas duas rodadas experimentais apresentou a seguinte ordem (do mais alto para o mais baixo): farinha de peixe > concentrado protéico de soja > farinha de penas hidrolizadas > farinha de vísceras de frango > farinha de carne e ossos > glúten de milho. Em termos de crescimento relativo, as taxas de crescimento específico médio (nas três inclusões) em % de ganho de peso dia⁻¹ apresentaram a seguinte ordem: concentrado protéico de soja > farinha de peixe > farinha de vísceras de frango > glúten de milho = farinha de penas hidrolizadas > farinha de carne e ossos. Os camarões alimentados com as dietas teste contendo farinha de peixe apresentaram as melhores taxas de crescimento, sobrevivência e fator de conversão alimentar em relação aos demais. A sua inclusão nas dietas mesmo em níveis reduzidos pode ajudar a superar as limitações existentes nos ingredientes de origem vegetal, seja equilibrando o balanço de aminoácidos e minerais, seja melhorando a palatabilidade ou contribuindo com alguns nutrientes essenciais inexistentes nos ingredientes de origem vegetal como a taurina e a carnosina (Hardy, 2006).

Considerando toda a farinha de peixe nas dietas teste, que é o resultado da soma da farinha de peixe da dieta referência com a farinha de peixe incluída como ingrediente teste, a inclusão deste ingrediente variou de 28% na inclusão de 10 a 44% na inclusão de 30% que foi o tratamento que apresentou a melhor taxa de crescimento ($1,5 \text{ g sem}^{-1}$). Nos estudos sobre substituição da farinha de peixe as dietas controle usualmente possuem um teor elevado de farinha de peixe e este tratamento na maioria dos casos resulta em taxas de crescimento superiores ou iguais aos crescimentos observados com as dietas contendo ingredientes alternativos, como pôde ser observado em diferentes trabalhos realizados com o *L. vannamei* onde a dieta controle possuía níveis de farinha de peixe iguais ou menores do que 15% (Molina-Póveda e Morales, 2004; Amaya et al., 2007a; Suárez et al., 2009; Sookying, 2010), entre 15 e 30% (Davis e Arnold, 2000; Forster et al., 2002; Forster et al., 2003; Huai et al., 2010; Mendoza et al., 2001; Samocha et al., 2004; Shuyan et al., 2009) e acima de 30% (Chookird et al., 2010; Paripatananont et al., 2001; Hernández et al., 2004; Hernández et al., (2008); Tan et al., 2005).

Alguns estudos demonstraram que dietas contendo ingredientes alternativos podem resultar em um desempenho compatível ou superior ao das dietas controle contendo farinha de peixe, muito embora o nível de farinha de peixe nestas dietas, via de regra, tenha sido inferior, o que sugere que uma dieta contendo baixos níveis de farinha de peixe pode apresentar um bom desempenho se apresentar um balanceamento adequando (Amaya et al., 2007a, Chi et al., 2009). Em dois estudos recentes, o uso de ingredientes pouco utilizados em dietas para camarões resultou em desempenhos superiores aos dos camarões alimentados com as dietas controle contendo farinha de peixe. Um deles foi o pinhão manso detoxificado que substituiu 50% da farinha de peixe incluído na dieta controle no nível de 49% (Harter et al., 2011). O segundo é a farinha de bioflocos que substituiu até 30% da farinha de peixe na inclusão de 15% da dieta (Kuhn et al., 2010).

Uma forma de melhorar a comparação entre os resultados obtidos nos diversos estudos seria que os trabalhos sobre substituição da farinha de peixe apresentassem os níveis de aminoácidos e informações padrão sobre a qualidade da farinha de peixe fossem detalhadas, uma vez que foi demonstrado que o uso de farinhas de peixe de baixa qualidade pode provocar reduções no crescimento de *L. vannamei* (Ricque-Marie et al., 1998).

O farelo de soja é um dos ingredientes chave na formulação de dietas para camarões marinhos em função da sua disponibilidade, teor de proteína e custo aceitável (Forster et al., 2002; Davis et al., 2004; Gatlin et al., 2007) no entanto o seu valor nutricional é em geral inferior ao das farinhas de peixe, o que limita o seu papel como substituto da farinha de peixe de alta qualidade, como demonstrado em um estudo com juvenis de *L. vannamei* no qual a substituição da proteína de origem marinha (53% de farinha de peixe, 32% de farinha de cabeça de camarão e 15% de farinha de lula) por farelo de soja causou diminuição no crescimento quando este ultrapassou 40% da proteína de origem marinha (Lim e Dominy, 1990). O farelo de soja substituiu até 75% da farinha de peixe em rações para o *Litopenaeus schimitti*, sem prejuízos ao desempenho, contudo a estabilidade do pelete foi prejudicada significativamente (Alvarez et al., 2007). Em um estudo mais recente o farelo de soja combinado com sorgo, glúten de milho e solúveis de grãos destilados (58/15/5/10%, respectivamente) substituiu a farinha de vísceras de frango incluída como único ingrediente de origem animal (Markey et al., 2010). Outros estudos sobre a substituição da farinha de peixe por ingredientes alternativos foram realizados utilizando o farelo de soja, porém os resultados foram inferiores àqueles observados nas dietas com maior percentual de proteína de origem animal (Cruz-Suárez et al., 2000).

Os resultados obtidos nos tratamentos contendo o concentrado protéico de soja como ingrediente teste foram os mais altos depois da farinha de peixe e o crescimento dos camarões acompanhou o aumento da sua inclusão. No teste de longa duração o desempenho dos camarões alimentados com a dieta CPS30 foi superior ao dos camarões alimentados com a dieta FVI30, apesar de não ter havido diferenças significativas. O concentrado protéico de soja possui nível de proteína similar ao da farinha de peixe e apesar de diferenças nos seus perfis de aminoácidos e devido ao fato de ser mais palatável do que o farelo de soja e pode ser considerado um substituto de alto valor nutricional. Apesar de seu potencial, existem poucos estudos sobre o uso do concentrado protéico de soja em substituição à farinha de peixe em dietas para camarões marinhos (Dersjant-Li, 2002). Um estudo com juvenis do *P. monodon*, pesando ao redor de 1,5g, avaliou a inclusão do concentrado protéico de soja em níveis de 0 a 35%, substituindo até 100% da farinha de peixe e concluiu que a inclusão do CPS no nível de 17,5% substituindo 50% da farinha de peixe não afetou o crescimento dos camarões (Paripatananont et al., 2001). A inclusão do concentrado protéico de soja, com ou sem

suplementação de lisina, substituindo até 75% da farinha de peixe não afetou o crescimento do *L. vannamei* (Forster et al., 2002). Um estudo mais recente concluiu que a inclusão do farelo de soja no nível de 41% e o concentrado protéico de soja incluído em níveis de até 10% em uma dieta sem farinha de peixe resultou no melhor desempenho em juvenis de *L. vannamei* (Sookying, 2010).

O isolado protéico de soja possui um teor de proteína próximo a 90%, mais elevado do que o concentrado protéico de soja, no entanto não se conhece ao certo o seu papel no desempenho do *L. vannamei* em relação ao CPS. Um estudo com juvenis do *L. vannamei* avaliou dietas contendo 23% e 46% de proteína bruta com substituições de até 100% da farinha de peixe pelo isolado protéico de soja e os resultados mostraram que este ingrediente substituiu até 90% da farinha de peixe sem prejudicar o ganho de peso (Gamboa-Delgado e Le Vay, 2009). As inclusões reportadas nestes estudos estão acima das recomendações de até 20% na dieta (Hertrampf e Piedad-Pascual, 2000; Tacon et al., 2009).

Em 2002, o concentrado protéico de soja foi cotado nos Estados Unidos em cerca de US\$ 750 a 1.100,00 ton⁻¹, o que era mais caro do que a farinha de peixe de alta qualidade, sendo que na época os autores previam que com as flutuações nos preços da farinha de peixe o concentrado protéico de soja se tornaria viável para a aquicultura (Forster et al., 2002). Em Março de 2011 o concentrado protéico de soja custava US\$ 718,60 ton⁻¹ no Brasil e a farinha de peixe *standard* do Chile US\$ 1.400,00 o que confirma a previsão daqueles autores e abre espaço para a inclusão de ingredientes com maior disponibilidade de nutrientes a custos menores.

A farinha de vísceras de frango tem sido alvo de estudos de substituição da farinha de peixe em dietas para peixes e camarões em função do seu perfil de aminoácidos, que na maioria dos casos é superior aos dos demais subprodutos de origem animal (Hardy, 2006). Os níveis de aminoácidos, proteína, gordura, cinzas e umidade da farinha de vísceras de frango são fortemente influenciados pelo tempo e temperatura do seu processo de fabricação (Awonorin et al., 1995) e as variações nos níveis de cinzas e na digestibilidade dos produtos de origem animal, seja a farinha de vísceras de frango ou a farinha de peixe, se deve à diversidade de matérias-primas, fornecedores e em diferentes condições de processamento que criam a necessidade da análise de cada lote antes da formulação das dietas (Hardy, 1996).

Neste estudo, o desempenho dos camarões alimentados com as dietas contendo farinha de vísceras de frango foi estatisticamente igual do dos demais tratamentos, no entanto, a média do crescimento nas três inclusões foi numericamente superior apenas às médias de crescimento da farinha de carne e ossos e do glúten de milho. O crescimento dos camarões não apresentou uma tendência evidente de aumento ou diminuição segundo o seu nível de inclusão e no teste de longa duração manteve um desempenho constante, exceto pelo aumento do FCA nas duas últimas semanas elevando o FCA final para 2,21.

A substituição de até 66,7% da farinha de peixe por farinha de vísceras de frango em dietas contendo 24,5% de farinha de peixe foi reportada para juvenis do *L. vannamei* (Cheng et al., 2002). Este valor é próximo ao percentual de 75% recomendado por Yu (2006), e maior do que o valor de 59% reportado por Tacon et al. (2010). A inclusão da farinha de vísceras de frango em substituição à farinha de peixe em níveis de até 50% não afetou o desempenho do *L. vannamei* (Cruz-Suárez et al., 2004). Um estudo mais recente obteve resultados semelhantes aos estudos anteriores ao verificar que até 70% da farinha de peixe pode ser substituída pela farinha de vísceras de frango, na inclusão de 20,1%, em dietas para o *L. vannamei* sem prejuízos ao desempenho (Chi et al., 2009). Neste estudo as inclusões de farinha de vísceras de frango foram 17,2%, 26,4% e 35,6% e a substituição da farinha de peixe chegou a 30% sem prejuízos ao crescimento.

Os estudos mostram que as farinhas de vísceras de frango podem substituir mais da metade da farinha de peixe em dieta para o *L. vannamei*, ou ser incluída em níveis de até 25% na dieta, um pouco acima da recomendação de até 20% (Hertrampf e Piedad-Pascual, 2000; Tacon et al., 2009), no entanto é importante destacar que a maioria dos estudos avaliou farinhas de vísceras de frango com qualidade superior à que foi utilizada neste estudo, ex. de grau pet.

Além da inclusão da farinha de vísceras em substituição à farinha de peixe, outros estudos avaliaram a inclusão de misturas contendo a farinha de vísceras. Um estudo avaliou a substituição da farinha de peixe por um co-extrusado de soja e farinha de frango e farinha de resíduos de frango *flash-dried* e verificou que até 80% da farinha de peixe pôde ser substituída pelos ingredientes sem prejuízos ao crescimento (Davis e Arnold, 2000). Um estudo posterior substituiu toda a farinha de peixe por co-extrusado

de soja e farinha de resíduos de frango suplementada com ovos e não verificou diferenças significativas em relação à ração comercial controle (Davis et al., 2004). A inclusão de 16% de farinha de vísceras de frango e 4,8% de glúten de milho em substituição à farinha de peixe incluída no nível de 9% não afetou o crescimento de *L. vannamei* (Amaya et al., 2007).

Entre os ingredientes avaliados neste estudo, a farinha de penas (PEN) é a que possui menos referências, talvez porque seja utilizada como um substituto parcial da farinha de peixe sendo, via de regra, combinada com outros ingredientes para balancear a dieta. Os diferentes métodos de processamento das penas na fabricação da farinha podem causar diferenças no valor nutricional do produto processado em relação à digestibilidade da proteína e dos aminoácidos (Boushy et al., 1990). Neste estudo, o crescimento de juvenis de *L. vannamei* alimentado com dietas teste com a farinha de penas hidrolisadas nas inclusões de 10, 20 e 30% foi inferior apenas ao crescimento dos camarões alimentados com FPX e CPS e diminuiu com o aumento da inclusão, muito embora não tenha havido diferença significativa em relação aos demais tratamentos.

Apenas um artigo publicado sobre a inclusão da PEN em dietas para juvenis de *L. vannamei* foi identificado e os autores avaliaram a farinha de penas hidrolisada por vapor e a farinha de penas tratada enzimaticamente, ambas combinadas ao farelo de soja em níveis de inclusão de 9 e 18% para o produto tratado enzimaticamente e 13,7% para o produto tratado com vapor. Os autores observaram que o crescimento, sobrevivência e conversão alimentar foi o mesmo em todos os tratamentos, porém o crescimento foi numericamente superior no tratamento controle, no tratamento no qual a farinha de penas foi tratada enzimaticamente a 60°C ou hidrolisada por vapor (Mendonza et al., 2001). Um trabalho recente e não publicado mostrou que a farinha de penas processada em baixa temperatura (LT Feather meal) substituiu 50% da farinha de peixe em uma dieta para juvenis do *L. vannamei* e o crescimento foi superior ao verificado no tratamento controle contendo 30% de farinha de peixe (Rebafka, 2011).

A digestibilidade da farinha de penas em salmonídeos vem aumentando nas últimas décadas na América do Norte, no entanto não há registros que indiquem a mesma tendência na América do Sul. A inclusão da farinha de penas hidrolisadas nas dietas é limitada a níveis que variam de 5% a 10% para camarões marinhos (Lawrence e

Castille, 1991; Tacon et al., 2009) e para animais aquáticos de forma geral (Hertrampf e Piedad-Pascual, 2000).

O glúten de milho é considerado uma excelente fonte de proteína para peixes e com alta digestibilidade (Hardy, 2000), o que não foi comprovado neste trabalho (Capítulo 5) e a inclusão recomendada deste ingrediente em dietas para crustáceos varia entre 3 e 9% (Tacon et al., 2009), provavelmente em função da sua deficiência em lisina e pela baixa palatabilidade, que são apontados como desvantagens do seu uso (Rausch e Belyea, 2006; Gatlin et al., 2007). Outra desvantagem da inclusão do glúten de milho na dieta de peixes é uma possível coloração amarelada na carne (Hardy, 1996).

Neste estudo o desempenho dos camarões alimentados com as dietas teste contendo glúten de milho foi inferior ao obtido nas demais dietas e foi negativamente afetado pelo aumento da inclusão, indicando que o uso deste ingrediente deve ser mesmo restrito à baixas inclusões. Estudos sobre a inclusão do glúten de milho em substituição à farinha de peixe são escassos e geralmente este ingrediente é incluído em menor nível nas dietas. A inclusão de 15% de glúten de milho em substituição à farinha de peixe em dietas para juvenis de *L. vannamei* resultou em taxas de crescimento e sobrevivência inferiores às observadas nas duas dieta controle contendo 11% farinha de peixe e 14% concentrado protéico de soja (Forster et al., 2002), provavelmente devido à sua alta inclusão. Outros autores utilizaram uma dieta apenas com ingredientes de origem vegetal, incluindo 4,8% de glúten de milho, farelo de soja e solúveis fermentados de milho e obtiveram resultados semelhantes aos verificados na dieta com 9% de farinha de peixe (Amaya et al., 2007b). Os níveis ideais de inclusão do glúten de milho têm sido em geral, inferiores aos níveis de até 15 e 9% recomendados na literatura por Hertrampf e Piedad-Pascual (2000) e Tacon et al., (2009), respectivamente.

Entre os ingredientes avaliados neste estudo, a farinha de carne e ossos é um dos mais pesquisados para a substituição da farinha de peixe em dietas para camarões marinhos e neste estudo foi o ingrediente que apresentou o pior crescimento depois do glúten de milho. A digestibilidade de aminoácidos em subprodutos como a farinha de vísceras de frango e a farinha de carne e ossos pode apresentar grandes variações devido a dois fatores principais: cinzas e temperatura de processamento (Johnson et al., 1998) e o teor de cinzas da farinha de carne e ossos avaliada neste estudo foi igual a 41%, o que

é superior aos valores reportados em revisões sobre a composição de ingredientes para ração (Rostagno et al., 2005, Tacon et al., 2009).

Neste estudo, os camarões alimentados com as dietas teste à base de farinha de carne e ossos apresentaram o pior desempenho, depois dos camarões alimentados com as dietas teste contendo glúten de milho, e o aumento da inclusão do ingrediente elevou o teor de material mineral de 134 g Kg⁻¹ para 199 g Kg⁻¹, o que pode ter contribuído para a depressão do crescimento já que o teor de matéria mineral ultrapassou o valor de 150 g Kg⁻¹ recomendado para dietas de camarões marinhos (Akiyama, 1992). A farinha de carne e ossos substituiu até 10% da proteína de uma dieta purificada em um estudo realizado com juvenis de *L. vannamei* (Lawrence e Castille, 1991), 41% da proteína bruta quando incluída no nível de 30% em uma dieta para juvenis de *P. monodon* (Smith et al., 2000), 60% da proteína em uma dieta prática para juvenis de *L. vannamei* (Zhu et al., 2004).

A substituição de 30% da farinha de peixe incluída no nível de 24,5% em dietas para juvenis de *L. vannamei* por um produto farinhas de carne e ossos de três tipos (A- 35% bovinos, 35% suínos e 30% frango, B- 90% bovinos, 5% suínos e 5% frango e C – 50% bovinos e 50% suínos) resultou em taxas de crescimento estatisticamente iguais à dos camarões do tratamento controle com farinha de peixe. Este mesmo estudo avaliou o efeito da substituição da farinha de peixe pelas três farinhas de carne e ossos nos níveis de 25, 50 e 75 (8 a 26% da dieta) e verificou que os percentuais de substituição da farinha de peixe pelas farinhas A, B e C sem afetar significativamente as taxas de crescimento foram 25, 75 e 50%, respectivamente (Forster et al., 2003). A substituição de até 60% da farinha de peixe por farinha de carne e ossos em dietas para juvenis do *L. vannamei* não afetou o crescimento dos camarões em comparação à dieta controle contendo 22% de farinha de peixe (Zhu et al., 2004). Resultado similar a outro estudo no qual a substituição de até 60% da farinha de peixe por farinha de carne e ossos na ração de pós-larvas do *L. vannamei* não prejudicou o ganho de peso e nem a composição do camarão (Tan et al., 2005). A substituição de até 35% da proteína da farinha de peixe incluída no nível de 42% na dieta controle por farinha de suínos na inclusão de 20% não afetou o crescimento de juvenis de *L. vannamei* (Hernández et al., 2008). A inclusão de farinha de carne e ossos no nível de 25% não afetou o crescimento de juvenis de *L. vannamei* em relação ao controle contendo 36% de farinha de peixe

(Simão et al, 2008). Vale destacar que o nível de cinzas foi elevado e chegou a 27% nas dietas teste.

Um estudo recente avaliou o desempenho do *L. vannamei* alimentado com dietas sem farinha de peixe e verificou que o crescimento dos camarões alimentados com uma dieta contendo 10% de farinha de carne e ossos, 20% de farinha de vísceras de frango e 10% de farelo de soja foi inferior ao dos camarões alimentados com a dieta controle contendo 8% de farinha de peixe, 15% de farinha de vísceras e 16% de farelo de soja (Tacon et al., 2010).

O alto teor de cinzas na farinha de carne e ossos avaliada neste estudo torna a comparação destes dados com aqueles obtidos em outros estudos limitada e um outro aspecto que prejudica a comparação de dados oriundos de diferentes pesquisas é a falta de detalhamento da composição dos ingredientes, o que se torna ainda mais crítico para os subprodutos de origem animal (Hardy, 2000). Entre os estudos analisados, o ingrediente que apresentou a composição mais próxima à do ingrediente avaliado neste estudo foi a farinha tipo B avaliada por Forster et al. (2003) que continha 24% de cinzas.

As inclusões da farinha de carne e ossos nos níveis de 10, 20 e 30% nas dietas teste avaliadas neste estudo foram iguais ou superiores à recomendação de inclusão de até 10% em dietas de camarões marinhos e 20% em dietas para aquicultura de forma geral (Hertrampf e Piedad-Pascual, 2000).

De forma geral as inclusões dos ingredientes nas dietas teste foram relativamente altas uma vez que chegaram a 30% no GLM, FCO e PEN e 44%, 33% e 36% para a FPX, CPS e FVI que já faziam parte da dieta referência. No entanto, como as dietas foram utilizadas para um estudo simultâneo de digestibilidade e crescimento a sua formulação não permitiu a substituição da farinha de peixe pelos ingredientes alternativos e como resultado as dietas tiveram uma baixa taxa de substituição da farinha de peixe. Apesar deste baixo percentual de substituição foi possível identificar algumas diferenças no desempenho provocadas pelos ingredientes quando se analisa a média dos tratamentos de cada ingrediente e estes dados mostraram que os camarões alimentados com as dietas teste contendo farinha de peixe e concentrado protéico de soja apresentaram os melhores desempenhos, o que não foi verificado na maioria dos

casos quando se analisou o efeito do ingrediente e o nível de inclusão, com exceção da FPX30 e do GLM30 que apresentaram o melhor e o pior desempenho, respectivamente.

A TEPB e a TEPD foram positivamente correlacionadas com o crescimento, mas isoladamente deram poucas pistas em relação aos tratamentos, assim como a oferta diária de proteína e precisam ser analisados junto com os dados de crescimento para uma interpretação mais acurada dos resultados.

A combinação dos resultados de desempenho discutidos neste capítulo com aqueles de digestibilidade apresentados no capítulo 5 oferecem uma análise mais ampla do valor nutricional dos ingredientes avaliados para o *Litopenaeus vannamei* e indicam que as condições experimentais durante as duas rodadas atenderam às recomendações para a realização de estudos de nutrição com camarões marinhos em condições compatíveis com as fazendas.

6.5. Referências

- AKIYAMA D.M. Future considerations for shrimp nutrition and the aquaculture feed industry. In: Proceedings of the Special Session on Shrimp Farming (ed. by J.Wyban), World Aquaculture Society, Baton Rouge, LA, USA, p. 198-205, 1992.
- ALBREKTSEN, S., MUNDHEIM, H., AKSNES, A. Growth, feed efficiency, digestibility and nutrient distribution in Atlantic cod (*Gadus morhua*) fed two different fish meal qualities at three dietary levels of vegetable protein sources. *Aquaculture*, v. 261, p. 626–640, 2006.
- ALVAREZ, J.S., HERNÁNDEZ-LLAMAS, A., GALINDO, J., FRAGA, I., GARCIA, T., VILLARREAL, H. Substitution of fishmeal with soybean meal in practical diets for juvenile white shrimp *Litopenaeus schmitti* (Pérez-Farfante e Kensley 1997). *Aquaculture Research*, v. 38, p. 689-695, 2007.
- AMAR, B., PHILIP, R., SINGH, B. Efficacy of fermented prawn shell waste as a feed ingredient for Indian white prawn, *Fenneropenaeus indicus*. *Aquaculture Nutrition*, v. 12, p. 433–442, 2006.

- AMAYA, E. K., DAVIS, A., ROUSE, D.B. Replacement of fish meal in practical diets for the pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) reared under pond conditions. *Aquaculture*, v. 262, p. 393-401, 2007.
- AMAYA, E. K., DAVIS, A., ROUSE, D.B. Alternative diets for the Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture*, v. 262, p. 419-425, 2007.
- AWONORIN, S.O., AYOADE, J.A., BAMIRO, F. O., OYEWOLE, L. O. Relationship of Rendering Process Temperature and Time to Selected Quality Parameters of Poultry By-product Meal. *Lebensm.-Wiss. u.-Technol*, v. 28, p. 129-134, 1995.
- BACON, W. Hammersmith Marketing Ltd - Grain Trading weekly grain and protein report, April 02, 2011 section 2. fishmeal comments and prices Peruvian. Disponível em: <http://www.hammersmithltd.blogspot.com/> . Acessado em 09 de Abril de 2011.
- BOULSHY, A.R.E., POEL, A.F.B. Feather Meal A Biological Waste: Its Processing and Utilization as a Feedstuff for Poultry. *Biological Wastes*, v. 32, p. 39-74, 1990.
- BUREAU, D.P., HARRIS, A.M., BEVAN, D.J., SIMMONS, L.A., AZEVEDO, P.A., CHO, C.Y. Feather meals and meat and bone meals from different origins as protein sources in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) diets. *Aquaculture*, v. 181, p. 281–291, 2000.
- CHENG, Z. J., BEHNKE, K. C., DOMINY, W. G. Effects of poultry by-product meal as a substitute for fish meal in diets on growth and body composition of juvenile pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Journal of Applied Aquaculture*, v. 12, p. 71-83, 2002.
- CHI, S., TAN, B., MAI, K., ZHENG, S. Growth and Feed Efficiency of Juvenile Shrimp *Litopenaeus vannamei* Fed Formulated Diets Containing Different Levels of Poultry by-Product Meal. *J. Ocean Univ. China*, v.8 (4), p. 399-403, 2009.
- CHOOKIRD, D., TANTIKITTI, C., PONGDARA, A., SRICHANUN, M. Effect of hemoglobin powder substituted for fishmeal on growth performance, protein digestibility, and trypsin gene expression in *Litopenaeus vannamei*. *Songklanakarin J. Sci. Technol.*, v. 32, p. 119-127, 2010.

- CRUZ-SUÁREZ, L.E., ANTIMO-PÉREZ, J.S., LUNA-MENDOZA, N., TAPIA-SALAZAR, M., GUAJARDO-BARBOSA, C., RICQUE-MARIE, D. Relaciones proteína/energía y proteína vegetal/animal optimas en alimentos de engorda para *Litopenaeus vannamei* y *L. stylirostris*. In: Cruz -Suárez, L.E., Ricque-Marie, D., Tapia-Salazar, M., Olvera-Novoa, M.A. y Civera-Cerecedo, R., (Eds.). Avances en Nutrición Acuícola V. Memorias del V Simposium Internacional de Nutrición Acuícola. Mérida, Yucatán, p. 19-22, 2000.
- CRUZ-SUÁREZ, L.E., NIETO-LÓPEZ, .M., RICQUE-MARIE, D., GUAJARDO-BARBOSA, C., SCHOLZ, U. Uso de harina de subproductos avícolas en alimentos para *L. vannamei*. In Cruz-Suarez, L.E., Ricque-Marie, D., Nieto-López, M. G., Villarreal D., Scholz, U., González, M. Avances en Nutrición Acuícola VII. Memorias del Séptimo Simposium Internacional de Nutrición Acuícola, 16 al 19 de Noviembre de 2004. Hermosillo Sonora. México.
- D'ABRAMO, L.R., CASTELL, J.D. Research Methodology. In: Crustacean Nutrition, Advances in World Aquaculture (D'Abramo, L.R., Conklin, D.E. e Akiyama, D.M. eds), pp. 3–25. World Aquaculture Society, Baton Rouge, LA, v. 6, p. 3-25, 1997.
- DAVIS, A.D., ARNOLD, C.R. Replacement of fish meal in practical diets for the Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. Aquaculture, v. 185, p. 291–298, 2000.
- DAVIS, D.A., SAMOCHA, T.M., BULLIS, R.A., PATNAIK, S., BROWDY, C., STOKES, A., Atwood, H. Practical diets for *Litopenaeus vannamei* (Boone. 1931): working towards organic and/or all plant production diets. Avances en Nutricion Acuicola VII. Memorias del VII Simposium Internacional de Nutricion Acuicola.. Hermosillo, Sonora, Mexico, p. 16–19, 2004.
- DERSJANT-LI, Y. The use of soy protein in aquafeeds. In: Cruz-Suárez, L. E., Ricque-Marie, D., Tapia-Salazar, M., Gaxiola-Cortés, M. G., Simoes, N. (Eds.). Avances en Nutrición Acuícola VI. Memorias del VI Simposium Internacional de Nutrición Acuícola. Cancún, Quintana Roo, México, 2002.
- FAO. The State of World Fisheries and Aquaculture. FAO Fisheries and Aquaculture Department, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 218p., 2010.

- FORSTER, I. P., DOMINY, W., TACON, A. G. The use of concentrates and other soy products in shrimp feeds. In: Cruz-Suárez, L. E., Ricque-Marie, D., Tapia-Salazar, M., Gaxiola-Cortés, M. G., Simoes, N. (Eds.). Avances en Nutrición Acuícola VI. Memorias del VI Simposium Internacional de Nutrición Acuícola. Cancún, Quintana Roo, México, 2002.
- FORSTER, I.P., DOMINY, W., OBALDO, L. TACON, A.G.J. Rendered meat and bone meals as ingredients of diets for shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931). Aquaculture, v. 219, p. 655-67, 2003.
- FOX, J.M., DAVIS, D.A., WILSON, M., LAWRENCE, A.L. Current Status of Amino Acid Requirement Research with Marine Penaeid Shrimp. En: L. Elizabeth Cruz Suárez, Denis Ricque Marie, Mireya Tapia Salazar, Martha G. Nieto López, David A. Vilareal Cavazos, Ana C. Puello, Cuz y Armando Garcia Ortega. Avances en Nutrición Acuícola VIII. VIII Simposium Internacional de Nutrición Acuicola. Universidad Autónoma de Nuevo León. Monterrey, Nuevo León, México, 2006.
- GAMBOA-DELGADO, J., VAY, L.L. Natural stable isotopes as indicators of the relative contribution of soy protein and fish meal to tissue growth in Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) fed compound diets. Aquaculture, v. 291, p. 115-123, 2009.
- GATLIN, D.M., BARROWS, F.T., BROWN, P., DABROWSKI, K., GAYLORD, G., HARDY, R.W., HERMAN, E., HU, G., KROGDAHL, A., NELSON, R., OVERTURF, K., RUST, M., SEALEY, W., SKONBERG, D., SOUZA, E.J., STONE, D., WILSON, R., WURTELE, E. Expanding the utilization of sustainable plant products in aquafeeds: a review. Aquaculture Research, v. 38, p. 551-579, 2007.
- GÓMEZ-JIMÉNEZ, S., GONZÁLEZ-FÉLIX, M.L., PEREZ-VELAZQUEZ, M., TRUJILLO-VILLALBA1, D.A., ESQUERRA-BRAUER, I.R., BARRAZA-GUARDADO, R. Effect of dietary protein level on growth, survival and ammonia efflux rate of *Litopenaeus vannamei* (Boone) raised in a zero water exchange culture system. Aquaculture Research, v. 36, p. 834-840, 2005.

- GUILLAUME, J. Protein and amino acids. In: Crustacean Nutrition, Advances in World Aquaculture (D'Abramo, L.R., Conklin, D.E. e Akiyama, D.M. eds). World Aquaculture Society, Baton Rouge, LA, v. 6, p. 26-50, 1997.
- HARDY, R.W. Alternate protein sources for salmon and trout diets. *Animal Feed Sci. Tech.*, v. 59, p. 71-80, 1996.
- HARDY, R.W. New developments in aquatic feed ingredients, and potential of enzyme supplements. In: Cruz -Suárez, L.E., Ricque-Marie, D., Tapia-Salazar, M., Olvera-Novoa, M.A. y Civera-Cerecedo, R., (Eds.). *Avances en Nutrición Acuicola V. Memorias del V Simposium Internacional de Nutrición Acuicola*. Mérida, Yucatán, Mexico, p. 19-22, 2000.
- HARDY, R.W., TACON, A.G.J. Fish meal: historical uses, production trends and future outlook for supplies. In: Stickney, R.R., MacVey, J.P. (Eds.), *Responsible Marine Aquaculture*. CABI Publishing, New York, p. 311-325. 2002.
- HARDY, R.W. Worldwide Fish Meal Production Outlook and The Use of Alternative Protein Meals for Aquaculture. En: L. Elizabeth Cruz Suárez, Denis Ricque Marie, Mireya Tapia Salazar, Martha G. Nieto López, David A. Vilareal Cavazos, Ana C. Puello, Cuz y Armando Garcia Ortega. *Avances en Nutrición Acuicola VIII. VIII Simposium Internacional de Nutrición Acuicola*. Universidad Autónoma de Nuevo León. Monterrey, Nuevo León, México. p. 410-419. 2006.
- HARTER, T., BUHRKE, F., KUMAR, V., FOCKEN, U., MAKKAR, H. and BECKER, K. Substitution of fish meal by *Jatropha curcas* kernel meal: Effects on growth performance and body composition of white leg shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Aquaculture Nutrition*, v. 17, p. 1-7, 2011.
- HERNÁNDEZ, C., SARMIENTO-PARDO, J., GONZÁLEZZ-RODRÍGUEZ, B., PARRA, I.A. Replacement of fish meal with co-extruded wet tuna viscera and corn meal in diets for white shrimp (*Litopenaeus vannamei* Boone). *Aquaculture Research*, v.35, p. 1153-1157, 2004.
- HERNÁNDEZ, C., OLVERA-NOVOA, M.A., AGUILAR-VEJAR, K., GONZÁLEZ-RODRÍGUEZ, B., PARRA, I.A.P. Partial replacement of fish meal by porcine meat

- meal in practical diets for Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Aquaculture*, v. 277, p. 244–250, 2008.
- HERTRAMPF, J., PIEDAD-PASCUAL, F. Handbook on Ingredients for Aquaculture Feeds. Kluwer Academic Publishers, The Netherlands. 573 pp, 2000.
- HUAI, M.Y., LIU, Y.J., TIAN, L.X., DENG, S.X., XU, A.L., GAO, W., YANG, H.J. Effect of dietary protein reduction with synthetic amino acids supplementation on growth performance, digestibility, and body composition of juvenile Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Aquacult Int.*, v. 18, p. 255–269, 2010.
- HU, Y., TAN, B., MAI, K., AI, Q., ZHENG, S., CHENG, K. Growth and body composition of juvenile white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, fed different ratios of dietary protein to energy. *Aquaculture Nutrition*, v. 14, p. 1-8, 2008.
- JAIME-CEBALLOS, B.J., FRAGA-CASTRO, I., GALINDO-LÓPEZ, J., ALVAREZ – CAPOTE, J.S. Effect of shrimp head meal inclusion level in *Litopenaeus schmitti* juveniles diet. *Rev. Invest. Mar.* v. 30, p. 71- 78, 2009.
- JOHNSON, M. L., PARSONS, C. M., FAHEY G. C., MERCHEN, N. R., ALDRICH, C. G. 1998. Effects of species raw material source, ash content, and processing temperature on amino acid digestibility of animal by-product meals by cecectomized roosters and ileally cannulated dogs. *J Anim Sci.*, p. 1112-1122, 1998.
- KUHN, D.D., BOARDMAN, G.D., LAWRENCE, A.L., MARSH, L., FLICK, G.J. Microbial floc meal as a replacement ingredient for fish meal and soybean protein in shrimp feed. *Aquaculture*, v. 296, p. 51–57, 2009.
- KUHN, D.D., SMITH, S.A., BOARDMAN, G.D., ANGIER, M.W., MARSH, L., FLICK, G.J. Chronic toxicity of nitrate to Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*: Impacts on survival, growth, antennae length, and pathology. *Aquaculture*, v. 309, p. 109–114, 2010.
- KURESHY, N., DAVIS, D.A. Protein requirement for maintenance and maximum weight gain for the Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture*, v. 204, p. 125–143, 2002.

- LAWRENCE, A.L., CASTILLE, F.,. Nutritional response of a western hemisphere shrimp, *Penaeus vannamei*, to meat and bone, feather, and poultry by-product meals. Director's Digest, Fats and Proteins Research Foundation, n. 215, 1991
- LEE, P.G., LAWRENCE, A.L. Digestibility. In: Crustacean Nutrition, Advances in World Aquaculture(D'Abramo, L.R., Conklin, D.E. e Akiyama, D.M. eds). World Aquaculture Society, Baton Rouge, LA, v. 6, p. 194-260, 1997.
- LEMOES, D.E.L., NUNES, A.J.P. Prediction of culture performance of juvenile *Litopenaeus vannamei* by in vitro (pH-stat) degree of feed protein hydrolysis with species-specific enzymes. Aquaculture Nutrition, v.14, p. 181–191, 2008.
- LIM, C., DOMINY, W. Evaluation of Soybean Meal as a Replacement for Marine Animal Protein in Diets for Shrimp (*Penaeus vannamei*). Aquaculture, v. 87, p. 53-63, 1990.
- LIM, C., BEAMES, R. M., EALES, J. G., PRENDERGAST, A. F., MCLEESE, J. M., SHEARER, K. D. AND HIGGS, D. A. Nutritive values of low and high fibre canola meals for shrimp (*Penaeus vannamei*). Aquaculture Nutrition, 3, 269–279, 1997.
- LIN, Y-C., CHEN, J-C. Acute toxicity of ammonia on *Litopenaeus vannamei* Boone juveniles at different salinity levels. J. Experimental Marine Biology and Ecology. v. 259, p. 109–119, 2001.
- LIN, Y-C., CHEN, J-C. Acute toxicity of nitrite on *Litopenaeus vannamei* (Boone) juveniles at different salinity levels. Aquaculture, v. 224, p. 193–201, 2003.
- MARKEY, J.C., AMAYA, E.A., DAVIS, D.A. Replacement of Poultry By-product Meal in Production Diets for the Pacific White Shrimp, *Litopenaeus vannamei* J. World Aquac. Soc., v. 41, p. 893-902, 2010.
- MCINTOSH, D., SAMOCHA, T.M., JONES, E.R., LAWRENCE, A.L. HOROWITZ, S., HOROWITZ, A. Effects of two commercially available low-protein diets (21% and 31%) on water and sediment quality, and on the production of *Litopenaeus vannamei* in an outdoor tank system with limited water discharge. Aquacult. Eng. v. 25, p. 69–82, 2001.

- MENDOZA, R., DIOS, A., VAZQUEZ, C., CRUZ, D., RICQUE, D., AGUILERA, C., MONTEMAYOR, J. Fishmeal replacement with feather-enzymatic hydrolyzates co-extruded with soya-bean meal in practical diets for the Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Aquaculture Nutrition*, v. 7, p.143-151, 2001.
- MOLINA-POVEDA, C., MORALES, M.E. Use of a mixture of barley-based fermented grains and wheat gluten as an alternative protein source in practical diets for *Litopenaeus vannamei* (Boone). *Aquaculture Research*, v. 35, p. 1158-1165, 2004.
- NAYLOR, R.L., GOLDBURG, R.J., PRIMAVERA, J.H., KAUTSKY, N., BEVERIDGE, M.C.M., CLAY, J., FOLKE, C., LUBCHENCO, J., MOONEY, H., TROELL, M. Effect of aquaculture on world fish supplies. *Nature*, v. 405, p. 1017–1024, 2000.
- NUNES, A., SÁ, M., SABRY-NETO, H. Growth performance of the white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, fed on practical diets with increasing levels of the Antarctic krill meal, *Euphausia superba*, reared in clear-versus green-water culture tanks. *Aquaculture Nutrition*, v. 17, p. 1-10, 2010.
- PARIPATANANONT, T., BOONYARATPALIN, M., PENGSENG, P., CHOTIPUNTU, P. Substitution of soy protein concentrate for fishmeal in diets of tiger shrimp *Penaeus monodon*. *Aquaculture Research*, v. 32, p. 369-374, 2001.
- PEREZ-VELAZQUEZ, M. GONZÁLEZ-FÉLIX, M.L., JAIMES-BUSTAMANTE, F., MARTÍNEZ-CÓRDOVA, L.R., TRUJILLO-VILLALBA, D.A. Investigation of the Effects of Salinity and Dietary Protein Level on Growth and Survival of Pacific White Shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *J. World Aquac. Soc.*, v. 38, p. 475-485, 2007.
- PONCE-PALAFOX, J., MATINEZ-PALACIOS, C.A., ROSS, L.G. The effects 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.
- RANA, K. Global challenges. *International Aquafeed*, v. 12, p. 40 – 44, 2009.
- RAY, A.J., LEWIS, B.L., BROWDY, C.L., LEFFLER, J.W. Suspended solids removal to improve shrimp (*Litopenaeus vannamei*) production and an evaluation of a plant-

- based feed in minimal-exchange, superintensive culture systems. *Aquaculture*, V. 299, p. 89–98, 2010.
- RAUSCH, K.D., BELYEA, R.L. The Future of Coproducts From Corn Processing. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, v. 128, p. 47-86, 2006.
- REBAFKA, F.-P. A Revolutionary Type of Feather Meal for Fish Feed. Presentation at the World Aquaculture 2011, Alternative Feedstuffs and Aquafeeds Session. Natal, Brazil June 7-10, 2011. Resumo disponível em: <https://www.was.org/WasMeetings/meetings/SessionAbstracts.aspx?Code=WA2011&Session=46> em 30/07/2011.
- RICQUE-MARIE, D., ABDO-DE LA PARRA, M.A., CRUZ-SUAREZ, L.E., CUZON, G., COUSIN, M. PIKE, I.H. Raw material freshness, a quality criterion for fishmeal fed to shrimp. *Aquaculture*, v. 165, p. 95–109, 1998.
- ROBERTSON, L., LAWRENCE, A.L., CASTILLE, F. Interaction of salinity and feed protein level on growth of *Penaeus vannamei*. *J. Applied Aquac.*, v. 2, p. 43-54, 1993.
- ROSTAGNO, H.S., ALBINO, L.F.T., DONZELE, J.L., GOMES, P.C., OLIVEIRA, R.F., LOPES, D.C., FERREIRA, A.S., BARRETO, S.L.T. Tabelas brasileiras para Aves e Suínos: Composição de alimentos e exigências nutricionais. Viçosa, UFV, 186,. 2005.
- SAMOCHA, T.M., DAVIS, D.A., SAOUD, I.P., DEBAULT, K .Substitution of fish meal by co-extruded soybean poultry by-productmeal in practical diets for the Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture*, v. 231, p.197–203, 2004.
- SEIDMAN, E.R., LAWRENCE, A.L. Growth. feed digestibility, and proximate body composition of juvenile *Penaeus vannamei* and *Penaeus monodon* grown at different dissolved oxygen levels. *Journal World Mar. Soc.*, v. 16, p. 333–346, 1985.
- SIMÃO, B.R., AZEVEDO, C.M.S.B., MIRANDA, L.C., OLIVEIRA, H.V., FREITAS, A.V.L. Farinha de carne e ossos como substituto da farinha de peixe em dietas de camarão. *Caatinga (Mossoró,Brasil)*, v. 21, p. 22-28, 2008.

- SMITH, D.M., ALLAN, G.L., WILLIAMS, K.C. AND BARLOW, C. Fishmeal replacement research for shrimp feed in Australia. In: Cruz -Suárez, L.E., Rique-Marie, D., Tapia-Salazar, M., Olvera-Novoa, M.A. y Civera-Cerecedo, R.,(Eds.). Avances en Nutrición Acuícola V. Memorias del V Simposium Internacional de Nutrición Acuícola. 19-22 Noviembre, 2000. Mérida, Yucatán, México. 2000.
- SMITH, D.M., TABRETT, S.J., GLENCROSS, B.D. Growth response of the black tiger shrimp, *Penaeus monodon* fed diets containing different lupin cultivars, *Aquaculture*, v. 269, p. 436-446, 2007.
- SMITH, L.L., LEE, P.G., LAWRENCE, A.L., STRAWN, K. Growth and digestibility by three sizes of *Penaeus vannamei* BOONE: Effects of Dietary Protein Level and Source. *Aquaculture*, v. 46, p. 85-96, 1985.
- SOOKYING, D. Development and Application of Soybean Based Diets for Pacific White Shrimp *Litopenaeus vannamei*. Tese de doutorado. Auburn University, Auburn, Alabama, 141p, 2010.
- SUÁREZ, J.A. GAXIOLA, G., MENDOZA, R., CADAVID, S., GARCIA, G., ALANIS, G., SUÁREZ, A., FAILLACE, J., CUZON, G. Substitution of fish meal with plant protein sources and energy budget for white shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931). *Aquaculture*, v. 289, p. 118–123, 2009.
- TAN, B., MAI, K., ZHENG, S., ZHOU, Q., LIU, L., YU, Y. Replacement of fish meal by meat and bone meal in practical diets for the white shrimp *Litopenaeus vannamei* (sic) (Boone). *Aquaculture Research*, v. 36, p. 439-444, 2005.
- TACON, A.G.J. Nutritional studies in crustaceans and the problems of applying research findings to practical farming systems. *Aquacult. Nutr.*v. 1, p. 165-174, 1996.
- TACON, A.G.J., AKIYAMA, D.M. Feed Ingredients. In: Crustacean Nutrition, *Advances in World Aquaculture Vol. 6.* (D'Abramo, L.R., Conklin, D.E. e Akiyama, D.M. eds). World Aquaculture Society, Baton Rouge, L.A., v.6, p. 411–472, 1997.
- TACON, A.G.J. 2002. Global Review of Feeds and Feed Management Practices in Shrimp Aquaculture. Report prepared under the World Bank, NACA, WWF and FAO Consortium Program on Shrimp Farming and the Environment. Work in Progress for Public Discussion. Published by the Consortium. 68 pp, 2002.

- TACON, A.G.J., CODY, J.J., CONQUEST, L.D., DIVAKARAN, S., FORSTER, I. DECAMP, O.E. Effect of culture system on the nutrition and growth performance of Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone) fed different diets. *Aquaculture Nutrition*, v. 8, p. 121-137, 2002.
- TACON, A.G.J., METIAN, M. Global overview on the use of fish meal and fish oil in industrially compounded aquafeeds: Trends and future prospects. *Aquaculture*, v. 285, p. 146–158, 2008.
- TACON, A.G.J., METIAN, M., HASAN, M.R. Feed ingredients and fertilizers for farmed aquatic animals Sources and composition. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper 540, Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome, 209p, 2009.
- TACON, A.G.J., CAHYONO, E.W., SUGEMA, U., ZAUDJAT, C., NATES, S. Replacement of fishmeal and marine proteins in practical diets for Pacific white shrimp using terrestrial land animal proteins. *Aquaculture Asia Pacific Magazine*., May/June, p. 12-17, 2010.
- TAPIA-SALAZAR, M., CRUZ-SUÁREZ, L.E, RICQUE-MARIE, D., PIKE, I.H., SMITH, T.K., HARRIS, A., NYGÅRD, E., OPSTVEDT, J. Effect of fishmeal made from stale versus fresh herring and of added crystalline biogenic amines on growth and survival of blue shrimp *Litopenaeus stylirostris* fed practical diets, *Aquaculture*, v. 242, p. 437–453, 2004.
- TERRAZAS, M., CIVERA, R., IBARRA, L., GOYTORTÚA, E. Coeficientes de utilización digestiva aparente de materia seca, proteína y aminoácidos esenciales de ingredientes terrestres para el camarón del Pacífico *Litopenaeus vannamei* (Decapoda: Penaeidae). *Rev. Biol. Trop. (Int. J. Trop. Biol. ISSN-0034-7744)*, v. 58, p. 1561-1576, 2010.
- TERRAZAS-FIERRO, M. ,CIVERA-CERECEDO, R. ,IBARRA-MARTÍNEZ, L.,GOYTORTÚA-BORES, E. , HERRERA-ANDRADE, M., REYES-BECERRA, A. Apparent digestibility of dry matter, protein, and essential amino acid in marine feedstuffs for juvenile whiteleg shrimp *Litopenaeus vannamei*, *Aquaculture*, v. 308, p. 166–173, 2010.

- TORSTENSEN, B.E., ESPE, M., SANDEN, M., STUBHAUG, I., WAAGBO, R., HEMRE, G.-I., FONTANILLAS, R., NORDGARDEN, U., HEVROY, E.M., OLSVIK, P., BERNTSSEN, M.H.G. A Novel production of Atlantic salmon (*Salmo salar*) protein based on combined replacement of fish meal and fish oil with plant meal and vegetable oil blends. *Aquaculture*, v. 285, p. 193–200, 2008.
- VASAGAM, K.P.K., SURESH, A.V., CHAMBERLAIN, G.W. Growth performance of blue shrimp, *Litopenaeus stylirostris* in self-cleaning microcosm tanks. *Aquaculture*, v. 290, p. 236–242, 2009.
- WASIELESKY, W., ATWOOD, H., STOKES, A., BROWDY, C.L. Effect of natural production in a zero exchange suspended microbial floc based super-intensive culture system for white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture*, v. 258, p. 396–403, 2006.
- YU, Y. Rendered products in shrimp aquaculture feeds. *Essencial Redering*. David L. Meeker (Ed.). National Renders Association, NRA. p.195 – 211, 2006.
- ZHU, W., MAI, K., ZHANG, B., WANG, F., YU, Y. A Study on the Meat and Bone Meal and Poultry By-product Meal as Protein Substitutes of Fish Meal in Practical Diets for *Litopenaeus vannamei* Juveniles. *Journal of Ocean University of China (Oceanic and Coastal Sea Research)*, v. 3, p. 157-160, 2004.
- ZHU, X.Z., LIU, Y.J., TIAN, L.X., MAI, K.S., ZHENG, S.X., PAN, Q.J., CAI, M.C., ZHENG, C.Q., ZHANG, Q.H., HU, Y. Effects of dietary protein and lipid levels on growth and energy productive value of pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, at different salinities. *Aquac. Nutrition*, v. 16, p. 392–399, 2010.

Considerações finais

Esta tese enfocou duas questões importantes relacionadas à avaliação de ingredientes para camarões marinhos. A primeira foi a validação de um sistema e procedimentos experimentais que produzam resultados confiáveis e a segunda foi a determinação dos coeficientes de digestibilidade de ingredientes estratégicos, em diferentes níveis de inclusão, para a elaboração de dietas para camarões marinhos.

No Capítulo 2 foi apresentado um sistema de recirculação desenvolvido para a realização de estudos sobre digestibilidade em condições de alto desempenho no Laboratório de Aquicultura do Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo. O projeto teve como base o conhecimento atual sobre sistemas de recirculação para aquicultura e a colaboração de especialistas, e como resultado, mostrou ser adequado para a realização de estudos de digestibilidade com camarões marinhos em condições de alto desempenho, permitindo que os camarões apresentassem uma taxa de crescimento igual ou superior à taxa obtida nas fazendas em alta densidade (acima de 60 camarões m²) e sem a presença do alimento natural, que traz uma contribuição importante para o crescimento dos camarões em condições comerciais.

O desenvolvimento do sistema de recirculação compreendeu o projeto de um tanque adaptado para a realização de estudos de digestibilidade com camarões marinhos que permitisse a obtenção de amostras com qualidade e em quantidade suficiente para a obtenção de dados confiáveis no menor espaço de tempo possível. O desenvolvimento do protótipo deste tanque foi resultado de uma revisão na literatura, especialmente sobre a engenharia de tanques para aquicultura, remoção de sólidos e comportamento dos camarões e da realização de diversos testes com sistemas e componentes diferentes, conforme detalhado no Capítulo 3.

Os resultados mostraram que o sistema utilizado influenciou tanto a remoção dos sólidos como a velocidade da água nos tanques com dreno duplo, porém este efeito não foi significativo nos tanques com dreno simples. A eficiência da remoção de peletes melhorou com o aumento do diâmetro do dreno secundário nos tanques com dreno duplo e a vazão de abastecimento, o que aumentou a velocidade da água e, portanto, o efeito “decantação em xícara de chá” concentrando os sólidos no fundo do tanque.

Entre os diferentes sistemas avaliados, o sistema Guelph-L foi o mais eficiente em relação aos demais sistemas porque combinou uma alta eficiência de remoção de sólidos com um melhor perfil de velocidade da água e menor distância percorrida pelas partículas de fezes ou alimento não consumido. Assim, foi possível concluir que um sistema adequado para estudos de digestibilidade com camarões deve combinar: espaço, velocidade da água e remoção dos sólidos adequados para permitir crescimento e bem estar animal compatível com as condições práticas encontradas nas fazendas.

Em paralelo à construção do sistema de determinação de digestibilidade, realizou-se a seleção dos ingredientes para os ensaios de digestibilidade, conforme descrito no Capítulo 4. Dois critérios básicos para a seleção foram: ingredientes de interesse da indústria e disponíveis no Brasil. A escolha recaiu sobre seis ingredientes protéicos: farinha de peixe (FPX), concentrado protéico de soja (CPS), farinha de vísceras de frango (FVI), farinha de carne e ossos (FCO), glúten de milho (GLM) e farinha de penas hidrolisadas (PEN). Os seis ingredientes foram submetidos a análises para caracterização compreendendo: análise centesimal, energia bruta, aminoácidos, minerais e ácidos graxos. Estes resultados foram comparados com a composição dos mesmos ingredientes encontrada na literatura.

Os resultados mostraram que a composição dos ingredientes utilizados neste estudo foi, em vários casos, diferente da composição encontrada na literatura e estas diferenças precisam ser levadas em consideração na comparação dos resultados de pesquisas sobre substituição de ingredientes e digestibilidade, a fim de evitar que a aplicação dos seus resultados traga respostas diferentes do esperado. Neste sentido, o conhecimento da composição real dos ingredientes, seja na realização das pesquisas, seja na formulação de dietas, é fundamental.

A etapa seguinte foi a realização dos ensaios de digestibilidade, conforme detalhado no Capítulo 5. Para isto, foi formulada uma dieta referência com base nos níveis de nutrientes, energia, minerais e vitaminas recomendados para juvenis do camarão marinho *Litopenaeus vannamei*. Em seguida, os ingredientes selecionados foram moídos e incorporados na dieta nos níveis de 10, 20 e 30%, totalizando 18 dietas teste. Os ensaios foram divididos em duas rodadas onde foram avaliadas 9 dietas mais a dieta referência em triplicata. Em paralelo, foi realizado um ensaio de longa duração

com as dietas contendo os ingredientes CPS e FVI no nível de inclusão de 30% sobre a dieta de referência (CPS30 e FVI30).

Com base nos resultados obtidos neste estudo, analisados sob a luz das informações encontradas na literatura, conclui-se que:

- Os coeficientes de digestibilidade aparente dos ingredientes avaliados neste estudo são iguais ou menores do que os valores encontrados em outros estudos devido à diferenças na qualidade dos ingredientes e possivelmente em função das condições experimentais adotadas neste estudo para minimizar as perdas de nutrientes e marcador;
- A possibilidade de que efeitos adversos causados pelo balanço de aminoácidos, tais como: desbalanço, antagonismo e toxidez em aminoácidos dos ingredientes, podem ter influenciado os coeficientes de digestibilidade aparente da farinha de vísceras de frango, glúten de milho, farinha de carne e ossos e farinha de penas hidrolisadas precisa ser avaliada em novos estudos;
- A digestibilidade aparente dos ingredientes foi significativamente influenciada pelo seu nível de inclusão nas dietas teste e esta influência foi mais intensa nos ingredientes glúten de milho e farinha de vísceras de frango, que apresentaram maiores desbalanços de aminoácidos;
- Os coeficientes de digestibilidade aparente das dietas descreveram melhor o crescimento semanal do que os coeficientes de digestibilidade dos ingredientes, apesar da fraca correlação;
- Os ingredientes que apresentaram os maiores coeficientes de digestibilidade aparente para a matéria-seca foram, de modo geral, em ordem de importância: FPX > CPS > GLM > PEN > FVI > FCO.
- Os ingredientes que apresentaram os maiores coeficientes de digestibilidade aparente para a proteína bruta foram, de modo geral, em ordem de importância: CPS > FPX > FCO > GLM > PEN > FVI.
- Os ingredientes que apresentaram os maiores coeficientes de digestibilidade aparente para a proteína verdadeira foram, em ordem de importância: CPS > FPX > FCO > FVI > GLM > PEN.

- Os ingredientes que apresentaram os maiores coeficientes de digestibilidade aparente para a energia bruta foram, em ordem de importância: $FPX > CPS > GLM > FCO > FVI > PEN$.
- Os ingredientes que apresentaram os maiores coeficientes de disponibilidade aparente média para os aminoácidos foram, em ordem de importância: $CPS > FPX > FCO > FVI > GLM > PEN$.
- Os ingredientes que apresentaram os custos mais baixos para a proteína digestível foram em ordem de importância: $FCO > CPS > PEN > GLM > FPX > FVI$.
- Os ingredientes que apresentaram os custos mais baixos para a proteína digestível verdadeira foram, em ordem de importância: $FCO = CPS > PEN > GLM > FVI > FPX$.
- Os ingredientes que apresentaram os custos mais baixos para a energia digestível foram, em ordem de importância: $CPS > FCO > PEN > GLM > FVI > FPX$.
- Os ingredientes que apresentaram os custos mais baixos para os aminoácidos disponíveis (MET, LIS, CIS, FEN, TIR) foram, em ordem de importância: $CPS > PEN > FCO > FPX > GLM > FVI$.

Em relação ao desempenho dos camarões durante as duas rodadas experimentais, foi possível concluir que:

- As condições ambientais, especialmente a temperatura, não interferiram no desempenho dos camarões que foi superior ao desempenho médio observado nas fazendas.
- O desempenho dos camarões em termos de crescimento, sobrevivência e conversão alimentar foi significativamente influenciado pelos ingredientes teste nas dietas, porém o efeito do nível de inclusão e da interação entre ingrediente e nível de inclusão não afetaram significativamente o desempenho dos camarões.
- Considerando as duas rodadas, os ingredientes apresentaram a seguinte ordem de desempenho em termos de crescimento em $g\ semana^{-1}$: $FPX > CPS > PEN > FVI > FCO > GLM$.
- Considerando as rodadas separadamente, os ingredientes apresentaram a seguinte ordem de desempenho em termos de crescimento em TCE na Rodada 1: $CPS > FPX > FVI$. Rodada 2: $GLM = PEN > FCO$.

- O crescimento dos camarões pôde ser positivamente correlacionado com a proteína digestível, energia digestível e relação energia digestível:proteína digestível da dieta.
- O crescimento dos camarões pôde ser positivamente correlacionado com o AA escore da ARG + LIS + MET, o AA escore da lisina e o AA escore da metionina.

Os resultados obtidos nesta tese atenderam com sucesso aos seus objetivos e espera-se que possam contribuir para o aperfeiçoamento dos métodos para a determinação da digestibilidade em organismos aquáticos. Os dados aqui obtidos reforçam as sugestões feitas por outros autores para que os estudos sobre disponibilidade de nutrientes e energia sejam realizados com os ingredientes utilizados pela indústria de fabricação de ração sendo que os mesmos devem ser bem caracterizados. Além disso, são feitas as seguintes recomendações:

- Os sistemas experimentais empregados para a realização de ensaios de digestibilidade devem possibilitar a coleta de amostras com o mínimo de perdas e em quantidade suficiente para fins de representatividade, sem impor estresse aos animais, e permitir que os mesmos apresentem um desempenho compatível ou superior ao observado nas fazendas em condições comerciais.
- As avaliações de ingredientes para rações para juvenis de *L. vannamei* devem ser realizadas em mais de três níveis de inclusão para facilitar a observação de tendências de forma mais evidente.
- A utilização de um número de repetições superior a três deve assegurar dados de digestibilidade mais precisos.
- Sejam realizados novos estudos, repetindo alguns resultados aqui obtidos e avaliando novas alternativas para a substituição da farinha de peixe.