

André Luís Tortato Novaes

Colheita de mexilhões cultivados em Santa Catarina: desempenho operacional, ergonomia e prototipagem de um sistema mecanizado

Tese 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 doutor em Aquicultura.

Orientadora: Dra. Aimê Rachel Magenta Magalhães.

Florianópolis
2015

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Novaes, André Luís Tortato

Colheita de mexilhões cultivados em Santa Catarina :
desempenho operacional, ergonomia e prototipagem de um
sistema mecanizado / André Luís Tortato Novaes ;
orientadora, Aimê Rachel Magenta Magalhães -
Florianópolis, SC, 2015.

127 p.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa
Catarina, Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-
Graduação em Aquicultura.

Inclui referências

1. Aquicultura. 2. Cultivo de mexilhões. 3.
Maricultura. 4. Mecanização. I. Magalhães, Aimê Rachel
Magenta . II. Universidade Federal de Santa Catarina.
Programa de Pós-Graduação em Aquicultura. III. Título.

Colheita de mexilhões cultivados em Santa Catarina: desempenho operacional, ergonomia e prototipagem de um sistema mecanizado

Por

ANDRÉ LUÍS TORTATO NOVAES

Esta tese foi julgada adequada para a obtenção do título de

DOUTOR EM AQUICULTURA

e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Aquicultura.



Prof. Alex Pires de Oliveira Nuñez, Dr.
Coordenador do Programa

Banca Examinadora:



Dra. Aimê Rachel Magenta Magalhães – *Orientadora*



Dr. Adriano Weidner Cacciatori Marenzi



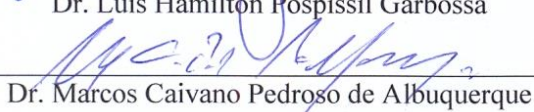
Dr. Gilberto José Pereira Onofre de Andrade



Dr. Jaime Fernando Ferreira



Dr. Luis Hamilton Pospissil Garbossa



Dr. Marcos Caivano Pedroso de Albuquerque

Dedico este trabalho a José Dirceu Gominho Novaes (*in memoriam*) e Maria Elvira Tortato Novaes, meus pais; à minha esposa Cheila e aos meus filhos Pedro e Lívia.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por tudo;

À minha querida esposa Cheila, por se sacrificar no dia a dia, segurando sozinha a barra com as crianças, para que eu tivesse condições de estudar;

À Prof.^a Dr.^a Aimê Rachel Magenta Magalhães por toda a orientação, confiança e incentivo durante todos esses anos. Professora, não tenha dúvida de que a minha opção pela aquicultura marinha foi fortemente influenciada pelos exemplos de conduta, dedicação, amor à ciência e profissionalismo que pude presenciar no contato contigo e com o professor Jaime;

Ao Programa de Pós-graduação em Aquicultura (PGAQI) da Universidade Federal de Santa Catarina, pela oportunidade de realizar o curso de doutorado;

Ao Prof. Dr. Gilberto José Pereira Onofre de Andrade pelas contribuições recebidas durante o desenvolvimento deste trabalho;

Aos professores e pesquisadores Jaime Fernando Ferreira, Gilberto José Pereira Onofre de Andrade, Marcos Caivano Pedroso de Albuquerque, Adriano Weidner Cacciatori Marenzi, Luís Hamilton Pospissil Garbossa, Walter Quadros Seiffert e Felipe Matarazzo Suplicy, por aceitarem participar da banca examinadora, como membros titulares e suplentes;

Ao assistente de administração do PGAQI, Carlito Aloísio Klunk, por todo o apoio recebido durante a realização do curso de doutorado;

Ao Centro de Desenvolvimento em Aquicultura e Pesca da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Santa Catarina – Epagri/Cedap, pela oportunidade de desenvolver este trabalho;

Ao gerente do Epagri/Cedap, Fabiano Müller Silva, por apoiar a realização deste doutorado;

Ao pesquisador Robson Ventura de Souza pelo incentivo para “despertar” para a ciência e para o *Rock and Roll* após um período de “fossilização”; pelo bom exemplo; pelas contribuições de engenharia; pelas críticas construtivas e pela parceria de sempre;

Ao pesquisador Alex Alves dos Santos, pelo inopinado e arrebatador convite para ingressarmos juntos no Programa de Pós-graduação em Aquicultura, para realização do curso de doutorado; pelas noites de estudo compartilhadas; pelas dúzias de ovos cozidos; pelas boas dicas; por estar sempre presente quando o “bicho pega”; pela parceria de sempre;

Aos pesquisadores Sérgio Wincker da Costa por todo apoio e encorajamento. Sérgio, as tuas dicas me auxiliaram muito;

Ao extensionista Fernando Soares Silveira pelo apoio e encorajamento; pelo chimarrão de cada dia; pelas conversas calorosas de sempre;

Ao extensionista Bento Garcia por todo o apoio e encorajamento;

Aos auxiliares de pesquisa João José Texeira Filho (Zero) e Vicente Júlio Siegel (Ganiza), que muito me alegram e que estão sempre à disposição para auxiliar no que for necessário;

À pesquisadora Penélope Bastos pelo auxílio no desenvolvimento da pesquisa sobre análise postural;

Aos pesquisadores Luiz Fernando de Novaes Vianna e Luís Hamilton Pospissil Garbossa pelo exemplo, aprendizado, parceria e troca de ideias;

Aos engenheiros, tecnólogos e técnicos Thiago, Hugo, Willian, Durval, Fernando e Aldo das empresas Hydreco Hydraulics e Rhino Tech do Brasil por toda a colaboração recebida no desenvolvimento deste trabalho;

À equipe do Laboratório de Moluscos Marinhos (LMM) da UFSC pelo apoio recebido no desenvolvimento deste trabalho;

À FAPESC - Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina, por financiar a execução deste trabalho. Aqui um agradecimento especial ao assessor de gestão de pesquisa Mário Ângelo Vidor, ao gerente técnico de pesquisa Nelton Antônio Menezes e à coordenadora de projetos Caroline Heidrich Seibert, por todo o apoio e confiança em mim depositados. Sem vocês tudo seria mais difícil.

RESUMO

O cultivo de mexilhões é uma realidade em Santa Catarina, com uma produção superior a 17.000 toneladas/ano. Todavia, ainda é uma atividade caracterizada pela intensa utilização de mão de obra. Os processos de produção adotados em grande parte das fazendas marinhas são rudimentares no que se refere à adoção de tecnologias de apoio à produção. A colheita é a etapa do processo de produção que compreende as operações mais árduas e exigentes de mão de obra. O presente trabalho teve como objetivo analisar operações não mecanizadas da colheita de mexilhões sob os enfoques operacional e ergonômico e com base nessa análise, propor melhorias de processo. Foram estudadas as operações de retirada do mar e desagregação dos mexilhões, que são as mais exigentes de mão de obra e esforços físicos nas unidades de produção. Para a avaliação do desempenho operacional foi adotada uma metodologia que combinou o Estudo de Tempos e Movimentos com parâmetros utilizados na análise de operações agrícolas mecanizadas. Os parâmetros avaliados foram: Tempo Padrão, Capacidade de Produção Operacional, Eficácia Operacional, Eficiência de Tempo, Retorno e Quebra. Os resultados obtidos apontaram que os tempos padrões de retirada do mar e de desagregação de uma corda de mexilhões, com peso médio de 21,9 kg, foram, respectivamente, 133,7 e 266,7 segundos; as capacidades de produção operacionais 0,16 e 0,08 kg.s⁻¹; as eficácias operacionais 100 e 31,6%; as eficiências de tempo 56 e 35%; os retornos 0 e 65% e as quebras 0 e 3,4%. Estes resultados indicam baixo desempenho operacional na realização da colheita não mecanizada de mexilhões. Na avaliação ergonômica das operações foi utilizado o método de análise postural OWAS (*Ovaco Working Postural Analysing System*), que permitiu avaliar os riscos de exposição dos trabalhadores a Distúrbios Osteomusculares Relacionados ao Trabalho (DORT). Em média, foram identificadas 35 posturas laborais na realização da retirada dos mexilhões do mar e 28 na desagregação dos mexilhões. Na retirada do mar, 74,4% das posturas adotadas foram enquadradas como nocivas à saúde dos trabalhadores, exigindo intervenções imediatas ou de curto prazo. Na desagregação esse percentual foi de 69%. Como proposta de melhoria do desempenho operacional e da ergonomia na colheita de mexilhões foram realizados o projeto e a prototipagem de um sistema mecanizado, concebido para realizar todas as operações da colheita de forma integrada, diretamente nas áreas aquícolas das fazendas marinhas.

Palavras Chave: Aquicultura, cultivo de mexilhões, maricultura, mecanização.

ABSTRACT

The mussels cultivation is a reality in Santa Catarina, with a yield higher than 17,000 tons/year. However, it is a labor-intensive activity. The production processes widely adopted in marine farms are rudimentary as regards the adoption of production support technologies. The harvesting is the stage of the production process that comprises the most arduous and demanding manpower operations. This study aimed to analyze non-mechanized mussels harvesting operations under the operational and ergonomic approaches. Based on this analysis, process improvements were proposed. The mussels ropes stripping and de-clumping, which are the higher manpower and physical effort demanding procedures in marine farms, were analyzed. The operational performances of these operations were assessed through a methodology that combined the Motion and Time Studies, with parameters used in operational performance analysis of mechanized farming operations. The parameters evaluated were: Standard Time, Operational Production Capacity, Operational Effectiveness, Time Efficiency, Return and Break. The results showed that the standard times of mussels ropes stripping and de-clumping, with an average weight of 21.9 kg, were respectively 133.7 and 266.7 seconds; operational production capacities were 0.16 and 0.08 kg.s⁻¹; operational efficiencies were 100 and 31.6%; time efficiencies were 56 and 35%; returns were 0 and 65% and the breaks were 0 and 3.4%. These results indicate low operational performance in the non-mechanized mussels harvesting. The ergonomic evaluation of operations was performed with the OWAS postural analysis method (Ovaco Working Posture Analysing System), which allowed assess the risks of workers exposure to Work-Related Musculoskeletal Disorders (MSDs). On average, were identified 35 labor postures in stripping and 28 postures in the de-clumping mussels ropes. In the stripping, 74,4% of the postures were classified as harmful to the workers musculoskeletal system, requiring immediate or short-term interventions in the workplace. In the de-clumping this percentage was 69%. As a proposal for improving the operational performance and ergonomics in the harvesting operations, were performed the design and prototyping of a mussels harvest mechanical system, developed to realize all mussels harvesting operations in an integrated manner, directly at marine farms production areas.

Keywords: Aquaculture, mussel cultivation, mariculture, mechanization.

LISTA DE FIGURAS

INTRODUÇÃO

Figura 1 - Evolução da participação da aquicultura na produção mundial de pescado	19
Figura 2 - Aspecto externo de mexilhões da espécie Perna perna.....	21
Figura 3 - Representação ilustrativa de parques e áreas aquícolas.....	23
Figura 4 - Fluxograma dos processos de produção de mexilhões em ciclo completo e sem desdobre.....	25
Figura 5 - Fluxograma do processo de produção direta de mexilhões em coletores manufaturados de sementes.....	26

CAPÍTULO I

Figura 1 - Sistema de cultivo adotado na área experimental.....	36
Figura 2 - Fluxograma do processo de colheita de mexilhões adotado na unidade de produção da área experimental.....	41
Figura 3 - Proposta de simplificação e melhoria no processo de colheita de mexilhões	50

CAPÍTULO III

Figura 1 - Metodologia utilizada no projeto do sistema mecanizado de colheita de mexilhões	83
Figura 2 - Estrutura funcional do sistema mecanizado de colheita de mexilhões	87
Figura 3 - Configuração do sistema mecanizado de colheita de mexilhões	93
Figura 4 - Modelo gráfico da plataforma autopropelida.....	94
Figura 5 - Modelo gráfico dos guinchos de coluna do subsistema de elevação de carga	95
Figura 6 - Modelo gráfico do subsistema de sustentação de espinhéis .	96
Figura 7 - Modelo gráfico do extrator de mexilhões dos cabos centrais das cordas de cultivo.....	97
Figura 8 - Modelo gráfico da máquina desagregadora de mexilhões....	98

Figura 9 - Modelo gráfico da máquina lavadora de mexilhões	99
Figura 10 - Modelo gráfico da máquina classificadora de mexilhões..	100
Figura 11 - Esquema da unidade hidráulica do sistema de colheita de mexilhões	101
Figura 12 - Protótipos do sistema mecanizado de colheita de mexilhões	104

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I

Tabela 1 - Tempos padrões dos elementos da operação de retirada dos mexilhões do mar.....	43
Tabela 2 - Tempos padrões dos elementos da operação de desagregação dos mexilhões	44
Tabela 3 - Composição dos tempos das operações	44
Tabela 4 - Parâmetros operacionais das operações	45

CAPÍTULO II

Tabela 1 - Dígitos identificadores de posturas e classes de cargas manipuladas.....	60
Tabela 2 - Categorias de risco de ocorrência de DORT	61
Tabela 3 - Categorias de risco de ocorrência de DORT das posturas do corpo.....	62
Tabela 4 - Categorias de riscos de DORT em função da frequência de ocorrência das posições das partes do corpo	63
Tabela 5 - Quantidade de posturas laborais por classe de risco de ocorrência de DORT	66
Tabela 6 - Frequências percentuais de posturas laborais por classe de risco de ocorrência de DORT	66
Tabela 7 - Frequências percentuais das categorias de risco de DORT de acordo com as posições das partes do corpo	67
Tabela 8 - Frequência percentual das posturas laborais mais nocivas adotadas pelos trabalhadores.....	68

CAPÍTULO III

Tabela - Especificações de projeto do sistema mecanizado de colheita de mexilhões	86
Tabela 2 - Matriz morfológica do sistema mecanizado de colheita de mexilhões	88
Tabela 3 - Matriz de avaliação de princípios de solução.....	91

Tabela 4 - Composição dos custos de fabricação dos protótipos103

Tabela 5 - Análise do atendimento das especificações técnicas do projeto do sistema de colheita de mexilhões105

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	19
OBJETIVOS	28
ESTRUTURA DA TESE	28
CAPÍTULO I - DESEMPENHO OPERACIONAL NA COLHEITA NÃO MECANIZADA DE MEXILHÕES CULTIVADOS	31
RESUMO	32
ABSTRACT	33
INTRODUÇÃO	34
MATERIAL E MÉTODOS	36
RESULTADOS	40
CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO DE COLHEITA DE MEXILHÕES	40
PARÂMETROS OPERACIONAIS	42
DISCUSSÃO	45
CAPACIDADE DE PRODUÇÃO OPERACIONAL	46
EFICÁCIA OPERACIONAL	47
EFICIÊNCIA DE TEMPO	47
VARIABILIDADE NOS TEMPOS DE REALIZAÇÃO DAS OPERAÇÕES	48
ARRANJO FÍSICO DO PROCESSO DE COLHEITA	48
CONCLUSÃO	50
AGRADECIMENTOS	51
REFERÊNCIAS	51
CAPÍTULO II - ANÁLISE DE RISCOS POSTURAIS NA COLHEITA NÃO MECANIZADA DE MEXILHÕES CULTIVADOS	55
RESUMO	56
ABSTRACT	57

INTRODUÇÃO.....	58
MATERIAL E MÉTODOS.....	60
OS FUNDAMENTOS DO MÉTODO OWAS.....	60
ANÁLISE DA COLHEITA DE MEXILHÕES.....	63
RESULTADOS	66
DISCUSSÃO.....	68
CONCLUSÃO.....	70
AGRADECIMENTOS	71
REFERÊNCIAS.....	71
CAPÍTULO III - PROJETO E PROTOTIPAGEM DE UM SISTEMA MECANIZADO DE COLHEITA DE MEXILHÕES CULTIVADOS.....	77
RESUMO.....	78
ABSTRACT.....	79
INTRODUÇÃO.....	80
MATERIAL E MÉTODOS.....	82
RESULTADOS	85
FIGURA 11 – ESQUEMA DA UNIDADE HIDRÁULICA DO SISTEMA DE COLHEITA DE MEXILHÕES.....	101
DISCUSSÃO.....	105
O REPROJETO DE SOLUÇÕES EXISTENTES	105
ATENDIMENTO DAS ESPECIFICAÇÕES DE PROJETO	109
DESAFIOS ENCONTRADOS NO PROJETO E NA PROTOTIPAGEM DO SISTEMA DE COLHEITA	110
CONCLUSÃO.....	111
AGRADECIMENTOS	112
REFERÊNCIAS.....	112
CONSIDERAÇÕES FINAIS	121
REFERÊNCIAS DA INTRODUÇÃO.....	123

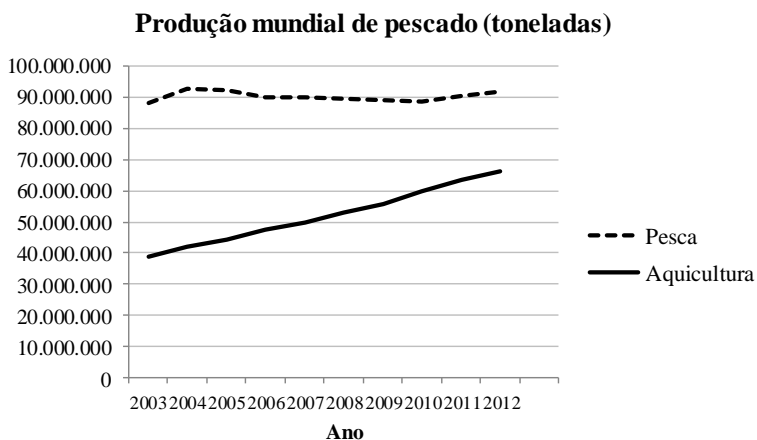
INTRODUÇÃO

A aquicultura, que envolve o cultivo de organismos aquáticos, é considerada como um dos caminhos mais eficientes para a redução do déficit entre a demanda e a oferta de pescado no mercado (CAVALLI; FERREIRA, 2010). Isto tem feito com que sua participação na produção mundial de pescado tenha aumentado significativamente nos últimos anos (figura 1).

De acordo com a Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação, a produção mundial de pescado tem crescido gradativamente, atingindo 158 milhões de toneladas em 2012, gerando uma receita de 144,4 bilhões de dólares (FAO, 2014). Neste contexto, a captura em ambiente natural (pesca) manteve-se oscilando em torno de 90 milhões de toneladas, enquanto a aquicultura cresceu em uma taxa média de 6,2% ao ano, no período 2000-2012 (FAO, 2014).

Os moluscos marinhos contribuem com 22,3% da produção mundial do pescado proveniente da aquicultura (FAO, 2014) e a mitilicultura, ou cultivo de mexilhões, 13,4% da produção mundial de moluscos marinhos, totalizando 1,99 milhões de toneladas (FAO, 2014; HEINONEN, 2014).

Figura 1– Evolução da participação da aquicultura na produção mundial de pescado (FAO, 2014).



O Brasil é o segundo maior produtor de mexilhões da América Latina, ficando somente atrás do Chile, em volume de produção. Apesar

disso, o volume produzido no País representa apenas 0,9% da produção mundial (MPA, 2011; FAO, 2014; SANTOS; COSTA, 2015).

A mitilicultura tem demonstrado ser uma opção de trabalho e renda em comunidades pesqueiras tradicionais do litoral brasileiro e uma forma de produzir proteína animal com baixo impacto ambiental, de acordo com os critérios de classificação definidos pela legislação brasileira (BRASIL, 2009).

No Brasil, as primeiras iniciativas relacionadas à mitilicultura datam da década de setenta, através de trabalhos desenvolvidos pelo Instituto de Pesca de São Paulo e pelo Instituto de Pesquisas da Marinha. Porém, o cultivo de mexilhões com fins comerciais é algo mais recente, tendo iniciado a partir do final da década de oitenta, em comunidades de pescadores artesanais do estado de Santa Catarina (ROSA, 1997; OLIVEIRA NETO, 2005; FERREIRA; MAGALHÃES, 2011), como resultado da ação conjunta dos serviços de pesquisa e extensão realizados pela Universidade Federal de Santa Catarina e pela ACARPESC¹ (atual Epagri – Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina).

Segundo o Ministério da Pesca e Aquicultura (MPA, 2011), o estado de Santa Catarina responde pela quase totalidade da produção nacional de mexilhões. Dados da safra estadual 2014/2015 apontam que a produção catarinense foi de 17.853,1 toneladas, o que equivale a 83% da produção total de moluscos marinhos cultivados em Santa Catarina (SANTOS; COSTA, 2015).

A espécie *Perna perna*

A mitilicultura brasileira é fundamentada no cultivo da espécie nativa *Perna perna* (Linnaeus, 1758) (figura 2). O *Perna perna* é um molusco bivalve que pertence à família Mytilidae. Ocorre naturalmente no sul, sudeste, sudoeste, norte, nordeste e noroeste da África (incluindo parte do mar Mediterrâneo), Sri Lanka (VAKILY, 1989), Caribe, Ilhas Canárias (MAGALHÃES; FERREIRA, 2004), na costa atlântica da América do Sul, Venezuela e Argentina (RIOS, 2009).

O *Perna perna* não apresenta esqueleto interno e tem seu corpo contido em uma concha formada por duas valvas, unidas por um ligamento. É uma espécie dióica e não apresenta dimorfismo sexual externo. A distinção entre machos e fêmeas ocorre após a abertura da concha, pela observação da coloração das gônadas de animais

¹ ACARPESC – Associação de Crédito e Assistência Pesqueira de Santa Catarina.

sexualmente maduros. Machos apresentam gônadas com coloração branco-leitosa e, as fêmeas, vermelho-alaranjado.

A reprodução dessa espécie ocorre por meio de fecundação externa, com grande produção de gametas, que são liberados na água do mar. Sua alimentação se dá por filtragem seletiva por tamanho de partículas de materiais orgânicos, inorgânicos e de microalgas. Seu crescimento é condicionado por fatores bióticos como o ambiente de cultivo, temperatura, taxa de circulação de água e densidade de indivíduos em uma determinada área, os quais interferem, fundamentalmente, na quantidade e qualidade de alimento disponível e nas eficiências de ingestão e digestão (MAGALHÃES; FERREIRA, 2004).

O mexilhão *Perna perna* é cultivado com o objetivo principal de produzir alimento. Os animais são comercializados vivos, cozidos desconchados, cozidos na meia concha, em conservas ou pratos prontos. Mesmo com essa aptidão, têm surgido iniciativas buscando utilizar suas conchas com outras finalidades, tais como a produção de cal para fabricação de argamassa (TRISTÃO; CALDERÓN; REMBISKI, 2009), corretivos de solo, blocos estruturais e blocos de pavimentação (CHIERIGHINI et al., 2011; TENÓRIO et al., 2014).

Figura 2 – Aspecto externo de mexilhões da espécie *Perna perna*.



A mitilicultura em Santa Catarina

Há cultivos de mexilhões instalados em onze municípios da costa catarinense: Palhoça, São José, Florianópolis, Biguaçu, Governador Celso Ramos, Bombinhas, Porto Belo, Itapema, Balneário Camboriú, Penha e São Francisco do Sul (SANTOS; COSTA, 2015). O município de Palhoça destaca-se como o maior produtor, com uma produção anual de 12.580 toneladas (SANTOS; COSTA, 2015).

Estima-se que a produção de mexilhões em Santa Catarina ultrapassará os patamares atuais devido ao incremento no número e no tamanho das áreas aquícolas² (figura 3), que está sendo proporcionado pelo processo de regularização da maricultura no Estado (NOVAES et al., 2011a). Cerca de 70% das áreas aquícolas planejadas neste processo já foram cedidas a maricultores e 23 parques aquícolas³ (dos 24 setorizados) já possuem licenças ambientais de operação. Ao todo são 1.280 hectares de áreas aquícolas que serão disponibilizadas para a produção de moluscos bivalves.

Os municípios de Palhoça, São José, Florianópolis, Biguaçu e Governador Celso Ramos concentram 68% do total de áreas aquícolas planejadas, enquanto que os municípios de Bombinhas, Porto Belo, Itapema, Balneário Camboriú e Penha concentram 22% e os municípios de São Francisco do Sul e Balneário Barra do Sul, 10%.

Atualmente há 558 unidades de produção de mexilhões (fazendas marinhas) em operação em Santa Catarina (SANTOS; COSTA, 2015). A maior parte delas é ocupada por pequenos produtores, que adotam o regime de economia familiar e que dispõem de áreas aquícolas com superfície igual ou inferior a 2,1 ha. Os produtores apresentam perfis diversificados, havendo tanto aqueles com nível superior de escolaridade, com experiência empresarial, quanto pessoas não alfabetizadas, mas dotadas de experiência na pesca e na maricultura.

As unidades de produção são geralmente compostas de áreas aquícolas e unidades de apoio em terra. Nas áreas aquícolas encontram-se instaladas as estruturas de cultivo (espinheis ou longlines, balsas, mesas, varais) e nas unidades de apoio terrestre, que são edificações de

²Área aquícola - espaço físico contínuo em meio aquático, delimitado, destinado a projetos de aquicultura, individuais ou coletivos (BRASIL, 2003);

³Parque aquícola: espaço físico contínuo em meio aquático, delimitado, que compreende um conjunto de áreas aquícolas afins, em cujos espaços físicos intermediários podem ser desenvolvidas outras atividades compatíveis com a prática da aquicultura (BRASIL, 2003).

variados tipos, realizam-se operações produtivas e armazenam-se insumos e equipamentos utilizados no processo de produção.

De acordo com os critérios de classificação de empresas adotado pelo Serviço de Apoio às Micro e Pequenas Empresas de Santa Catarina, apresentados por Candido et. al., (2010) e Sebrae, (2013), as unidades de produção existentes no Estado são empreendimentos de micro ou pequeno porte.

Figura 3 – Representação ilustrativa de parques e áreas aquícolas (NOVAES; SOUZA; SUPPLY, 2014).



Processos de produção

São basicamente três os processos de produção de mexilhões adotados em Santa Catarina: produção em ciclo completo (figura 4), produção sem desdobre (figura 4) e produção direta em coletores manufaturados de sementes (figura 5).

No processo de ciclo completo os mexilhões são encordoados em densidades elevadas (em torno de 900 sementes por metro linear de corda de cultivo) e colocados no mar para se desenvolverem. Após 4 a 6 meses, os produtores retiram as cordas do mar, processo este denominado “colheita”, desagregam os mexilhões, classificam-nos por tamanho e encordoam-nos novamente em densidades menores (600 indivíduos/metro) e em classes mais homogêneas de tamanho. Após o

encordoamento, os mexilhões são novamente colocados no mar para crescimento, sendo manipuladas novamente somente na ocasião da colheita definitiva.

No processo de produção sem desdobre, os mexilhões são encordoados em densidades menores (entre 600 - 700 sementes/metro) e colocados no mar para se desenvolverem até a colheita, não havendo interferência do produtor neste intervalo de tempo.

A produção direta em coletores manufaturados de sementes é um processo mais recente, posto em prática pelos produtores há cerca de oito anos, em algumas localidades dos municípios de Palhoça, Florianópolis, Governador Celso Ramos e Bombinhas, como uma alternativa para reduzir despesas com mão de obra. Nesse processo, coletores manufaturados de sementes são instalados no mar nos períodos do ano em que ocorrem as maiores desovas de mexilhões. Ao atingirem o estágio de assentamento, as larvas de mexilhões até então planctônicas, se fixam nos coletores e se desenvolvem até a colheita, quando os animais apresentam cerca de 80 mm de comprimento.

Há vantagens e desvantagens nos três processos de produção de mexilhões e a opção por um ou outro geralmente tem sido condicionada por fatores como: a estratégia de comercialização adotada pelos produtores, a disponibilidade de mão de obra, o tamanho da área aquícola, a profundidade da área aquícola e a disponibilidade de sementes.

As etapas de colheita e pós-colheita são comuns em todos os processos, mas nem todos os produtores realizam todas as suas operações, optando em vender mexilhões em cordas inteiras ou simplesmente desagregados, por um preço que costuma ser inferior.

As sementes utilizadas na produção de mexilhões são provenientes de quatro fontes: desdobre de cordas de cultivo, assentamento remoto de pós-larvas, coletores manufaturados de sementes e estoques naturais. O acesso a estoques naturais de sementes é regulado e restrito, conforme dispõe a Instrução Normativa IBAMA nº 105, publicada em julho de 2006 (IBAMA, 2006) e isso tem feito com que as demais alternativas de obtenção de sementes tenham sido adotadas com mais frequência recentemente, com destaque para os coletores manufaturados, que oferecem praticidade e baixo custo.

Figura 4 – Fluxograma dos processos de produção de mexilhões em ciclo completo e sem desdobre.

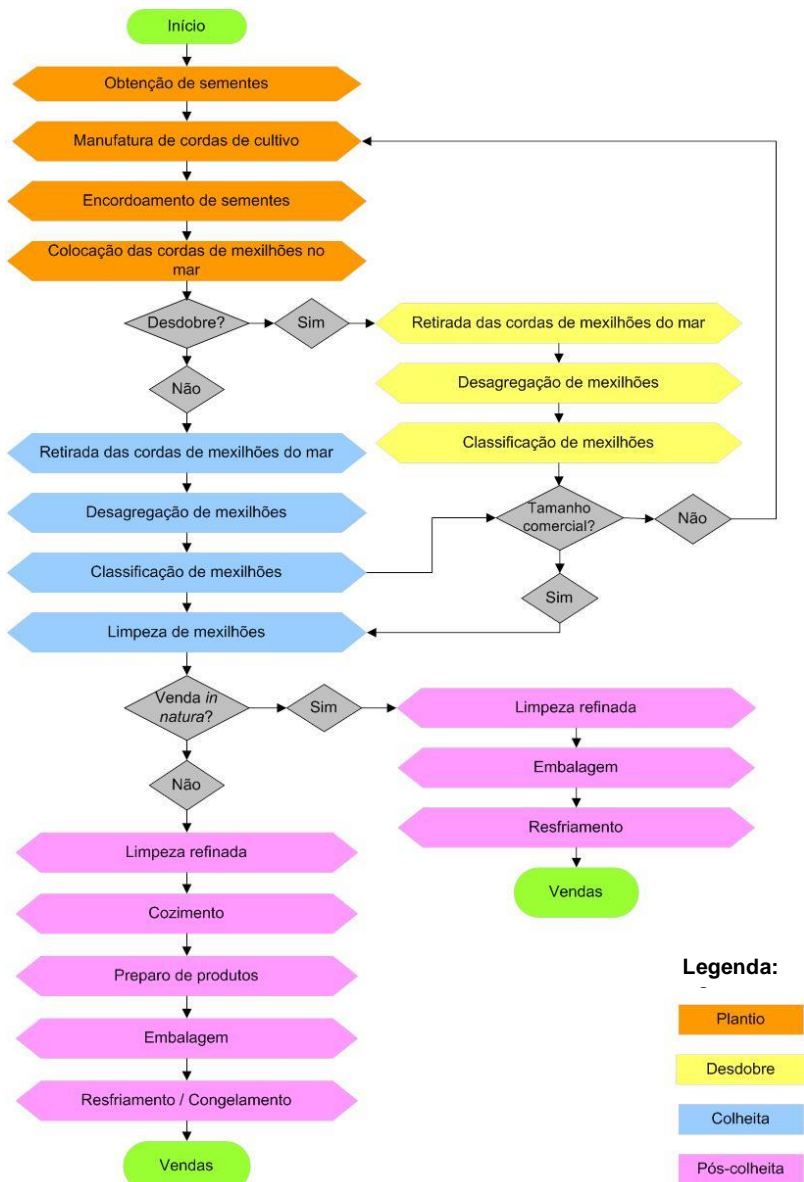
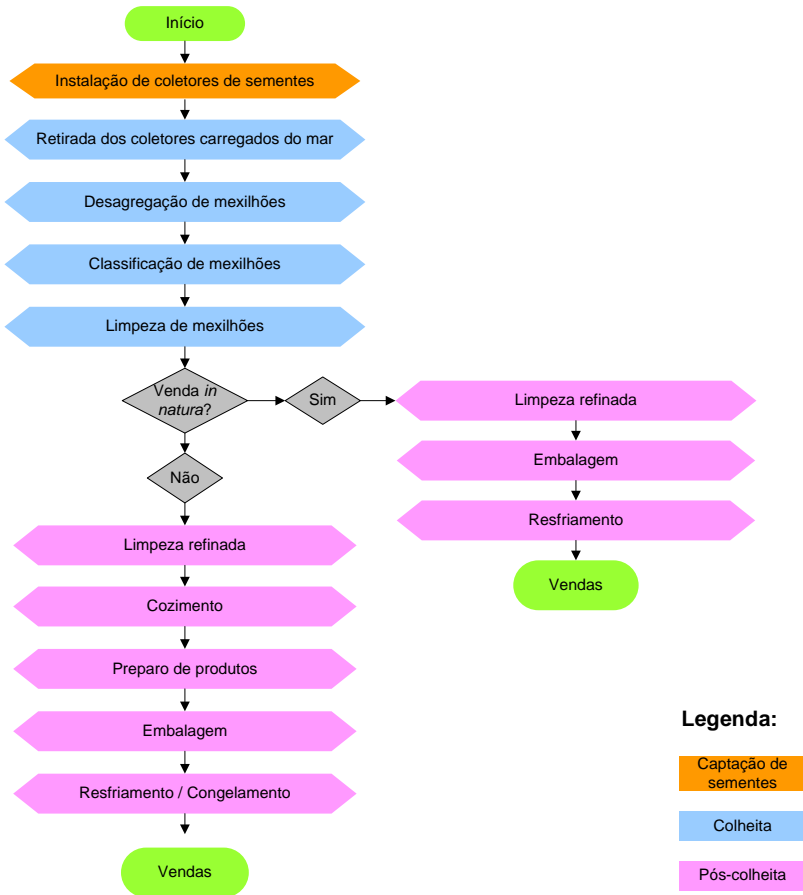


Figura 5 – Fluxograma do processo de produção direta de mexilhões em coletores manufaturados de sementes.



Desempenho operacional e ergonomia no processo de produção de mexilhões

Apesar do seu desenvolvimento relativamente rápido e da perspectiva de um cenário promissor em Santa Catarina, a mitilicultura praticada no Estado ainda é bastante artesanal. De modo geral, os cultivos são caracterizados pelo baixo grau de evolução tecnológica, baixa utilização de mecanização, predominância de trabalho manual e uso de força física (SCALICE, 2003; MARENZI et al., 2008; MERINO et al., 2009; DUTRA et al., 2011; STEFANI et al., 2011).

A utilização intensa de mão de obra nos cultivos interfere de forma negativa nos custos de produção, afetando o desempenho econômico da atividade. Despesas com mão de obra chegam a representar mais de 30% dos custos variáveis de produção (SOUZA FILHO; HERZOG; FRANKEN, 2004; MANZONI; MARTINS, 2006; NOVAES et al., 2011b).

Esse modelo de produção restringe a produtividade e a rentabilidade das unidades de produção (NOVAES et al., 2011c), comprometendo a competitividade destes empreendimentos frente a um mercado aberto e globalizado. Sem o auxílio de tecnologias de mecanização, os produtores deixam de explorar o potencial de produção que suas áreas aquícolas oferecem em função da sua baixa capacidade de produção operacional na execução das operações produtivas e da limitação de esforços físicos que podem realizar em seu trabalho cotidiano.

Outra consequência da não adoção dessas tecnologias é a forma pouco ergonômica com que os trabalhadores têm realizado suas atividades nas unidades de produção. Sintomas como dores nas costas, braços e pernas, lesões musculares e em tendões, hérnias, problemas circulatórios, dermatites e ferimentos ocasionados pela manipulação das conchas dos mexilhões costumam ser relatados com frequência pelos trabalhadores envolvidos na produção (MERINO et al., 2009; DUTRA et al., 2011; STEFANI et al., 2011).

Embora a baixa capacidade de produção e a exposição dos trabalhadores a riscos ocupacionais ocasionados pela sobrecarga de esforços físicos sejam problemas percebidos por produtores e técnicos que atuam na mitilicultura em Santa Catarina, estas têm sido questões pouco exploradas em pesquisas que objetivam melhorias nos processos de produção.

Este trabalho buscou avançar nesse campo do conhecimento. Utilizando a etapa de colheita de mexilhões como objeto de estudo, foram aplicadas abordagens metodológicas com a finalidade de avaliar o desempenho operacional e o grau de exposição dos trabalhadores a fatores de risco de ocorrência de Distúrbios Osteomusculares Relacionados ao Trabalho (DORT) ao realizarem operações produtivas não mecanizadas. A partir desse diagnóstico foi elaborada uma proposta de melhoria no processo de colheita, materializada através do projeto e prototipagem de um sistema mecanizado de colheita de mexilhões cultivados.

A escolha da colheita para a realização do estudo ocorreu por se tratar da etapa do processo de produção de mexilhões que exige mais

mão de obra e esforços físicos. Na colheita foram selecionadas as operações de retirada do mar e desagregação dos mexilhões para análise por serem as mais árduas e amplamente realizadas nas unidades de produção.

OBJETIVOS

Objetivo Geral

Contribuir com o desenvolvimento da mitilicultura catarinense, através da proposição de melhorias no processo de colheita de mexilhões cultivados.

Objetivos Específicos

- a) Avaliar o desempenho operacional dos trabalhadores na realização das operações de retirada do mar e desagregação dos mexilhões cultivados, sem o auxílio de mecanização;
- b) Avaliar o nível de exposição a riscos de ocorrência de Distúrbios Osteomusculares Relacionados ao Trabalho (DORT) dos trabalhadores ao realizarem as operações de retirada do mar e desagregação dos mexilhões, sem o auxílio mecanização;
- c) Projetar um sistema mecanizado de colheita de mexilhões;
- d) Realizar a prototipagem do sistema mecanizado de colheita de mexilhões.

ESTRUTURA DA TESE

O conteúdo da tese foi estruturado em quatro partes: uma introdução geral e três capítulos, organizados da forma descrita abaixo:

Capítulo 1 – Neste capítulo é apresentado o artigo científico intitulado **Desempenho Operacional na Colheita Não Mecanizada de Mexilhões Cultivados**. Este artigo aborda a aplicação de uma metodologia que combinou o Estudo de Tempos e Movimentos com parâmetros utilizados na avaliação de operações agrícolas mecanizadas, com a finalidade de levantar informações sobre o desempenho operacional na realização das atividades de retirada do mar e desagregação dos mexilhões, sem auxílio de mecanização. Nesse artigo

são demonstrados os procedimentos e o resultado da análise de parâmetros operacionais como Tempo Padrão, Capacidade de Produção Operacional, Eficácia Operacional, Eficiência de Tempo, Retorno e Quebra das operações e se discute sobre a utilização desse tipo de informação como referência para a proposição e avaliação de melhorias no processo de colheita de mexilhões cultivados.

Capítulo 2 – Neste capítulo é apresentado o artigo científico intitulado **Análise de Riscos Posturais na Colheita Não Mecanizada de Mexilhões Cultivados**. Este artigo aborda a aplicação de uma metodologia de análise ergonômica focada no estudo das posturas laborais adotadas pelos trabalhadores envolvidos na colheita de mexilhões, especificamente ao realizarem as operações de retirada do mar e desagregação dos mexilhões, sem o auxílio de mecanização. A base da análise ergonômica foi a utilização do método de análise postural OWAS (*Ovaco Working Posture Analysing System*), que permitiu quantificar os riscos de exposição dos trabalhadores a DORT.

Capítulo 3 – Neste capítulo é apresentado o artigo científico intitulado **Projeto e Prototipagem de um Sistema Mecanizado de Colheita de Mexilhões Cultivados**. Este artigo aborda a metodologia e os resultados alcançados nos processo de projeto e prototipagem de um sistema mecanizado, que foi concebido como uma proposta de melhoria a ser implementada na colheita de mexilhões *Perna perna* cultivados no Brasil.

CAPÍTULO I - DESEMPENHO OPERACIONAL NA COLHEITA NÃO MECANIZADA DE MEXILHÕES CULTIVADOS

André Luís Tortato Novaes¹, Gilberto José Pereira Onofre de Andrade²,
Aimê Rachel Magenta Magalhães².

¹ Epagri - Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina, Centro de Desenvolvimento em Aquicultura e Pesca. Rodovia Admar Gonzaga, 1188, Itacorubi, CEP 88034-901, Florianópolis, SC, Brasil. novaes@epagri.sc.gov.br.

² Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Aquicultura. Rodovia Admar Gonzaga, 1346, Itacorubi, CEP 88034-001, Florianópolis, SC, Brasil. gilberto.andrade@ufsc.br, aime.rachel@ufsc.br.

*Artigo formatado de acordo com as normas editoriais do periódico
Boletim do Instituto de Pesca.

RESUMO

Embora a produção de mexilhões cultivados no litoral catarinense já tenha ultrapassado a marca de 17.000 toneladas/ano, os processos de produção continuam artesanais, demandando muita mão de obra e tempo na realização das suas etapas. O objetivo deste estudo foi levantar informações sobre o desempenho operacional na realização da colheita não mecanizada de mexilhões cultivados. Foram analisadas as operações de retirada do mar e desagregação dos mexilhões, que são as mais exigentes de esforços nas fazendas marinhas produtoras. Para esse fim, foi utilizada uma abordagem metodológica que combinou o Estudo de Tempos e Movimentos com parâmetros utilizados na avaliação do desempenho operacional de máquinas agrícolas. Os parâmetros calculados para ambas as operações foram o Tempo Padrão, a Capacidade de Produção Operacional, a Eficácia Operacional, a Eficiência de Tempo, o Retorno e a Quebra. Os resultados obtidos apontam que os tempos padrões de retirada do mar e de desagregação de uma corda de mexilhões, com peso médio de 21,9 kg, e comprimento médio de 0,85 m foram, respectivamente, 133,7 e 266,7 segundos; as capacidades de produção operacionais foram 0,16 e 0,08 kg.s⁻¹; as eficácias operacionais 100 e 31,6%; as eficiências de tempo 56 e 35%; os retornos 0 e 65% e as quebras 0 e 3,4%. Estes resultados indicam baixo desempenho operacional na realização da colheita não mecanizada de mexilhões. Como proposta de melhoria de desempenho sugere-se uma nova formatação do arranjo físico do processo de colheita com a mecanização das operações.

Palavras-chave: capacidade de produção operacional; cultivo de mexilhões; maricultura; mecanização.

ABSTRACT

Although the cultivated mussels yield in the Santa Catarina State has already exceeded 17,000 tons/year, production processes remain handmade, requiring a lot of manpower and time to perform its steps. The aim of this study was to gather information about the operational performance on the non-mechanized mussels harvesting. The stripping and de-clumping mussels ropes operations, which are the higher effort demanding procedures in marine farms, were analyzed. To achieve this goal, an approach that combined the Time and Motion Study with parameters used in evaluating of agricultural machinery operational performance was applied. The parameters calculated for both operations were Standard Time, Operational Production Capacity, Operational Effectiveness, Time Efficiency, Return and Break. The results indicate that the standards times to stripping and de-clumping mussels ropes, with an average weight of 21.9 kg and average length of 0.85 m, were respectively, 133,7 and 266.7 seconds. The operational production capacities were 0.16 and 0.08 Kg.s⁻¹; operational effectiveness 100 and 31.6%; time efficiencies 56.3 and 23.5%; returns 0 and 65% and the breaks 0 and 3.4%. These results mean low operational performance on the non-mechanized mussels harvesting. As a proposal for performance improvement, it's suggested a new harvest process layout with the operations mechanization.

Keywords: operational production capacity; mussel cultivation; shellfish production; mechanization.

INTRODUÇÃO

De acordo com o boletim estatístico da pesca e aquicultura, publicado pelo Ministério da Pesca e Aquicultura (MPA, 2011), o cultivo de mexilhões representa 18,9% da produção aquícola marinha brasileira. O estado de Santa Catarina lidera a produção nacional de mexilhões, tendo ultrapassado a marca de 17.000 toneladas na safra 2014-2015 (SANTOS e COSTA, 2015). Apesar disso, os cultivos ainda são caracterizados pelo baixo grau de evolução tecnológica, com predominância de trabalho manual e uso de força física (MARENZI, *et al.*, 2008; MERINO *et al.*, 2009; DUTRA *et al.*, 2011; STEFANI *et al.*, 2011). Esse modelo influencia de forma negativa a produtividade e capacidade de geração de receita nos empreendimentos, fazendo com que os produtores acabem deixando de explorar o potencial que suas áreas aquícolas oferecem (NOVAES, 2011b).

Dentre as etapas do processo de produção de mexilhões, a colheita, aqui considerada como o conjunto de operações produtivas realizadas entre a retirada das cordas de mexilhões do mar e a disponibilização dos mexilhões desagregados, classificados, limpos e acondicionados em contentores, é a que apresenta maior número de operações produtivas. A retirada do mar, que envolve todas as tarefas necessárias para remover as cordas de mexilhões das estruturas de cultivo na água e disponibilizá-las em terra e a desagregação, que engloba as tarefas que objetivam remover os mexilhões das cordas de cultivo e individualizá-los, são as operações mais árduas e amplamente realizadas nas fazendas marinhas produtoras.

Na colheita se concentra o maior volume de trabalho e necessidade de mão de obra. Justamente por isso, é uma etapa que oferece oportunidades para melhorias, tanto no desempenho operacional, quanto na segurança dos trabalhadores envolvidos. De acordo com LOPES *et al.* (2009), a avaliação dos sistemas de colheita, independentemente do grau de mecanização adotado, é uma ferramenta fundamental para correções ou alterações de processos de produção, visando a racionalização e otimização de recursos.

O Estudo de Tempos e Movimentos (ETM) é uma metodologia sempre associada a estratégias de melhoria de processos (SAURMAN *et al.*, 2014). Evoluiu dos princípios da administração científica, propostos por Frederick W. Taylor no início do século 20, através do estudo de tempos e do estudo de movimentos, proposto por Frank e Lillian Gilbreth (BAUMGART e NEUHAUSER, 2009; CADY *et al.*, 2010; LOPETEGUI *et al.*, 2014). O estudo de tempos, introduzido por Taylor,

foi usado principalmente na determinação de tempos padrões de operações e o estudo de movimentos, desenvolvido pelo casal Gilbreth, foi empregado na melhoria de métodos de trabalho (BARNES, 1977).

O ETM envolve o registro sistemático e o exame crítico dos métodos existentes e propostos de fazer o trabalho, como um meio de desenvolver e aplicar métodos mais fáceis e eficazes, visando reduzir custos (SLACK *et al.*, 1997). Na sua aplicação utilizam-se técnicas que submetem cada operação de um dado processo a uma análise detalhada, com a finalidade de investigar todos os fatores que afetam a eficiência e a economia do trabalho e eliminar elementos desnecessários à sua execução (SLACK *et al.*, 1997; PEINALDO e GRAEML, 2007).

ANTUNES *et al.* (2008), classificam as atividades que não adicionam valor ao produto e que devem ser eliminadas do sistema de produção como desperdícios. Para estes autores, a eliminação de desperdícios tem sido uma das principais preocupações das abordagens de engenharia de produção disseminadas no contexto industrial, com vistas à melhoria dos sistemas produtivos. Segundo CHASE *et al.* (2006); ANTUNES *et al.* (2008) e PERGHER *et al.* (2011), o Sistema Toyota de Produção (STP) é uma das abordagens que propõe a melhoria dos processos de produção por meio da eliminação de desperdícios. Nela, os desperdícios são categorizados como superprodução, transporte, processamento, produção de produtos defeituosos, esperas, movimentação e estoque.

Embora o ETM seja uma metodologia consolidada em empresas de produção de bens de consumo e de prestação de serviços, durante o desenvolvimento da presente pesquisa não foram identificadas referências de sua utilização na análise de processos de produção aquícolas. Nas ciências agrárias, há referências da utilização do ETM no estudo de operações agrícolas mecanizadas e na avaliação técnica de operações florestais, conforme se observa nos trabalhos de MIALHE (1974), MOREIRA *et al.* (2004), SILVA *et al.* (2004), LOPES *et al.* (2009), SIMÕES e SILVA (2010), SIMÕES e FENNER (2010) e SIMÕES *et al.* (2011).

O presente trabalho faz parte de uma pesquisa mais ampla, que busca projetar, construir e avaliar um sistema mecanizado de colheita de mexilhões cultivados. O objetivo aqui foi levantar informações sobre o desempenho operacional na realização da colheita não mecanizada, especificamente das operações de retirada do mar e desagregação dos animais. Para esse fim, foi utilizada uma abordagem metodológica que combinou o Estudo de Tempos e Movimentos (ETM) com parâmetros utilizados na avaliação de desempenho operacional de operações

agrícolas mecanizadas. Estas informações serão utilizadas como referência para o estabelecimento de especificações técnicas no projeto informacional do sistema mecanizado de colheita e na avaliação do seu desempenho operacional.

MATERIAL E MÉTODOS

O material biológico utilizado na presente estudo foi o mexilhão *Perna perna* (Linnaeus, 1758), molusco bivalve nativo, de ampla distribuição geográfica na costa brasileira.

A pesquisa foi realizada entre março e abril de 2014, em uma unidade de produção comercial (fazenda marinha) localizada no município de Palhoça/SC - Brasil (coordenadas geográficas 27°42'59.47"S, 48°37'58.03"W – Datum WGS 84), que dispõe de 15 hectares de áreas aquícolas e produz cerca de 400 toneladas de mexilhões/ano.

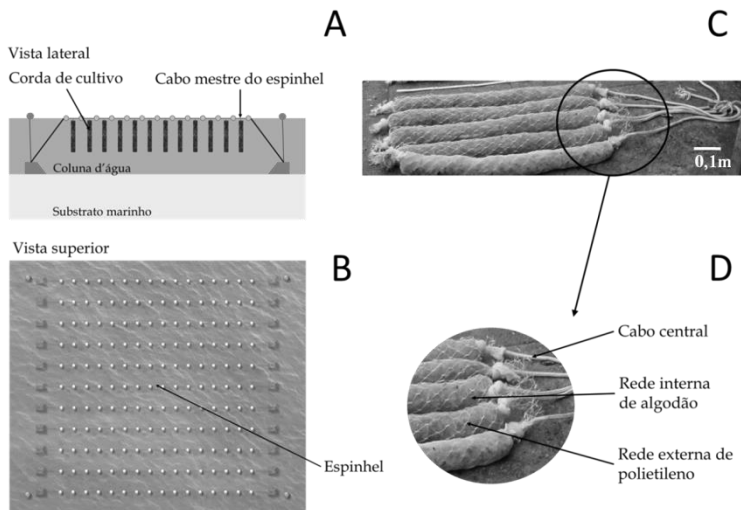


Figura 1 – Sistema de cultivo adotado na área experimental: A – Esquema da vista lateral dos espinhéis; B – Esquema da vista superior dos espinhéis; C – Cordas com sementes de mexilhões; D - Sistema de encordoamento dos mexilhões.

Nesta empresa, mexilhões *Perna perna* são cultivados em cordas individuais, em sistema de cultivo suspenso flutuante tipo espinhel ou longline (figuras 1-A e 1-B). As cordas de cultivo (figura 1-C) são manufaturadas com cabo central, rede interna de algodão e rede externa de polietileno, com malha de 60 mm (figura 1-D), apresentando, em

média, comprimento útil de 0,85 m e massa de 21,9 Kg no momento da colheita.

A metodologia adotada para o estudo de tempos e movimentos envolveu as seguintes etapas: 1) caracterização do processo de colheita adotado na unidade de produção; 2) divisão das operações de retirada do mar e desagregação de mexilhões em elementos de operações; 3) definição de pontos de leitura de tempo; 4) cronometragem dos elementos das operações; 5) cronometragem dos tempos de produção, de preparação e de interrupção das operações; 6) pesagem dos mexilhões processados nas operações; 7) cálculo de parâmetros operacionais.

Os parâmetros operacionais calculados foram o tempo padrão das operações e dos seus elementos e a capacidade de produção operacional, a eficiência de tempo, a eficácia operacional, a quebra e o retorno das operações.

O tempo padrão é um parâmetro chave no ETM. Consiste no tempo estimado que um trabalhador apto e treinado, com habilidade média e trabalhando com esforço médio, durante todas as horas de serviço, necessita para realizar um trabalho, de acordo com um método estabelecido e em condições determinadas (MICHELINO, 1964; MIALHE, 1974; BARNES, 1977; JACOBS e CHASE, 2011). Para o cálculo do tempo padrão, foi utilizada a equação 1, adaptada de JACOBS e CHASE (2011):

$$(1) TP = (TC \times Fr)/1-T$$

Onde:

TP = tempo padrão de um ciclo operacional (s);

TC = tempo cronometrado de um ciclo operacional, desconsiderando interrupções (s);

Fr = fator de ritmo (também denominado de nível de atividade ou velocidade do operador) – coeficiente tabelado (MICHELINO, 1964; MIALHE, 1974) ou medido (JACOBS e CHASE, 2011). Neste estudo foi adotado $Fr = 1$;

T = coeficiente de tolerância para necessidades pessoais, fadiga, uso de força física, monotonia e tédio – coeficiente tabelado. Neste estudo foi adotado $T = 0,26$ (26%);

A capacidade de produção operacional é uma medida de intensidade de realização do trabalho. É a relação entre a quantidade de trabalho realizado, ou produção e o tempo consumido para realizá-lo

(MIALHE, 1974). Para calcular a capacidade de produção operacional foi utilizada a equação 2:

$$(2) \quad CPO = Qt/TP$$

Onde:

CPO = capacidade de produção operacional ($Kg.s^{-1}$);

Qt = quantidade total de produto processado em um ciclo operacional (Kg);

TP = tempo padrão de um ciclo operacional (s).

A eficiência de tempo é a relação entre o tempo de produção, ou seja, o tempo consumido na realização de trabalho produtivo (aqui considerado como sendo o trabalho indispensável à execução da operação produtiva subsequente) e o tempo cronometrado total de um ciclo operacional (MIALHE, 1974). Para calcular a eficiência de tempo foi utilizada a equação 3:

$$(3) \quad ET\% = (T_{prod}/TCT) \times 100$$

Onde:

ET% = eficiência de tempo (%);

T_{prod} = tempo de produção (s).

TCT = tempo cronometrado total de um ciclo operacional (s).

A eficácia operacional é a relação percentual entre a quantidade de produto processado dentro das especificações requeridas e a quantidade total de produto processado (MIALHE, 1974). Para calcular a eficácia operacional foi utilizada a equação 4:

$$(4) \quad E\% = (Q/Q_t) \times 100$$

Onde:

E% = eficácia operacional (%);

Q = quantidade de produto processada dentro das especificações (Kg);

Q_t = quantidade total de produto processado (Kg).

O retorno é a relação percentual entre a quantidade de produto processado em desacordo com as especificações requeridas e a quantidade total de produto processado (MIALHE, 1974). Para calcular o retorno foi utilizada a equação 5:

$$(5) \quad R\% = (Q'/Q_t) \times 100$$

Onde:

R% = retorno (%);

Q' = quantidade de produto processado fora das especificações (Kg);

Qt = quantidade total de produto processado (Kg).

A quebra é a relação percentual entre a quantidade de produto danificado durante a operação e a quantidade total de produto processado (MIALHE, 1974). Para calcular a quebra foi utilizada a equação 6:

$$(6) Q\% = (Q''/Qt) \times 100$$

Onde:

Q% = quebra (%);

Q'' = quantidade de produto danificado no processamento (Kg);

Qt = quantidade total de produto processado (Kg).

O número total de ciclos operacionais observados foi definido com auxílio da equação 7, adotada por BARNES (1977) e AL SALEH (2011), para um erro admissível de 5% e um nível de confiança de 95% e da tabela de NIEBEL e FREIVALDS (2003). Para utilizar a equação e a tabela, foi realizado um estudo prévio de ritmo de trabalho, com o objetivo de coletar leituras individuais do tempo total de duração de dez ciclos de cada operação em análise.

$$(7) N' = \left(\frac{40 \cdot \sqrt{N \cdot \sum X^2 - (\sum X)^2}}{\sum X} \right)^2$$

Onde:

N' = número de ciclos operacionais a serem observados;

N = número ciclos operacionais observados no estudo prévio = 10;

X = valor individual das leituras de tempo do estudo prévio.

O acompanhamento dos ciclos operacionais ocorreu em três dias de trabalho aleatórios. As operações foram realizadas por três funcionários e cada um deles efetuou a retirada e a desagregação de 30 cordas de mexilhões, totalizando 90 cordas processadas.

Para calcular os parâmetros operacionais foram medidas as variáveis operacionais tempo e massa de mexilhões. Para a cronometragem de tempos foram realizadas filmagens contínuas dos trabalhadores realizando cada uma das operações, com auxílio de câmeras de vídeo digitais. Após as filmagens, os arquivos de vídeo foram visualizados em computador, onde foi realizado o desdobramento

das operações em elementos de operações e registrado o tempo despendido na realização de cada elemento de operação, assim como os tempos de produção, preparação e interrupção das operações.

A pesagem dos mexilhões sempre foi realizada antes e após a operação de desagregação. Com auxílio de uma balança digital com capacidade de 50 Kg e 0,005 kg de legibilidade e de uma trena retrátil de 3 m, se efetuou a pesagem e a medição de todas as cordas de mexilhões retiradas do mar, enquanto ainda estavam intactas. Nessa ocasião se realizou a inspeção das cordas com o objetivo de quantificar animais danificados durante a operação de retirada do mar.

Após a desagregação dos mexilhões, foi realizada a pesagem da quantidade total de mexilhões desagregados e separadas três amostras aleatórias de 30 Kg de produto. Em cada amostra foi realizada a separação e a pesagem dos mexilhões completamente desagregados, dos mexilhões que ainda permaneciam agregados e dos mexilhões danificados durante a operação.

RESULTADOS

Caracterização do processo de colheita de mexilhões

O processo de colheita de mexilhões adotado na área experimental é apresentado na figura 2. Na unidade de produção os mexilhões são colhidos quando apresentam comprimento médio igual ou superior a 60 mm, o que ocorre cerca de seis meses após o início da fase de engorda.

Tanto a operação de retirada do mar, quanto a desagregação dos mexilhões são realizadas sem o auxílio de mecanização. A classificação e a limpeza dos mexilhões são realizadas de forma semimecanizada. Há seis funcionários envolvidos diretamente no processo de colheita e eles atuam na realização de todas as operações.

Para efetuar a retirada das cordas de mexilhões do mar utilizam-se três funcionários e uma embarcação de madeira, medindo 5 m de comprimento e 1 m de boca, com fundo chato, com capacidade de carga de 800 kg, dotada de motor de popa de dois tempos, com 11.185,5 W (15 HP) de potência. No início de cada colheita os funcionários deslocam-se da unidade de apoio em terra em direção à área aquícola (deslocamento leve) que fica localizada a 300 m de distância da costa.

Chegando na área aquícola, encostam a embarcação no espínhel onde estão as cordas de mexilhões a serem colhidas e o suspendem manualmente pelo seu cabo mestre, prendendo-o no bordo da embarcação com auxílio de dois bastões de madeira que medem 0,6 m

de comprimento. Feita a atracação, realizam o içamento manual das cordas de mexilhões, puxando-as para fora do mar e tombando-as para o interior da embarcação, com os cabos centrais das cordas ainda amarrados no espinhel.

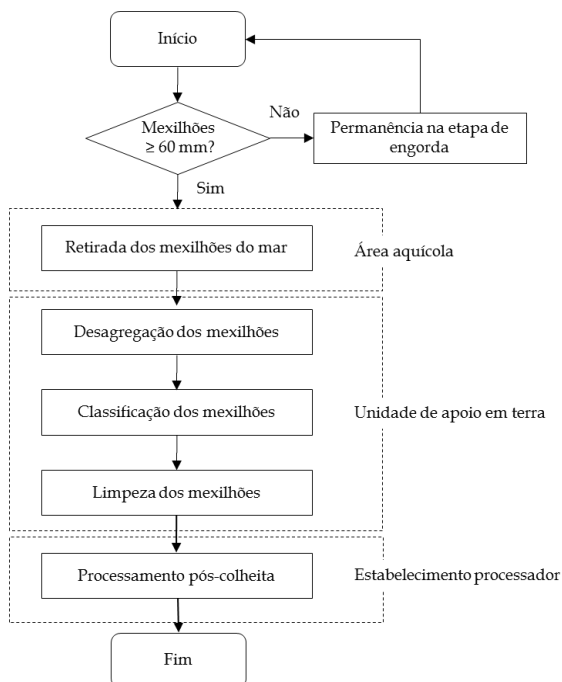


Figura 2 – Fluxograma do processo de colheita de mexilhões adotado na unidade de produção da área experimental.

Em seguida, inicia-se a soltura da amarração das cordas de mexilhões e o seu posicionamento dentro da embarcação. À medida que seis cordas são içadas do mar, soltas e posicionadas, efetua-se o deslocamento da embarcação no sentido paralelo ao eixo longitudinal do espinhel (deslocamento longitudinal) e realiza-se o içamento, a soltura e o posicionamento de mais seis cordas de mexilhões e assim sucessivamente, até que sejam retiradas todas as cordas de mexilhões que se deseja colher ou até que seja atingida a capacidade de carga da embarcação.

Depois de colhidas todas as cordas, efetua-se a desatracação da embarcação do espinhel, o transporte das cordas até a costa (deslocamento pesado) e o seu descarregamento sobre uma carreta

agrícola com capacidade de carga de 2000 Kg. Em função do porte reduzido da embarcação utilizada no processo de colheita, é possível retirar somente 30 cordas de mexilhões do mar de cada vez. Caso seja necessário colher mais de 30 unidades, o procedimento acima descrito é repetido quantas vezes forem necessárias.

Concluído o descarregamento das cordas de mexilhões na carreta agrícola, elas são deslocadas 40 m até um espaço, dentro da unidade de apoio em terra, destinado à operação de desagregação dos mexilhões. Lá chegando, uma a uma, são retiradas de cima da carreta e posicionadas no chão. Em seguida, os funcionários seguram a extremidade superior das cordas de mexilhões posicionadas no chão e as pisoteiam com o intuito de destacar e individualizar os animais que se encontram presos na estrutura das cordas de cultivo e aderidos uns aos outros.

Os mexilhões que não são destacados das cordas com o pisoteio, são removidos manualmente, um a um, em uma atividade que aqui denominamos de repasse. À medida que sucessivas cordas vão sendo pisoteadas e os mexilhões vão sendo desagregados, eles são amontoados e acondicionados em contentores de plástico (caixas utilizadas para o transporte de verduras ou pescado) e removidos para o setor onde são realizadas as operações de classificação e limpeza dos animais.

Parâmetros operacionais

No cálculo de tempo padrão das operações e dos seus elementos se considerou que o trabalho foi realizado em ritmo normal (Fator de ritmo = 1), com coeficiente de tolerância - T = 0,26 (26%), sendo 5% para o atendimento de necessidades pessoais, 4% para fadiga, 11% para uso de força física, 4% para monotonia e 2% para tédio, de acordo com os valores sugeridos por STEVENSON (2001).

O tempo padrão médio de retirada dos mexilhões do mar foi $133,7 \pm 29,6$ segundos, enquanto o de desagregação foi $266,7 \pm 31,8$ segundos. Estes valores devem ser interpretados como o tempo necessário para um trabalhador efetuar um ciclo de cada operação, que corresponde ao processamento de uma corda de mexilhões com massa média de 21,9 kg. Os tempos padrões dos elementos de ambas as operações são apresentados nas tabelas 1 e 2.

As médias (\bar{X}) e os desvios padrões (S) dos tempos padrões das operações e dos seus respectivos elementos foram calculados a partir da cronometragem do trabalho dos três funcionários que participaram da pesquisa, sendo que cada um deles realizou n/3 ciclos operacionais. O número total de ciclos observados (n) foi igual ao triplo do valor determinado a partir do uso da equação 7 (N') e da tabela de NIEBEL e

FREIVALDS (2003), excetuando-se os deslocamentos, em ambas as operações e a atracação e desatracação na operação de retirada dos mexilhões do mar. Como esses elementos ocorrem em menor frequência que os demais durante a realização das operações, a quantidade de ciclos operacionais observados correspondeu ao triplo do número de vezes que eles foram executados durante o processamento de 90 (n) cordas de mexilhões.

A contribuição no tempo padrão corresponde à participação percentual de cada elemento de operação na composição do tempo padrão de um ciclo operacional.

Tabela 1 - Tempos padrões dos elementos da operação de retirada dos mexilhões do mar.

Elementos da operação	n	Tempo padrão (s)		Contribuição no tempo padrão da operação (%)
		\bar{X}	S	
Deslocamento leve	9	7,6	1,6	5,7
Atracação	9	4,6	1,1	3,4
Içamento	90	13,0	4,6	9,7
Soltura	90	58,3	13,5	43,6
Posicionamento na embarcação	90	14,8	3,2	11,1
Deslocamento longitudinal	45	4,2	1,1	3,1
Desatracação	9	5,3	1,4	4,0
Deslocamento pesado	9	9,1	2,7	6,8
Descarregamento	90	16,8	4,0	12,6
Total		133,7		100

n – número total de ciclos observados; \bar{X} - média dos ciclos operacionais; S - desvio padrão.

O tempo de produção de cada operação (tabela 3) foi considerado como o somatório dos tempos cronometrados na execução dos elementos de operações indispensáveis para a realização das operações produtivas subsequentes. Na retirada dos mexilhões do mar, corresponde ao somatório dos tempos consumidos com o deslocamento leve, a atracação, o içamento, a soltura, o posicionamento das cordas na embarcação e o deslocamento longitudinal. Na colheita não mecanizada esses elementos ainda são indispensáveis para que as cordas de mexilhões deixem de estar submersas e presas às estruturas de cultivo para tornarem-se disponíveis para a operação de desagregação. Na

desagregação dos mexilhões, o tempo de produção corresponde ao tempo consumido com os elementos pisoteio e repasse das cordas, indispensáveis para que os mexilhões estejam disponíveis para as operações subsequentes de limpeza ou classificação.

Tabela 2 - Tempos padrões dos elementos da operação de desagregação dos mexilhões.

Elementos da operação	da n	Tempo padrão (s)		Contribuição no tempo padrão da operação (%)
		\bar{X}	S	
Deslocamento	9	41,7	5,3	15,6
Posicionamento no chão	90	12,6	4,8	4,7
Pisoteio	90	84,8	10,3	31,9
Repasse	90	44,9	10,5	16,8
Amontamento	90	20,8	7,5	7,8
Acondicionamento	90	61,9	12,7	23,2
Total		266,7		100

n – número total de ciclos observados; \bar{X} - média dos ciclos operacionais; S - desvio padrão.

Tabela 3 - Composição dos tempos das operações.

Categoria	Retirada dos mexilhões do mar			Desagregação dos mexilhões		
	\bar{X}	S	%	\bar{X}	S	%
Tempo cronometrado total (s)	135,2	29,9	100	276,9	33,01	100
Tempo de produção (s)	75,8	31,8	56,1	96,0	2,4	34,7
Tempo de preparação (s)	23,0	14,5	17	101,4	16,6	36,6
Tempo de interrupção (s)	36,4	21,9	26,9	79,6	23,2	28,7

\bar{X} - média dos ciclos operacionais; S – desvio padrão.

O tempo de preparação corresponde ao somatório dos tempos cronometrados durante a realização dos demais elementos das operações. Esses elementos são geradores de custos, mas ainda são necessários no processo de colheita em análise. O tempo de interrupção foi considerado o somatório de todo tempo despendido com pausas na realização do trabalho.

Os parâmetros operacionais capacidade de produção operacional, eficácia operacional, quebra, retorno e eficiência de tempo das

operações são apresentados na tabela 4. Pode-se observar que há um contraste significativo entre os valores de eficácia operacional e retorno das operações e que a quebra registrada foi mínima.

Tabela 4 - Parâmetros operacionais das operações.

Parâmetros operacionais	Operações			
	Retirada dos mexilhões do mar		Desagregação dos mexilhões	
	\bar{X}	S	\bar{X}	S
Capacidade de produção operacional (Kg.s ⁻¹)	0,16	0,01	0,08	0,01
Eficácia operacional (%)	100	0	31,6	4,4
Quebra (%)	0	0	3,4	0,5
Retorno (%)	0	0	65	4,1
Eficiência de tempo (%)	56	15,3	35	5,7

\bar{X} - média dos ciclos operacionais; S - desvio padrão.

DISCUSSÃO

Tempo padrão

Os tempos padrões das operações analisadas apresentam peculiaridades que devem ser consideradas quando seus valores forem interpretados. Eles referem-se a um processo de produção onde a colheita ocorre em bateladas compostas de 30 cordas de mexilhões. O tamanho da batelada de colheita é diretamente proporcional à capacidade de carga da embarcação utilizada na operação de retirada dos mexilhões do mar. Desse modo, o porte da embarcação interferiu diretamente nos tempos padrões dos elementos de ambas as operações que envolvem deslocamentos e nos elementos atracação e desatracação, na retirada dos mexilhões do mar. Utilizando-se uma embarcação de porte diferente, tanto os tempos padrões das operações e dos seus elementos, quanto a contribuição percentual dos elementos na composição do tempo padrão de um ciclo operacional tendem a ser diferentes.

O percentual de tolerância adotado no cálculo do tempo padrão das operações ($T = 26\%$), definido com base na tabela sugerida por STEVENSON (2001), foi praticamente igual ao percentual médio de interrupções cronometradas durante a retirada dos mexilhões do mar (26,9%) e 2,7% inferior ao cronometradas na desagregação dos mexilhões (28,7%). A cronometragem permitiu verificar que as interrupções ocorridas nas operações foram, aparentemente, para atenuar

os efeitos do uso excessivo de força física e da fadiga, ocasionadas pela ausência de mecanização. Entretanto, é difícil estimar a influência da monotonia e do tédio durante a execução do trabalho, em função do caráter subjetivo da percepção desses fatores.

Os valores de tempo padrão indicam que, nas condições da área experimental, um funcionário, trabalhando em ritmo normal, consome, em média, 133,7 segundos (aproximadamente dois minutos) para retirar uma corda com 21,9 kg de mexilhões do mar e 266,7 segundos (aproximadamente quatro minutos) para desagregá-la.

Capacidade de produção operacional

Ambas as operações apresentam baixa capacidade de produção operacional se comparadas com especificações técnicas de máquinas e sistemas mecanizados de colheita de mexilhões utilizados em países como Nova Zelândia (<http://www.marineandgeneral.co.nz/>), Espanha (<http://www.aguin.com>), França (<http://www.mulot.fr/>), Escócia, Noruega e Irlanda (BARRENTO et al., 2010). Embora sejam aplicados na mecanização do cultivo de outras espécies de mexilhões, os equipamentos disponíveis nesses países apresentam capacidades de produção operacional que variam de 0,3 a 12,5 kg.s⁻¹, incluindo, em alguns casos, operações de classificação, limpeza e acondicionamento dos mexilhões em contentores.

Em testes realizados com uma máquina de colheita de mexilhões neozelandesa em uma unidade demonstrativa de cultivo de mexilhões em coletores artificiais de sementes, NOVAES *et al.* (2011b), registraram uma capacidade de produção operacional de retirada do mar e desagregação de mexilhões de 0,6 kg.s⁻¹. Apesar da necessidade de adequação do equipamento importado às condições locais de cultivo e do fato do referido produto ter sido testado de forma isolada, sem poder expressar sua capacidade operacional efetiva, seu desempenho foi superior às capacidades de produção operacional identificadas no presente estudo.

Extrapolando os valores de capacidade de produção operacional não mecanizada de retirada do mar e de desagregação calculados nesta pesquisa para um intervalo de tempo de uma hora de trabalho, estima-se que três trabalhadores capacitados conseguem retirar 1.728 kg de mexilhões do mar ou desagregar 864 kg. Se a máquina de colheita supramencionada for utilizada em sua capacidade de produção operacional efetiva (1,4 kg.s⁻¹), dois trabalhadores podem retirar do mar e desagregar 5.000 Kg de mexilhões no mesmo intervalo de tempo e com menor esforço físico.

Eficácia operacional

A eficácia operacional de retirada dos mexilhões do mar foi superior a de desagregação. Isso ocorreu porque durante a retirada do mar não ocorreram danos nos mexilhões (quebra) e nem necessidade de se refazer nenhum procedimento para que a operação fosse concluída (retorno).

A retirada dos mexilhões é um trabalho árduo, que exige o uso constante de força física por parte dos trabalhadores, mas todos os movimentos são realizados de forma lenta e sem impacto sobre os animais, evitando assim a ocorrência de danos. Já na desagregação, o impacto sobre os animais é constante durante o pisoteio das cordas, ocasionando rupturas em suas conchas e sua inutilização por questões sanitárias. A quebra na desagregação não mecanizada de mexilhões foi 493% superior à quebra registrada na desagregação utilizando uma máquina desagregadora importada da França (NOVAES *et al.*, 2011a).

O que mais contribuiu para a baixa eficácia operacional na desagregação foi o alto índice de retorno, ou seja, a grande quantidade de mexilhões desagregados fora das especificações. Sessenta e cinco por cento dos mexilhões processados não foram completamente desagregados, permanecendo unidos em blocos de 3 a 5 animais após a operação. Isso implica em retrabalho, pois em algum momento, seja na classificação ou no processamento pós-colheita, os animais precisarão ser individualizados, implicando em custos adicionais com mão de obra.

Eficiência de tempo

Pouco mais da metade do tempo gasto na operação de retirada dos mexilhões do mar foi convertido em trabalho produtivo. Na desagregação essa proporção foi ainda menor, apenas cerca de um terço do tempo de duração da operação foi convertido em trabalho produtivo. Isso significa que, em ambas as operações, uma parcela significativa dos recursos de produção, sobretudo mão de obra, está sendo desperdiçada.

Das sete modalidades de desperdício categorizadas no STP, apontadas por CHASE *et al.* (2006); ANTUNES *et al.* (2008) e PERGHER *et al.* (2011), quatro foram identificados no presente estudo: desperdícios com transporte, com processamento inadequado, com produção de produtos defeituosos (fora das especificações requeridas) e com movimentação desnecessária de trabalhadores e cargas.

Na retirada dos mexilhões do mar, aproximadamente 30,5% do tempo padrão da operação foi gasto com elementos de operações que podem vir a ser suprimidos ou modificados com uma nova formatação

do processo de colheita. Pode-se citar como exemplo, o posicionamento das cordas de mexilhões no interior da embarcação, o deslocamento pesado e o descarregamento das cordas na carreta agrícola em terra. Outro elemento que interfere negativamente na eficiência de tempo na retirada dos mexilhões do mar é a soltura das cordas de mexilhões dos espinheis, que sozinha corresponde a 43,6% do tempo padrão da operação.

Na desagregação dos mexilhões elementos passíveis de supressão ou modificação representaram 44,9% do tempo padrão da operação. O deslocamento das cordas de mexilhões até a área de desagregação, o posicionamento das cordas no chão, o repasse, o amontoamento e o acondicionamento dos mexilhões nos contentores durante a desagregação são elementos de operações que podem deixar de existir ou serem reconfigurados através de mudanças no processo de colheita.

Variabilidade nos tempos de realização das operações

Ao comparar os valores das médias dos tempos de produção, de preparação e interrupção das operações com seus respectivos desvios padrões é possível verificar que os desvios são proporcionalmente altos e isso é um indicativo de que existe alta variabilidade nos tempos de realização das operações. Esta variabilidade é ocasionada tanto pela diferença de ritmo entre os trabalhadores, quanto pela variação no ritmo de cada trabalhador com o passar do tempo, como consequência da fadiga.

Essa constatação suscita duas hipóteses a serem investigadas: a) a padronização de procedimentos na realização das operações pode reduzir as médias e os desvios dos tempos das operações; b) a mecanização das operações pode ser um meio de padronizar procedimentos, eliminar variações de ritmo dos trabalhadores com o passar do tempo, reduzir tempos padrões e aumentar a eficiência de tempo na realização do trabalho.

Arranjo físico do processo de colheita

O arranjo físico ou leiaute, diz respeito à localização física dos recursos de transformação (equipamentos, instalações, mão de obra, etc.) em um processo de produção (CHASE *et al.*, 2006). Na área experimental, o arranjo físico de colheita é composto de dois ambientes distintos: a área aquícola, localizada no mar e a unidade de apoio em terra. Parte das operações é realizada em um ambiente e parte em outro, o que acaba gerando um padrão de fluxo confuso, com tempos de

processamento desnecessariamente longos, interferindo de forma negativa na eficácia da colheita dos mexilhões.

BARNES (1977) apontou quatro diretrizes que podem ser aplicadas na melhoria de qualquer processo de produção de bens e serviços, que são: eliminar todo trabalho desnecessário, combinar operações ou elementos, modificar a sequência das operações e simplificar as operações essenciais.

Uma forma de colocar essas recomendações em prática na colheita de mexilhões pode ser a mudança do arranjo físico de colheita atual, de tal forma que todas as operações que o integram sejam realizadas no mar, combinada com o uso de máquinas (Figura 3). Desse modo, uma parcela significativa de tempo e mão de obra que hoje é utilizada na realização de elementos de operações que constituem desperdícios e que só existem porque a colheita é realizada em ambientes distintos, poderá ser direcionada para a execução de trabalho produtivo, aumentando a eficácia no processo de colheita.

Disponibilidade de informações sobre desempenho operacional

A realização da pesquisa bibliográfica que apoiou o desenvolvimento do presente estudo evidenciou a carência de informações sobre a análise de processos de produção aquícolas com abordagens focadas no desempenho operacional das operações produtivas. Esta constatação pode ser encarada como um indício de que há uma área de investigação pouco explorada na aquicultura, que se examinada com abordagens utilizadas na análise de operações agrícolas ou industriais, poderá oferecer informações importantes para o planejamento e adoção de melhorias nos processos de produção.

De acordo com BOCA e GOKKAYA (2011), a causa primária dos desperdícios em processos de produção é a ausência de informações. A realização deste trabalho possibilitou identificar e quantificar elementos de operações que contribuem para a geração de desperdícios no processo de colheita não mecanizada de mexilhões cultivados, dando origem a valores de referência que podem ser utilizados para embasar a proposição de medidas corretivas e quantificar o efeito dessas medidas ao longo do tempo.

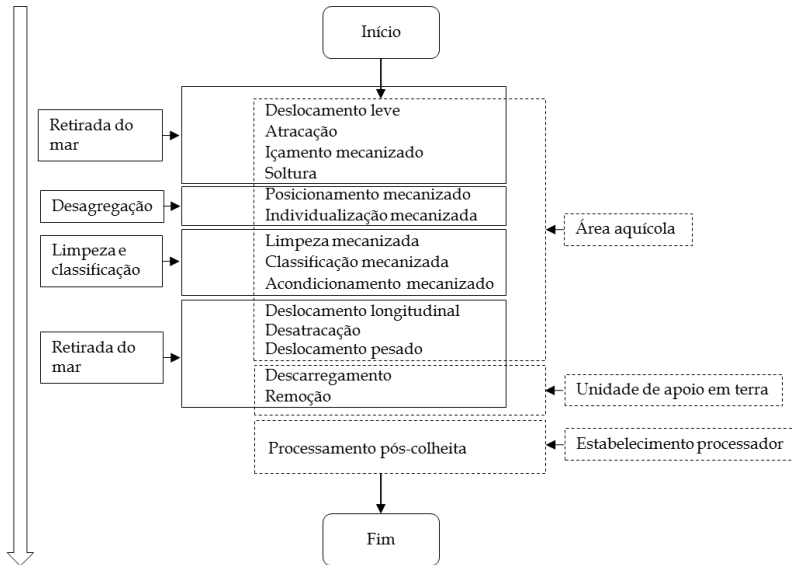


Figura 3 - Proposta de simplificação e melhoria no processo de colheita de mexilhões.

CONCLUSÃO

Os resultados do presente estudo apontam que:

- Pouco mais da metade do tempo padrão de retirada dos mexilhões do mar e cerca de um terço do tempo padrão de desagregação dos mexilhões são convertidos em trabalho produtivo, quando essas operações são realizadas manualmente.
- Interrupções no trabalho, visando atenuar os efeitos da fadiga nos trabalhadores, consomem aproximadamente um quarto do tempo padrão de ambas as operações (retirada do mar e desagregação), quando realizadas manualmente.
- O arranjo físico do processo de colheita observado na área experimental interfere de forma negativa no desempenho operacional da colheita de mexilhões.
- Quando as operações de retirada do mar e desagregação dos mexilhões são realizadas manualmente, suas capacidades de produção operacionais são baixas, em comparação com especificações técnicas de produtos

utilizados na mecanização da colheita de mexilhões em outros países, mesmo considerando que esses produtos são utilizados no processamento de espécies diferentes de mexilhões.

- A combinação do Estudo de Tempos e Movimentos (ETM) com parâmetros de análise operacional pode ser adotada na avaliação de operações aquícolas, mecanizadas ou não, gerando informações que apontam desperdícios e servem de referência no processo de melhoria das operações produtivas.

AGRADECIMENTOS

À FAPESC - Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina, por financiar a execução desta pesquisa e ao Senhor Flávio Martins, proprietário da Fazenda Marinha MARPESC, por permitir o desenvolvimento de parte desta pesquisa no seu empreendimento.

REFERÊNCIAS

- AL-SALEH, K.S. 2011 Productivity improvement of a motor vehicle inspection station using motion and time study techniques. *Journal of King Saud University – Engineering Sciences*, 23: 33 – 41.
- ANTUNES, J.; ALVAREZ, R.; BORTOLOTO, P.; KLIPPEL, M.; PELLEGRIN, I. 2008 *Sistemas de produção: conceitos e práticas para projeto e gestão da produção enxuta*. Porto Alegre: Bookman. 322p.
- BARNES, R.M. 1977 *Estudo de movimentos e de tempos: projeto e medida do trabalho*. 6ª Ed. São Paulo: Edgard Blucher. 635p.
- BARRENTO, S.; LUPATSCH, I.; KEAY, I. 2013 *Protocol on best practice guide on holding and conditioning mussels*. Technical Report supported by Project No. 243452, FP7-SME Mussels Alive, 59p. Disponível em: <http://www.academia.edu/4202297/Protocol_on_Best_Practice_Guide_on_Holding_and_Conditioning_Mussels> Acesso em: 22 nov. 2014.
- BAUMGART, A. e NEUHAUSER, D. 2009 Frank and Lillian Gilbreth: scientific management in the operating room. *Quality Safety Health Care*, 18: 413-415.
- BOCA, G.D.; GOKKAYA, H. 2011 How wastes influence quality management. *Economics and applied informatics*, 2: 85-90.
- CADY, R.; FINKELSTEIN, S.; LINDGREN, B.; ROBINER, W.; LINDQUIST, R.; VANWORMER, A.; HARRINGTON, K. 2010

Exploring the translational impact of a home telemonitoring intervention using time-motion study. *Telemedicine and e-Health*: 576-584.

CHASE, R.B.; JACOBS, F.R.; AQUILANO, N.J. 2006 *Administração da produção para vantagem competitiva*. 10ª ed. São Paulo: Bookman editor. 724p.

DUTRA, A.R.A.; GARCIA, M.A.; ROSSATO, I.F.; BARROS FILHO, J.R. 2011 A contribuição da ergonomia para a mecanização da produção catarinense de ostras. In: XXXI ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, Belo Horizonte, 4-7/out./2011. *Anais*

eletrônicos...<http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2011_TN_STO_138_878_19175.pdf>.

JACOBS, F.R. e CHASE, R. B. 2011 *Administração de operações e da cadeia de suprimentos*. 13ª ed. Porto Alegre: AMGH Editora Ltda. 726p.

LOPES, S.E.; FERNANDES, H.C.; MINETTE, L.J.; SILVEIRA, J.C.M.; RINALDI, P.C.N. 2009 Avaliação técnica e econômica de um “skidder” operando em diferentes produtividades e distâncias de extração. *Ciência e Agrotecnologia*, 33(6): 1621-1626.

LOPETEGUI, M.; YEN, P.; LAI, A.; JEFFRIES, J.; EMBI, P.; PAYNE, P. 2014 Time and motion studies in the healthcare: what are we talking about? *Journal of Biomedical Informatics*, 49: 292-299.

MARENZI, A.W.C; MARQUES, H.L.A.; OLIVEIRA NETO, F.M. 2008 Cultivo do mexilhão *Perna perna*. In: RESGALLA JR, C.; WEBER, L.I.; CONCEIÇÃO, M.B. *O Mexilhão Perna perna (L.): biologia, ecologia e aplicações*. Rio de Janeiro: Interciência. p.170-182.

MERINO, G.S.A.D.; PEREIRA, D.; MERINO, E.A.D.; VIEIRA, M.L.H. 2009 Design applied to Family agriculture and aquaculture based on social innovation. In: PROCEEDINGS OF THE FIRST INTERNATIONAL CONFERENCE ON INTEGRATION OF DESIGN, ENGINEERING AND MANAGEMENT FOR INNOVATION – IDEMI09, Porto, 14-15/set./2009. *Anais eletrônicos*... <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/1842/socialinnovation_idemi09.pdf?sequence=1> Acesso em: 22 nov. 2014.

MIALHE, L.G. 1974 *Manual de mecanização agrícola*. São Paulo: Editora Agronômica Ceres. 301p.

MICHELINO, G. 1964 *Estudo de tempos para supervisores*. São Paulo: Publicações Educacionais Ltda. 2ª Edição. 205 p.

MOREIRA, F.M.T.; SOUZA, A.P.; MACHADO, C.C.; MINETTI, L.J.; SILVA, K.R. 2004 Avaliação operacional e econômica do “Feller-

- Buncher” em dois subsistemas de colheita de florestas de eucalipto. *Revista Árvore*, 28: 199-205.
- MPA - MINISTÉRIO DA PESCA E AQUICULTURA. 2011 *Boletim estatístico da pesca e aquicultura*. Brasília. 129 p. Disponível em: <http://www.mpa.gov.br/files/docs/Boletim_MPA_2011_pub.pdf> Acesso em: 22 nov. 2014.
- NIEBEL, B.W. e FREIVALDS, A. 2003 *Methods, Standards, and Work Design*. 11th ed. New York: McGraw-Hill. 747 p.
- NOVAES, A.L.T.; SANTOS, A.A.; SILVA, F.M.; VENTURA, R.; BANNWART, J.P. 2011a Desempenho de uma máquina francesa desagregadora de mexilhões nas condições de cultivo do Estado de Santa Catarina. *Florianópolis: Agropecuária Catarinense*, 24(2): 44-46.
- NOVAES, A.L.T.; SANTOS, A.A.; SILVA, F.M.; VENTURA, R.; BREDA, R.R. 2011b Colheita mecanizada de mexilhões (*Perna perna*, L.) engordados a partir de coletores artificiais de sementes. *Agropecuária Catarinense*, 24(3): 38-41.
- PEINALDO, J. e GRAEML, A.R. 2007 *Administração da produção: operações industriais e de serviços*. Curitiba: UnicenP. 750p.
- PERGUER, I.; RODRIGUES, L.H.; LACERDA, D.P. 2011 Discussão teórica sobre o conceito de perdas do sistema Toyota de produção: Inserindo a lógica do ganho da Teoria das Restrições. *Gestão da Produção*, 18: 673-686.
- SANTOS, A.A.; COSTA, S.W. 2015 Resultados da maricultura catarinense em 2014. *Panorama da Aquicultura*, 25(149):36-41.
- SAURMAN, E.; LYLE, D.; KIRBY, S.; ROBERTS, R. 2014 Assessing program efficiency care: a time and motion study of the mental health emergency care – rural access program in NSW Australia. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 11: 7678-7689.
- SILVA, K.R.; MINETTI, L.J.; VENTUROLI, F.; MACHADO, E.G.B.; SOUZA, A.P. 2004 Custos e rendimentos operacionais de um plantio de eucalipto em região de Cerrado. *Revista Árvore*, 28(3): 361-366.
- SIMÕES, D. e FENNER, P.T. 2010 Avaliação técnica e econômica do forwarder na extração de madeira em povoamento de eucalipto de primeiro corte. *Floresta*, 40(4): 711-720.
- SIMÕES, D. e SILVA, M.R. 2010 Análise técnica e econômica das etapas de produção de mudas de eucalipto. *Cerne*, 16(3): 359-366.
- SIMÕES, D.; FENNER, P.T.; BANTEL, C.A. 2011 Análise operacional e econômica do processamento de madeira de eucalipto com “Hipro” em Região Montanhosa. *Revista Árvore*, 35(3): 505-514.

- SLACK, N.; CHAMBERS, S.; HARLAND, C.; HARRISON, A.; JOHNSTON, R. 1997 *Administração da produção*. 1^a Ed. São Paulo: Editora Atlas. 726p.
- STEFANI, C.T.; MERINO, G.S.A.D.; PEREIRA, E.F.; MERINO, E.A.D. 2011 A atividade de malacocultura e as queixas musculoesqueléticas: considerações acerca do processo produtivo. *IJIE – Iberoamerican Journal of Industrial Engineering*, 3(1): 2-15.
- STEVENSON, W.J. 2001 *Administração das operações de produção*. Rio de Janeiro: LTC. p.232-268.

CAPÍTULO II - ANÁLISE DE RISCOS POSTURAIS NA COLHEITA NÃO MECANIZADA DE MEXILHÕES CULTIVADOS

André Luís Tortato Novaes¹, Gilberto José Pereira Onofre de Andrade²,
Aimê Rachel Magenta Magalhães².

¹ Epagri - Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina, Centro de Desenvolvimento em Aquicultura e Pesca. Rodovia Admar Gonzaga, 1188, Itacorubi, CEP 88034-901, Florianópolis, SC, Brasil. novaes@epagri.sc.gov.br.

² Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Aquicultura. Rodovia Admar Gonzaga, 1346, Itacorubi, CEP 88034-001, Florianópolis, SC, Brasil. gilberto.andrade@ufsc.br, aime.rachel@ufsc.br.

*Artigo formatado de acordo com as normas editoriais do periódico **Cadernos de Saúde Pública**.

RESUMO

O objetivo do presente estudo foi avaliar os riscos de ocorrência de Distúrbios Osteomusculares Relacionados ao Trabalho (DORT) em trabalhadores envolvidos na colheita não mecanizada de mexilhões cultivados. Para proceder esta avaliação, foi aplicado o método de análise postural OWAS (*Ovaco Working Posture Analysing System*) durante a realização das operações de retirada dos mexilhões do mar e desagregação dos mexilhões, que são as mais laboriosas e árduas do processo de colheita. Em média, foram identificadas 35 posturas laborais durante a retirada dos mexilhões do mar e 28 posturas na desagregação dos mexilhões. Na retirada do mar, 74,4% das posturas foram enquadradas como nocivas ao sistema osteomuscular dos trabalhadores, exigindo intervenções imediatas ou de curto prazo nos locais de trabalho. Na desagregação, esse percentual foi de 69%. Além de apontar os riscos de lesões osteomusculares aos quais os trabalhadores estão submetidos, a pesquisa permitiu identificar quais posturas laborais devem ser evitadas e sugerir formas corrigí-las, visando eliminar esses riscos.

Palavras-chave: DORT; mecanização; produção de mexilhões.

ABSTRACT

The aim of this study was to assess the risks factors involved in development of Work-Related Musculoskeletal Disorders (MSD) in mussels farm workers while performing hand-harvesting. To that end, an analysis of work postures was proceeded with the OWAS (Ovaco Working Posture Analysing System) method during stripping and de-clumping mussels ropes operations, which are the most laborious and arduous ones. On average, 35 labor postures were identified during the stripping operation and 28 ones during the de-clumping operation. Seventy-four and four percent of the postures related to the former operation were classified as harmful to the musculoskeletal system of workers thus requiring immediate or short-term interventions at workplace, whereas the latter operation scored 69%. Besides pointing out the risks of musculoskeletal injuries in which workers are exposed, this research has allowed identifying which postures must be avoided and suggests ways in which these might be corrected in order to eliminate MSD risks.

Keywords: MSD; mechanization; mussel production.

INTRODUÇÃO

O Brasil é o segundo maior produtor de mexilhões da América Latina, ficando somente atrás do Chile, em volume de produção. Apesar disso, existe um grande contraste entre as produções chilena e brasileira ^{1,2,3}, que é influenciado pelo uso de tecnologias de mecanização no processo de produção ⁴. Enquanto no Chile as operações produtivas são realizadas de forma mecanizada, no Brasil o processo de produção ainda é rudimentar, dependendo muito do uso de força física na realização das operações produtivas ^{5,6,7,8}. Além da baixa capacidade de produção operacional, a ausência de mecanização nas unidades de produção (fazendas marinhas) nacionais tem contribuído com a exposição dos produtores a riscos de ocorrência de doenças ocupacionais.

Dentre as etapas do processo de produção de mexilhões, a colheita, aqui considerada o conjunto de operações produtivas realizadas entre a retirada das cordas de mexilhões do mar e a disponibilização dos mexilhões desagregados, classificados, limpos e acondicionados em contentores, é a que apresenta maior sobrecarga de esforços físicos nos trabalhadores. Na colheita, a retirada das cordas de mexilhões do mar e a desagregação, que consiste na individualização dos mexilhões unidos entre si e à estrutura das cordas de cultivo pelos filamentos do bisso, são as operações mais árduas e realizadas com maior frequência nas unidades de produção (fazendas marinhas).

Tanto o Ministério da Previdência Social quanto o Ministério do Trabalho e Emprego não dispõem de estatísticas sobre a ocorrência de Distúrbios Osteomusculares Relacionados ao Trabalho (DORT) na produção de mexilhões ou qualquer outra atividade aquícola. Entretanto, basta o acompanhamento do trabalho nas unidades de produção e o contato com produtores para se constatar a presença de fatores de risco e de sintomas como dores nas costas, nos braços, quadril, joelhos, tornozelos, hérnias, dermatoses e ferimentos ocasionados pelo contato com as arestas cortantes das conchas dos mexilhões ^{6,7,8}.

A ausência de informações sobre riscos ocupacionais na indústria da aquicultura não ocorre somente no Brasil. Pesquisas abordando aspectos relacionados à segurança e saúde ocupacional na aquicultura são fragmentadas e extremamente limitadas em todos os níveis, acarretando dificuldades na disponibilização de informações sobre riscos ocupacionais em toda a indústria aquícola nos âmbitos regional, nacional e global ⁹.

DORT são os maiores fatores de risco ocupacional em todo o mundo ¹⁰. São uma das mais sérias consequências da sobrecarga do

sistema osteomuscular, provocada por posturas impróprias de trabalho^{11,12,13}. Os custos diretos e indiretos dos acidentes de trabalho e DORT somam 4% do Produto Interno Bruto (PIB) mundial¹⁴. Na União Europeia, os custos com acidentes e DORT somam 145 milhões de euros por ano¹⁴. Nos Estados Unidos, as indenizações pagas a trabalhadores em função de DORT variam entre 15 a 20 bilhões de dólares por ano¹⁵. Esses distúrbios são responsáveis por um terço de todos os afastamentos causados por doenças ocupacionais não fatais registrados, sendo que trabalhadores da agricultura, silvicultura, pesca e caça, representaram 41,9% dos casos relatados¹⁶.

DORT caracterizam-se pela ocorrência de vários sintomas, concomitantes ou não, de aparecimento insidioso, geralmente nos membros superiores, tais como dor, parestesia, sensação de peso e fadiga, abrangendo quadros clínicos adquiridos pelo trabalhador submetido a determinadas condições de trabalho¹⁷. São um conjunto de doenças que afetam músculos, tendões, nervos e vasos dos membros superiores (dedos, mãos, punhos, antebraços, braços, ombro, pescoço e coluna vertebral) e inferiores (joelho e tornozelo, principalmente) e que têm relação direta com as exigências das tarefas, ambientes físicos e com a organização do trabalho¹⁸.

Pesquisas confirmam a relação entre a incidência de DORT e sobrecargas no sistema osteomuscular resultantes da interação entre postura, força física e o tempo de exposição aos fatores de risco. Postos de trabalho mal projetados, que proporcionam a exposição dos trabalhadores a pequenas lesões ocasionadas por sobrecargas ou más posturas relacionadas ao trabalho, repetidas por um período longo de tempo, são as principais causas de riscos de ocorrência desses distúrbios^{9,11}.

Diferentes métodos de análise postural têm sido utilizados para avaliar o grau de desconforto e de sobrecarga do sistema osteomuscular causado pelas diferentes posturas do corpo durante a realização do trabalho^{13,19,20,21}. Um dos métodos mais tradicionais é o OWAS (*Ovaco Working Posture Analysing System*), desenvolvido pelo grupo siderúrgico finlandês Ovaco Oy na década de setenta^{22,23}. OWAS se fundamenta em observação, permitindo analisar e controlar posturas inadequadas dos trabalhadores enquanto desempenham suas funções em seus postos de trabalho¹⁰.

O presente trabalho faz parte de uma pesquisa mais ampla, cuja finalidade é desenvolver um sistema mecanizado de colheita de mexilhões cultivados. O objetivo aqui foi gerar informações sobre riscos de ocorrência de DORT nos trabalhadores envolvidos na colheita não

mecanizada de mexilhões cultivados, especificamente nas operações de retirada do mar e desagregação dos animais. Estas informações serão utilizadas como referência nas fases de projeto conceitual e preliminar do sistema de colheita e na sua avaliação ergonômica.

MATERIAL E MÉTODOS

Os fundamentos do método OWAS

O método OWAS baseia-se no registro das posturas do corpo do trabalhador em ação, o que pode ser feito por meio da observação direta *in situ*, por fotografias ou vídeos das atividades sendo realizadas^{22,24,25}. Permite a identificação de até 252 posturas de trabalho, que resultam da combinação das posições de partes do corpo dos trabalhadores com classes de cargas manipuladas.

São quatro posições de tronco, três de braços e sete de pernas, combinadas com três classes de cargas manipuladas^{10,26}. Uma vez identificadas as posturas adotadas pelo trabalhador, o método permite a codificação das mesmas através de um código composto de quatro dígitos, onde o primeiro dígito corresponde à posição do tronco, o segundo à posição dos braços, o terceiro à posição das pernas e o quarto à classe de manipulação de cargas (Tabela 1).

Tabela 1 – Dígitos identificadores de posturas e classes de cargas manipuladas.

Partes do corpo/classes de cargas	Número identificador	Postura
Tronco	1	Tronco ereto
	2	Tronco inclinado para frente ou para trás
	3	Tronco com giro
	4	Tronco inclinado e com giro
Braços	1	Ambos os braços abaixo da linha dos ombros
	2	Um braço abaixado e outro acima da linha dos ombros
	3	Ambos os braços acima da linha dos ombros
Pernas	1	Sentado
	2	Em pé, com joelhos retos e o peso distribuído entre as pernas

Tabela 1 – Dígitos identificadores de posturas e classes de cargas manipuladas. Continuação.

Partes do corpo/classes de cargas	Número identificador	Postura
Pernas	3	Em pé, com joelhos retos e o peso concentrado sobre uma das pernas
	4	Em pé, com joelhos flexionados e peso distribuído entre as pernas
	5	Em pé, com joelhos flexionados e peso concentrado em uma das pernas
	6	Ajoelhado, com um ou dois joelhos tocando o chão
	7	Andando
Classes de cargas manipuladas	1	Até 10 Kg
	2	Entre 10 e 20 Kg
	3	Superior a 20 Kg

Em função do grau de desconforto e de sobrecarga sobre o sistema osteomuscular dos trabalhadores que cada postura oferece, o método distingue quatro categorias de risco de ocorrência de DORT (Tabela 2). Para cada categoria de risco há uma proposta de ação, indicando, em cada caso, a necessidade ou não de intervenções no posto de trabalho e seu grau de urgência^{10,27}.

Tabela 2 – Categorias de risco de ocorrência de DORT.

Categoria de risco	Significado	Ações corretivas
1	Postura normal e natural, sem efeitos danosos para o sistema osteomuscular	Não requer ações corretivas
2	Postura com possibilidade de causar dano ao sistema osteomuscular	Ações corretivas são requeridas num futuro próximo
3	Postura com efeitos danosos sobre o sistema osteomuscular	Ações corretivas são necessárias, o quanto antes
4	A carga causada por esta postura tem efeitos danosos imediatos sobre o sistema osteomuscular	Ações corretivas imediatas

Para se definir o grau de risco de ocorrência de DORT de cada postura do corpo utiliza-se a matriz apresentada na tabela 3. Uma vez determinada a categoria de risco para cada postura, é possível uma primeira análise estatística dos dados através do cálculo da frequência de ocorrência das posturas e das categorias de risco de ocorrência de DORT.

Tabela 3 – Categorias de risco de ocorrência de DORT das posturas do corpo. Cores mais escuras indicam classes de maior risco postural. Fonte: Ergonautas.com²⁸.

		Pernas																				
		1			2			3			4			5			6			7		
Tronco	Braços	Carga			Carga			Carga			Carga			Carga			Carga			Carga		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1
	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1
	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	3	2	2	3	1	1	1	1	1	2
2	1	2	2	3	2	2	3	2	2	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	3	3	3
	2	2	2	3	2	2	3	2	3	3	3	4	4	3	4	3	3	3	4	2	3	4
	3	3	3	4	2	2	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	2	3	4
3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	3	3	3	4	4	1	1	1	1	1	1
	2	2	2	3	1	1	1	1	1	1	2	4	4	4	4	4	3	3	3	1	1	1
	3	2	2	3	1	1	1	2	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	1	1	1
4	1	2	3	3	2	2	3	2	2	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2	3	4
	2	3	3	4	2	3	4	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2	3	4
	3	4	4	4	2	3	4	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2	3	4

O método também envolve a análise das frequências das diferentes posições do tronco, dos braços e pernas observadas e registradas em cada código de postura. Para isso calcula-se a frequência de cada posição de cada parte do corpo durante o tempo total de observação e consulta-se a matriz apresentada na tabela 4, que permite determinar as categorias de risco posições em função das suas frequências. Os valores de risco calculados para cada posição permitem identificar as partes do corpo submetidas ao maior desconforto e propor as ações corretivas para otimizar o posto de trabalho, caso isso venha a ser necessário.

Tabela 4 – Categorias de riscos de DORT em função da frequência de ocorrência das posições das partes do corpo. Cores mais escuras indicam classes de maior risco postural. Fonte: Ergonautas.com²⁸.

Tronco										
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2	2	2	2	3	3
3	1	1	2	2	2	3	3	3	3	3
4	1	2	2	3	3	3	3	4	4	4
Braços										
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2	2	2	2	3	3
3	1	1	2	2	2	2	2	3	3	3
Pernas										
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2
2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2
3	1	1	1	2	2	2	2	2	3	3
4	1	2	2	3	3	3	3	4	4	4
5	1	2	2	3	3	3	3	4	4	4
6	1	1	2	2	2	3	3	3	3	3
7	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2
Frequência (%)	≤ 10	≤ 20	≤ 30	≤ 40	≤ 50	≤ 60	≤ 70	≤ 80	≤ 90	≤ 100

Análise da colheita de mexilhões

A análise da colheita não mecanizada de mexilhões foi conduzida na fazenda marinha experimental do Laboratório de Moluscos Marinhos da Universidade Federal de Santa Catarina (LMM/UFSC), localizada no município de Florianópolis/SC (coordenadas geográficas 27°29'15.93"S 48°32'28.95"W - Datum WGS 84). Na área experimental, mexilhões da espécie *Perna perna* (Linnaeus, 1758) são cultivados em cordas individuais, em sistema de cultivo suspenso flutuante tipo espinhel, com 70 m de comprimento. As cordas de cultivo são manufaturadas com cabo central, rede interna de algodão e rede externa de polietileno, com malha de 60 mm, apresentando, em média, comprimento útil de 0,8 m e peso médio de 11,7 kg no momento da colheita.

A metodologia adotada para análise postural das operações produtivas envolveu as seguintes etapas: a) filmagem das operações de retirada dos mexilhões do mar e desagregação de mexilhões; b) obtenção das imagens das posturas adotadas na realização das operações; c) codificação das posturas; d) classificação das posturas do corpo quanto à categoria de risco postural; e) cálculo da frequência percentual de ocorrência das classes de risco de ocorrência de DORT de acordo com a postura do corpo de cada trabalhador; f) cálculo da frequência percentual das posições das partes do corpo de cada trabalhador; g) cálculo da frequência percentual de ocorrência das classes de risco de ocorrência de DORT de acordo com as posições das partes do corpo de cada trabalhador; h) cálculo da frequência percentual de ocorrência das classes de manipulação de cargas.

A coleta de dados na área experimental foi realizada em fevereiro de 2014, em quatro dias de colheita de mexilhões. No primeiro dia foi realizada a caracterização do processo de colheita e a cronometragem da duração das operações com o objetivo de estimar o intervalo de tempo entre as tomadas de imagens que seriam utilizadas na análise postural. Nos três dias seguintes foi realizada a filmagem das operações de retirada do mar e desagregação dos mexilhões, sendo executadas, na íntegra, por três trabalhadores.

A retirada das cordas de mexilhões do mar foi realizada pelos trabalhadores com auxílio de uma embarcação de fibra de vidro, medindo 5 m de comprimento e 1,2 m de boca, com fundo levemente abaulado, com capacidade de carga de 600 kg, dotada de motor de popa de dois tempos, com 18.642,5 W (25 HP) de potência.

No início de cada colheita, os trabalhadores deslocavam-se da unidade de apoio em terra do laboratório em direção à área aquícola experimental, localizada a 800 m de distância. Lá chegando, atracavam a embarcação no espinhel, suspendendo seu cabo mestre e prendendo-o no bordo da embarcação em dois pontos de apoio. Com a embarcação presa, realizavam o içamento das cordas de mexilhões, puxando-as para fora do mar e tombando-as para o seu interior, com os cabos centrais das cordas ainda amarrados no cabo mestre do espinhel.

Após o tombamento para o interior da embarcação, realizava-se a soltura da amarração das cordas de mexilhões do espinhel e seu posicionamento na embarcação. À medida que seis cordas eram retiradas do mar e acondicionadas, realizava-se o deslocamento da embarcação no sentido do eixo longitudinal do espinhel, o içamento, a soltura e o acondicionamento de mais seis cordas de mexilhões e assim

sucessivamente, até que todas as cordas de mexilhões fossem colhidas ou que fosse atingida a capacidade de carga da embarcação.

Concluída a retirada de todas as cordas da água, efetuava-se a desatracação da embarcação e o transporte das cordas até a costa. Lá chegando, os trabalhadores descarregavam as cordas da embarcação e as transportavam até a área de manejo do laboratório, localizada a 30 m de distância do ponto de descarga.

Na área de manejo, as cordas de mexilhões eram descarregadas no chão e em seguida, uma a uma, eram arrastadas e posicionadas sobre uma superfície de concreto para que os mexilhões fossem destacados das cordas e desagregados através de pisoteio contínuo. Os mexilhões que não eram destacados das cordas com o pisoteio, eram removidos manualmente. À medida que as cordas eram pisoteadas e os mexilhões desagregados, efetuavam-se o amontoamento e o acondicionamento dos moluscos em caixas plásticas com capacidade de 30 kg e a movimentação dessas caixas até o local onde eram efetuadas as operações manuais de limpeza e classificação dos animais.

Para realizar as filmagens utilizou-se uma câmera de vídeo digital, montada sobre um tripé com 1,2 m de altura. Com esses equipamentos foi possível filmar o corpo inteiro de todos os trabalhadores em ação, de forma simultânea. Assim que a filmagem das operações foi concluída, os vídeos foram descarregados em um computador e com auxílio do software de visualização de vídeos Windows Media Player® e da tecla *printscreen*, foram geradas e armazenadas cem imagens de cada trabalhador realizando cada uma das operações, totalizando 600 imagens. O intervalo de tempo entre a geração de cada imagem foi de 30 segundos para ambas as operações.

Concluído o processo de geração das imagens dos trabalhadores realizando as operações, foi realizada a codificação das posturas observadas em cada imagem, separando-as por operação e por trabalhador em planilhas eletrônicas. Em seguida os códigos das posturas foram inseridos, individualmente, em um software de análise postural pelo método OWAS, Ergonautas.com®, desenvolvido pelo Departamento de Projetos e Engenharia da Universidade Politécnica de Valência – Espanha²⁸.

Na inserção dos códigos das posturas no software optou-se pela análise simples, ou seja, avaliação das operações de modo integral, sem subdividi-las em elementos de operações ou etapas, tendo em vista que o objetivo do estudo foi proceder a análise ergonômica das operações e não dos seus elementos. Com isso, foram realizadas seis análises

posturais, uma para cada trabalhador realizando cada uma das duas operações.

RESULTADOS

Nas tabelas 5 e 6 são apresentados os resultados da análise das posturas dos trabalhadores realizando as operações de retirada do mar e desagregação dos mexilhões. Nelas é possível verificar a quantidade e a frequência percentual das posturas adotadas pelos trabalhadores de acordo com a categoria de risco de ocorrência de DORT. Embora o trabalho realizado tenha sido o mesmo, os resultados demonstram que houve diferenças na quantidade e na frequência das posturas adotadas pelos trabalhadores na execução de ambas as operações. A variação foi maior na operação de retirada dos mexilhões do mar.

Tabela 5 – Quantidade de posturas laborais por classe de risco de ocorrência de DORT.

Categoria de risco postural	Operações produtivas									
	Retirada dos mexilhões					Desagregação				
	N					N				
	T1	T2	T3	\bar{X}	S	T1	T2	T3	\bar{X}	S
Categoria 1	10	7	9	8,7	1,2	8	9	9	8,7	0,5
Categoria 2	7	11	4	7,3	2,9	8	7	9	8,0	0,8
Categoria 3	6	7	4	5,7	1,2	5	4	4	4,3	0,5
Categoria 4	17	13	10	13,3	2,9	7	7	7	7,0	0
Total	40	38	27	35		28	27	29	28	

N – quantidade de posturas adotadas; T – Trabalhador; \bar{X} - média; S – desvio padrão.

Tabela 6 – Frequências percentuais de posturas laborais por classe de risco de ocorrência de DORT.

Categoria de risco postural	Operações produtivas									
	Retirada dos mexilhões					Desagregação				
	f%					f%				
	T1	T2	T3	\bar{X}	S	T1	T2	T3	\bar{X}	S
Categoria 1	25	18,4	33,4	25,6	6,14	28,6	33,4	31	31	1,9
Categoria 2	17,5	28,9	14,8	20,4	6,11	28,6	25,9	31	28,5	2,1
Categoria 3	15	18,4	14,8	16,1	1,65	17,8	14,8	13,9	15,5	1,7
Categoria 4	42,5	34,3	37	37,9	3,4	25	25,9	24,1	25	0,7
Total	100	100	100	100		100	100	100	100	

f% - frequência percentual; T – Trabalhador; \bar{X} - média; S – desvio padrão.

Os resultados apontam que, em média, 74,4% das posturas adotadas na operação de retirada dos mexilhões do mar e 69% das posturas observadas na operação de desagregação dos mexilhões, estão enquadradas em categorias de risco de ocorrência de lesões osteomusculares que exigem intervenções imediatas ou de curto prazo, visando a adequação dos postos de trabalho (categorias 2, 3 e 4). A situação é mais crítica na operação de retirada do mar, onde praticamente 54% das posturas apresentaram efeitos danosos e danos imediatos sobre o sistema osteomuscular dos trabalhadores (categorias 3 e 4). Na desagregação dos mexilhões o percentual de posturas enquadradas nessas categorias foi de 40,5%.

Tabela 7 – Frequências percentuais das categorias de risco de DORT de acordo com as posições das partes do corpo.

Classes de risco		Operações produtivas									
		<i>f</i> %									
		Retirada do mar					Desagregação				
		T1	T2	T3	\bar{x}	S	T1	T2	T3	\bar{x}	S
Tronco	Categoria 1	20	24	15	19,7	3,7	23	32	31	28,7	4
	Categoria 2	46	76	85	69	16,7	42	68	69	59,7	12,5
	Categoria 3	34	0	0	11,3	16	35	0	0	11,7	16,5
	Categoria 4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Braços	Categoria 1	77	74	100	83,7	11,6	100	100	100	100	0
	Categoria 2	23	26	0	16,3	11,6	0	0	0	0	0
	Categoria 3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Categoria 4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pernas	Categoria 1	36	42	62	46,7	11,1	48	45	34	42,3	6
	Categoria 2	0	26	38	21,3	15,9	52	55	66	57,7	6
	Categoria 3	64	32	0	32	26,1	0	0	0	0	0
	Categoria 4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

f%- frequência percentual; T – Trabalhador; \bar{x} - média; S – desvio padrão.

Na tabela 7 são apresentadas as frequências percentuais das categorias de risco de ocorrência de DORT de acordo com as posições das partes do corpo de cada trabalhador. Quando as partes do corpo foram analisadas isoladamente, não foram identificados riscos posturais da categoria 4. Entretanto, a frequência de ocorrência de posições

nocivas de tronco (categorias de risco 2 e 3) foram superiores a 70% em ambas as operações. Posições nocivas de braços foram identificadas somente na operação de retirada dos mexilhões do mar e a frequência de posturas nocivas de pernas foi superior a 50% em ambas as operações.

Na tabela 8 são listadas as três posturas mais nocivas ao sistema osteomuscular adotadas pelos trabalhadores ao efetuarem ambas as operações. É possível constatar que em 100% delas os trabalhadores estavam com o tronco inclinado ou inclinado e torcido (posturas 2 e 4); em 83,3% estavam com um ou dois braços acima da linha dos ombros (posturas 2 e 3); em 83,3% estavam com as pernas flexionadas, com o peso do corpo distribuído ou concentrado em apenas uma das pernas (posturas 4 e 5) e em 94,5%, suportando cargas da classe de carregamento 2.

Tabela 8 – Frequência percentual das posturas laborais mais nocivas adotadas pelos trabalhadores.

Operações produtivas											
Retirada dos mexilhões						Desagregação					
T1		T2		T3		T1		T2		T3	
CP	f%	CP	f%	CP	f%	CP	f%	CP	f%	CP	f%
4252	8	2342	8	4353	6	2342	3	4342	3	4242	3
4261	5	2352	5	2342	6	4343	3	4343	2	4173	1
4342	4	4252	4	4152	3	4173	2	2343	2	4343	1

f%- frequência percentual; T – Trabalhador; CP – código de postura.

DISCUSSÃO

A análise postural das operações permitiu identificar posturas laborais nocivas dos trabalhadores durante a realização de operações produtivas na colheita não mecanizada de mexilhões. Essas posturas enquadram as operações dentro de categorias de riscos de ocorrência de DORT que exigem atenção e a adoção de medidas corretivas imediatas ou de curto prazo.

A inexistência de referências da utilização do método OWAS na aquicultura impossibilita comparações das informações levantadas neste trabalho com outras atividades aquícolas. Entretanto, ao se comparar as frequências das posturas nocivas de tronco, braços e pernas adotadas na colheita não mecanizada de mexilhões com as frequências observadas em atividades exigentes de esforços físicos, como as realizadas na construção civil ^{10,27,29} e no carregamento manual de cargas ^{25,30,31} é possível constatar semelhanças. Apesar disso, na operação de retirada de mexilhões do mar a frequência de posturas da categoria 4 equivale ao

dobro da frequência das posturas da mesma categoria, medidas nas atividades da construção civil analisadas por LEE E HAN¹⁰ e SAURIN e GUIMARÃES²⁷ e ao quádruplo da frequência observada por MATILA et al.²⁹.

Os resultados da análise postural na colheita de mexilhões apontam diferenças na quantidade de posturas laborais adotadas pelos trabalhadores e na frequência das categorias de risco postural ocasionadas por estas posturas durante a realização das operações. As diferenças são mais evidentes na operação de retirada dos mexilhões do mar. Ao executar esta operação, o trabalhador 3 (T3) realizou seu trabalho adotando 27 posturas laborais, enquanto os trabalhadores 1 e 2 (T1 e T2) adotaram, respectivamente, 38 e 40 posturas. Além do menor número de posturas, o trabalhador 3 se expôs menos a riscos de ocorrência de DORT que os demais. Esta constatação é um indicativo de que, além de servir para medir os níveis de risco de ocorrência de distúrbios osteomusculares aos quais os trabalhadores estão sujeitos, o método OWAS pode ser utilizado como uma ferramenta para a seleção e padronização de procedimentos menos prejudiciais à saúde.

Durante a realização da colheita não mecanizada dos mexilhões foram frequentes posturas envolvendo a inclinação, torção e inclinação com torção do tronco, combinadas com posturas em pé, com joelhos retos ou flexionados, com o peso dos trabalhadores distribuído ou concentrado em apenas uma das pernas. Além do caráter nocivo dessas posturas laborais, o tempo de exposição dos trabalhadores a elas interferiu diretamente no risco de ocorrência de DORT, corroborando a constatação de VAN NIEUWENHUYSE et al.¹¹.

Essas posturas são adotadas com frequência superior aos limites de segurança apontados na tabela 4 quando se efetua o içamento das cordas de mexilhões do mar, o posicionamento das cordas no interior da embarcação, a descarga das cordas em terra, o posicionamento das cordas no chão, o pisoteio das cordas e a movimentação dos contentores contendo mexilhões desagregados.

A exemplo de KIVI e MATTILA³², que após aplicarem o método OWAS em operações da construção civil, utilizaram os resultados das análises para discutirem soluções e sugerirem medidas corretivas nas posturas de trabalho, aqui são propostas medidas que podem vir a contribuir com a ergonomia na colheita de mexilhões. Essas medidas incluem:

1. Alterar o arranjo físico do processo de colheita visando minimizar ou eliminar completamente os elementos de operações que, apesar de

necessários no projeto de trabalho atual, são geradores de riscos ergonômicos. Uma das formas de fazer isso é passar a realizar ambas as operações no mar, sobre uma embarcação apropriada, evitando movimentações desnecessárias de cargas e de trabalhadores;

2. Efetuar o içamento das cordas de mexilhões do mar utilizando sistemas de elevação de carga que possibilitem aos trabalhadores sempre realizarem essa tarefa com o tronco na postura 1, pernas na postura 2, braços na postura 1, sem sustentarem nenhum tipo de carga por um período superior a 5% (nível de segurança – tabela 4) do tempo de duração da operação;

3. Usar dispositivos e máquinas para efetuar o posicionamento e a desagregação das cordas de mexilhões, de tal modo que os trabalhadores não precisem sustentar cargas e nem realizar movimentos repetitivos ou causadores de impacto sobre o corpo, adotando as mesmas posturas laborais apontadas no tópico anterior;

4. Efetuar a limpeza, a classificação e o acondicionamento dos mexilhões no mar, de forma mecanizada;

5. Acondicionar os mexilhões desagregados em contentores, cujo peso máximo não ultrapasse 20 kg e que sua movimentação não exija inclinações ou torções de tronco por um período superior a 5% do tempo de duração da operação de desagregação dos mexilhões;

6. Se na nova formatação de arranjo físico de colheita a ser implantada as posturas em pé (posição de pernas 2) passarem a ocorrer numa frequência superior a 80% do tempo de duração das operações (limite de segurança – tabela 4), sugere-se adotar as recomendações contidas nas Normas Regulamentadoras 17³³ e 31³⁴, do Ministério do Trabalho e Emprego, que estabelecem que em postos onde os trabalhadores permanecem em pé por longos períodos, devem existir assentos ao alcance de todos e haver pausas para descanso.

Além dessas medidas, a adoção de métodos de análise ergonômica complementares possibilitará estimar outros tipos de riscos ergonômicos ocasionados por impactos sobre o corpo dos trabalhadores, repetição de movimentos, exposição à radiação solar, calor, frio, ruídos, vibrações, contato com substâncias nocivas, entre outros.

CONCLUSÃO

Os resultados do presente estudo apontam que:

- A operação de retirada dos mexilhões do mar oferece maiores riscos de ocorrência de Distúrbios Osteomusculares Relacionados ao

Trabalho (DORT) aos trabalhadores envolvidos na colheita não mecanizada de mexilhões que a operação de desagregação. Entretanto, ambas as operações exigem intervenções imediatas e de curto prazo nos postos de trabalho onde são realizadas.

- Embora os trabalhadores tenham efetuado as operações analisadas sob as mesmas condições de trabalho, houve diferenças na quantidade de posturas laborais adotadas e no nível de exposição a riscos de ocorrência de DORT proporcionado por essas posturas. Essas diferenças foram mais evidentes na operação de retirada dos mexilhões do mar.

- O arranjo físico do processo de colheita utilizado na unidade experimental é um fator desencadeador de riscos de ocorrência de DORT nos trabalhadores.

- O método OWAS demonstrou ser eficiente, rápido e de baixo custo para o diagnóstico de riscos de DORT nos trabalhadores envolvidos na colheita não mecanizada de mexilhões, podendo ser aplicado em outras atividades aquícolas.

AGRADECIMENTOS

À FAPESC - Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina, por financiar a execução deste trabalho e ao Laboratório de Moluscos Marinhos (LMM) da Universidade Federal de Santa Catarina pela viabilização desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

1. Véliz MFU. Informe sectorial de pesca y Acuicultura. Subsecretaría de Pesca y Acuicultura del Gobierno de Chile. http://www.subpesca.cl/publicaciones/606/articles-86569_documento.pdf (acessado em 17/Jun/2015).
2. Santos AA. Maricultura. In: Vieira LM, organizador. Síntese anual da agricultura de Santa Catarina 2013-2014. Florianópolis: Centro de Socioeconomia e Planejamento Agrícola - Epagri/Cepa; 2014. p. 156. http://docweb.epagri.sc.gov.br/website_cepa/publicacoes/Sintese_2014.pdf (acessado em 17/Jun/2015).

3. MPA - Ministério da Pesca e Aquicultura. Primeiro anuário brasileiro da pesca e aquicultura 2014. http://formsus.datasus.gov.br/novoimgarq/16061/2489520_218117.pdf (acessado em 17/Jun/2015).
4. Suplicy FM. Projetos demonstrativos de maricultura em comunidades tradicionais costeiras. *Panorama da Aquicultura* 2011; 21(124):56–60.
5. Marenzi AWC, Marques HLA, Oliveira Neto FM. Cultivo do mexilhão *Perna perna*. In: Resgalla Jr. C, Weber LI, Conceição MB, organizadores. *O Mexilhão Perna perna (L.): biologia, ecologia e aplicações*. Rio de Janeiro: Interciência; 2008. p.170-182.
6. Merino GSAD, Pereira D, Merino EAD, Vieira MLH. Design applied to Family Agriculture and Aquaculture Based on Social Innovation. In: IDEMI09: Proceedings of the First International Conference on Integration of Design, Engineering and Management for Innovation; 2009 Set 14-15; Porto, Portugal. https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/1842/socialinnovation_idemi09.pdf?sequence=1 (acessado em 17/Jun/2015).
7. Dutra ARA, Garcia MA, Rossato IF, Barros Filho JR. A Contribuição da Ergonomia para a Mecanização da Produção Catarinense de Ostras. In: ENEGEP 2011: XXXI Encontro Nacional de Engenharia de Produção; 2011 Out 4-7; Belo Horizonte (MG), Brasil. http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2011_TN_STO_138_878_1_9175.pdf (acessado em 17/Jun/2015).
8. Stefani CT, Merino GSAD, Pereira EF, Merino EAD. A atividade de malacocultura e as queixas musculoesqueléticas: considerações acerca do processo produtivo. *IJIE – Iberoamerican Journal of Industrial Engineering* 2011; 3(1):2-15.
9. Moreau DTR, Neis B. Occupational health and safety hazards in Atlantic Canadian aquaculture: laying the groundwork for prevention. *CULTIVO Policy* 2009; 33:401–411.
10. Lee T, Han C. Analysis of working postures at a construction site using the OWAS method. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics (JOSE)* 2013; 19(2):245-250.
11. Van Nieuwenhuysse A, Somville PR, Grombez G, Budorf A, Vebeke G, Johannik K, Van Den Bergh MR, Masschelein R, Mairiaux P, Moens

GF. The role of physical workload and pain related fear in the development of low back in youth workers: evidence from the Blowback study - results after one year of follow up. *Occupational and Environmental Medicine* 2006; 63(1):45-52.

12. Bosch T, Loose MP, Dieen JH. Development of fatigue and discomfort in the upper trapezius muscle during light manual work. *Ergonomics* 2007; 50(2):161-177.

13. Roman-Liu D. Comparison of concepts in easy-to-use methods for MSD assessment. *Applied Ergonomics* 2014; 45:420-427.

14. OIT - Organización Internacional del Trabajo. Programa Internacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (SafeWork). La Prevención de las enfermedades profesionales: 2 millones de trabajadores mueren cada año. 2013. <http://www.universidad.edu.uy/renderResource/index/resourceId/25401/siteId/11> (acessado em 17/Jun/2015).

15. Otto A, Scholl. A. Incorporating ergonomic risks into assembly line balancing. *European Journal of Operational Research* 2011; 212:277-286.

16. Bureau of Labor Statistics. Nonfatal occupational injuries and illnesses requiring days away from work 2013: musculoskeletal disorders (MSDs) and industry. <http://www.bls.gov/news.release/osh2.nr0.htm> (acessado em 17/Jun/2015).

17. Maeno M, Salerno V, Rossi DAG, Fulle R. Lesões por esforços repetitivos (LER), distúrbios osteomusculares relacionados ao trabalho (DORT), dor relacionada ao trabalho: protocolos de atenção especial à saúde do trabalhador de complexidade diferenciada. Brasília (DF): Ministério da Saúde. 2006. http://bvsm.s.saude.gov.br/bvs/publicacoes/protocolo_ler_dort.pdf (acessado em 17/Jun/2015).

18. Chiavegato Filho L.G. e Pereira JR. A. LER/DORT: multifatorialidade etiológica e modelos explicativos. *Interface – Comunicação, Saúde, Educação* 2003; 8(14):149-162.

19. Cardoso Junior, MM. Avaliação ergonômica: revisão dos métodos para avaliação postural. *Revista Produção* 2006; 6(3):133-153.

<http://www.producaoonline.org.br/rpo/article/view/630/668> (acessado em 17/Jun/2015).

20. Lim CL, Jung MC, Kong YK. Evaluation of upper-limb body postures based on the effects of back and shoulder flexion angles on subjective discomfort ratings, heart rates and muscle activities. *Ergonomics* 2011; 54(9):849-857.

21. Malchaire J, Gauthy R, Piette A, Strambi F. A classification of methods for assessing and/or preventing the risks of musculoskeletal disorders. Brussels: European Trade Union Institute; 2011. <https://www.etui.org/content/download/4972/49930/file/Guide+MSD-web.pdf> (acessado em 17/Jun/2015).

22. Karhu O, Kansu P, Kuorinka I. Correcting working postures in industry: a practical method for analysis. *Applied Ergonomics* 1977; 8(4):199-201.

23. Karhu O, Härkönen R, Sorvali P, Vepsäläinen P. Observing working postures in industry: examples of OWAS application. *Applied Ergonomics* 1981, 12(1):13-7.

24. Vedder J. Identifying postural hazards with a video-based occurrence sampling method. *International Journal of Industrial Ergonomics* 1998; 22:373-380.

25. Deros BM, Daruis DDI, Ismail AR, Rahim ARA. Work posture and back pain evaluation in the Malaysian food manufacturing company. *American Journal of Applied Sciences* 2010; 7(4):473-479.

26. Scott GB, Lambe NR. Working practices in a perchery system, using Ovaco Working Posture Analysis System. *Applied Ergonomics* 1996, 27 (4):281-284.

27. Saurin TA, Guimarães LBM. Ergonomic assessment of suspended scaffolds. *International Journal of Industrial Ergonomics* 2008, 38:238-246.

28. Ergonautas.com. OWAS - Ovaco Working Analysis System: información del método. Universitat Politècnica de València. <http://www.ergonautas.upv.es/metodos/owas/owas-ayuda.php> (acessado em 17/Jun/2015).

29. Mattila M, Karwowski W, Vikki M. Analysis of working postures in hammering tasks on building construction sites using the computerized OWAS method. *Applied Ergonomics* 1993, 24(6):405-412.
30. Silva MC, Freitas TAF, Másculo FS. Métodos de análise ergonômica aplicados às atividades de carregamento manual de caminhões em uma empresa de cerâmicos. In: ENEGEP 2010: XXX Encontro Nacional de Engenharia de Produção; 12-15/Out/2010; São Carlos (SP), Brasil. http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2010_TN_STP_127_817_16133.pdf (acessado em 17/Jun/2015).
31. Silva FP, Krüger JA, Xavier AAP. Aplicação do método OWAS no transporte e manuseio de formas de alumínio utilizadas para construção de casas in loco: um estudo de caso. In: ENEGEP 2010: XXX Encontro Nacional de Engenharia de Produção; 12-15/Out/2010; São Carlos (SP), Brasil. <http://www.pg.utfpr.edu.br/dirppg/ppgep/ebook/2010/CONGRESSOS/ENEGEP/46.pdf> (acessado em 17/Jun/2015).
32. Kivi P, Mattila, M. Analysis and improvement of work postures in the building industry: application of computerized OWAS method 1991, *Applied Ergonomics*, 22(1):43-48.
33. BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. Norma Regulamentadora 17 – Ergonomia. Portaria SIT n. 13, de 21 de junho de 2007. http://portal.mte.gov.br/data/files/FF8080812BE914E6012BEFBAD7064803/nr_17.pdf (acessado em 17/Jun/2015).
34. BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. Norma Regulamentadora 31 – Segurança e saúde no trabalho na agricultura, pecuária, silvicultura, exploração florestal e aquicultura. Portaria GM n. 86, de 03 de março de 2005. <http://portal.mte.gov.br/legislacao/normas-regulamentadoras-1.htm> (acessado em 17/Jun/2015).

CAPÍTULO III - PROJETO E PROTOTIPAGEM DE UM SISTEMA MECANIZADO DE COLHEITA DE MEXILHÕES CULTIVADOS

André Luís Tortato Novaes¹, Gilberto José Pereira Onofre de Andrade²,
Aimê Rachel Magenta Magalhães².

¹ Epagri - Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina, Centro de Desenvolvimento em Aquicultura e Pesca. Rodovia Admar Gonzaga, 1188, Itacorubi, CEP 88034-901, Florianópolis, SC, Brasil. novaes@epagri.sc.gov.br.

² Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Aquicultura. Rodovia Admar Gonzaga, 1346, Itacorubi, CEP 88034-001, Florianópolis, SC, Brasil. gilberto.andrade@ufsc.br, aime.rachel@ufsc.br.

*Artigo formatado de acordo com as normas editoriais do periódico
Boletim do Instituto de Pesca.

RESUMO

No Brasil, a colheita de mexilhões é realizada predominantemente de forma manual, em um arranjo físico pouco eficiente, que tanto ocasiona desperdícios de recursos de produção, quanto expõe os trabalhadores a riscos ocupacionais. O objetivo do presente estudo foi projetar e manufaturar um sistema mecanizado de colheita de mexilhões, capaz de proporcionar uma configuração diferenciada do arranjo físico de colheita. No desenvolvimento do sistema foi utilizada uma abordagem sistemática de projeto de produto adaptada ao reprojeto de tecnologias utilizadas na mecanização da colheita de mexilhões em outros países. Como resultado, foi projetado e manufaturado o protótipo de um sistema mecanizado de colheita composto por uma plataforma autopropelida, um subsistema de elevação de carga, um subsistema de sustentação de espinhéis, um extrator de mexilhões dos cabos centrais de cordas de cultivo, uma desagregadora, uma lavadora, uma classificadora de mexilhões, um conjunto de bombeamento de água marinha e uma unidade hidráulica. Este sistema foi concebido para permitir a realização de todas as operações do processo de colheita de forma integrada, diretamente nas áreas aquícolas das unidades de produção de mexilhões.

Palavras-chave: cultivo de mexilhões; mecanização; projeto de máquinas.

ABSTRACT

In Brazil, mussels harvesting is predominantly manually performed in a low efficient layout. This both causes losses of production resources, as workers exposures to occupational hazards. The aim of this study was to design and manufacture a mechanized mussels harvesting system, able to provide a different configuration of harvesting layout. A systematic product design approach, adapted to the redesign of foreign mechanized mussels harvesting technologies was applied. As a result, it was designed and manufactured a harvesting system prototype composed by a vessel, a load lifting subsystem, a longline support subsystem, a mussels extractor from culture ropes, a de-clumper, a washer, a sorter, a set of sea water pumping and a hydraulic unit. This system was designed to perform all harvesting operations in an integrated manner, directly at the marine farms production areas.

Keywords: mussel production; mechanization; machine design.

INTRODUÇÃO

No processo de produção do mexilhão *Perna perna* (Linnaeus, 1758), os produtores que realizam todas as operações da etapa de colheita, aqui considerada a retirada dos mexilhões do mar, a desagregação, a limpeza, a classificação dos animais por tamanho e seu acondicionamento em contentores, obtêm melhores preços na comercialização dos seus produtos. A opção por realizá-las é influenciada pela estratégia de comercialização da produção, pelo volume de trabalho e esforços físicos envolvidos e pela capacidade de produção operacional de cada produtor.

Diferentemente do que ocorre em países com tradição na produção de mexilhões, como Espanha, Nova Zelândia, Chile, França, onde as operações da colheita são realizadas de forma mecanizada, no Brasil essas atividades são executadas predominantemente de forma manual (SCALICE, 2003; MARENZI, *et al.*, 2008; MERINO *et al.*, 2009; DUTRA *et al.*, 2011; STEFANI *et al.*, 2011). Embora existam linhas de crédito subsidiado para a aquisição de máquinas e equipamentos no País, não há produtos com desempenhos operacionais validados disponíveis no mercado nacional. A importação de tecnologias encontra barreiras como o alto custo e a necessidade de adequação e validação dos produtos estrangeiros às condições locais de cultivo (NOVAES *et al.*, 2011a, 2011b).

Alguns produtores e a academia (SCALICE, 2003), inspirados em experiências estrangeiras, tem buscado desenvolver soluções de mecanização do cultivo de mexilhões. Protótipos têm sido concebidos buscando mecanizar as operações da produção, principalmente da etapa de colheita, que é onde se concentram as maiores exigências de mão de obra e esforços físicos. Todavia, as soluções desenvolvidas ainda não foram capazes de elevar o desempenho operacional na realização das operações produtivas a um patamar satisfatório e evitar os riscos de ocorrência de Distúrbios Osteomusculares Relacionados ao Trabalho (DORT) nos trabalhadores envolvidos na produção.

Os protótipos construídos até agora tem aplicação pontual, não considerando o processo de colheita no todo. Foram concebidos para se adequarem a uma configuração de arranjo físico (leiaute) de colheita pouco eficiente, que ocasiona desperdícios de recursos de produção e expõe os trabalhadores a riscos de ocorrência de DORT. Em um arranjo físico ineficiente, os protótipos não tem sido capazes de expressar suas capacidades de produção operacionais efetivas, não sendo tão atrativos para os produtores.

O desenvolvimento de produtos destinados à mecanização das operações da colheita de mexilhões utilizando uma abordagem metodológica de projeto que considere a necessidade de rearranjo dos processos de colheita nas fazendas marinhas nacionais e o estudo de experiências já consolidadas em outros países pode ser uma opção para sobrepujar as dificuldades supramencionadas.

O processo de projeto de produtos é uma estratégia sistemática de resolução de problemas, com critérios e restrições, utilizada para desenvolver soluções ou satisfazer necessidades e desejos humanos (KARNITZ *et al.*, 2009; SHAINEE *et al.*, 2013). Abordagens sistemáticas de projeto de engenharia são amplamente empregadas em empresas de sucesso e, através delas, produtos são projetados numa evolução sistemática de modelos, onde um modelo mais detalhado e concreto substitui outro mais simples e abstrato, até a viabilização física do objeto projetado (FERREIRA, 1997). Uma característica importante das metodologias de projeto é que elas costumam ser generalistas, possibilitando sua aplicação em uma ampla gama de situações (MENDES *et al.*, 2009).

O reprojeção de produtos é uma prática comum na indústria como meio de eliminar falhas, aumentar qualidade, reduzir custos, reduzir impactos ambientais, ampliar vida útil, atender a mudanças de perfil dos consumidores, lançar novas versões de produtos que se encontram há tempo no mercado, entre outras finalidades (SMITH *et al.*, 2012). De acordo com LI *et al.* (2006) e SMITH *et al.* (2012), o reprojeção tem sido parte importante do processo de desenvolvimento de produtos, sendo peça chave para a obtenção de sucesso nos negócios.

Atividades de engenharia envolvem o uso de princípios de solução já existentes para resolver novos problemas. Essa constatação é evidenciada por ROSENFELD *et al.* (2006), ao se referirem à experiência de Genrich Saulovich Altshuller, engenheiro, pesquisador e inventor russo, que desenvolveu a Teoria da Solução de Problemas Inventivos (TRIZ), após concluir que a maioria dos mais de 1.500.000 depósitos de patentes de produtos que teve a oportunidade de analisar, tratavam-se de melhorias de produtos existentes e não de novas invenções.

O objetivo do presente estudo foi projetar e manufaturar o protótipo de um sistema mecanizado de colheita de mexilhões, capaz de proporcionar uma configuração diferenciada do arranjo físico do processo de colheita adotado em grande parte das unidades de produção existentes em Santa Catarina. No desenvolvimento deste sistema utilizou-se como referência a abordagem sistemática de projeto de

produto proposta por PAHL e BEITZ (1996), adaptada ao reprojeto de tecnologias utilizadas na mecanização da colheita de mexilhões em outros países. Diferentemente do procedimento adotado para o desenvolvimento de soluções inventivas, onde no processo de síntese de soluções há maior grau de incertezas, aqui se optou pela seleção e adaptação de tecnologias existentes, que apresentam potencial para serem aplicadas na colheita de mexilhões da espécie *Perna perna*.

MATERIAL E MÉTODOS

O projeto do sistema mecanizado de colheita de mexilhões foi desenvolvido no Centro de Desenvolvimento em Aquicultura e Pesca da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina - Epagri, localizado em Florianópolis/SC, no período compreendido entre maio de 2012 e maio de 2015. A metodologia de projeto utilizada é apresentada na figura 1. Trata-se de uma adaptação da abordagem sistemática proposta por PAHL e BEITZ (1996), que é uma das mais difundidas na área de conhecimento de projeto de produto (MENDES *et al.*, 2009; BORGES e RODRIGUES, 2010). Na abordagem adotada, o processo de projeto foi dividido em quatro fases: projeto informacional, projeto conceitual, projeto preliminar e projeto detalhado.

A fase informacional teve como objetivo captar as necessidades dos produtores de mexilhões e convertê-las em especificações técnicas de projeto. As especificações são objetivos a serem atendidos pelo produto em desenvolvimento, tendo como finalidade direcionar o processo de geração de soluções, fornecendo as bases para os critérios de avaliação das fases posteriores do processo de projeto (ROOZEMBURG e EEKELS, 1995).

As especificações do sistema de colheita foram definidas a partir de uma sequência de procedimentos que envolveu: a) o levantamento das necessidades dos produtores de mexilhões do estado de Santa Catarina, através de 30 entrevistas informais; b) o levantamento do estado da arte das tecnologias de mecanização da colheita de mexilhões empregadas em outros países; c) a definição da configuração global do sistema de colheita; d) a definição dos requisitos de projeto e e) a conversão dos requisitos de projeto em especificações técnicas.

Concluída a fase informacional, foi iniciada a fase conceitual, que objetivou gerar soluções físicas para atender as especificações técnicas do projeto. Essa fase foi constituída das seguintes etapas:

1. Definição da estrutura funcional do produto - Na definição da estrutura funcional foi utilizado o método da função síntese,

ilustrado em diversos trabalhos encontrados na literatura sobre projeto de produto, como as obras de BACK (1983), PAHL e BEITZ (1996), ULLMAN (1997), REIS e FORCELLINI (2002) e SCALICE (2003).

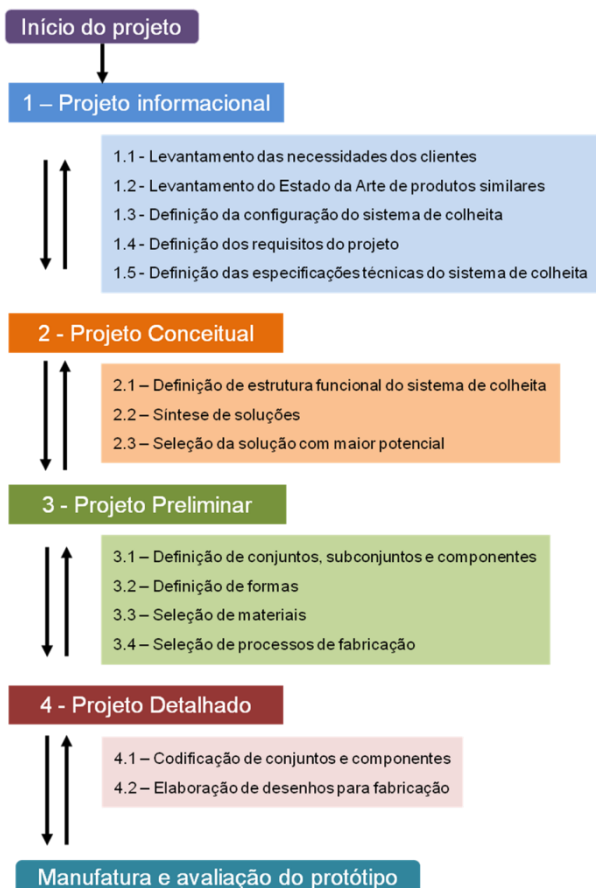


Figura 1 – Metodologia utilizada no projeto do sistema mecanizado de colheita de mexilhões.

2. Pesquisa por princípios de solução alternativos para cada função - Na pesquisa por princípios de solução foi adotado o método da matriz morfológica (PAHL e BEITZ, 1996). Na matriz morfológica, para cada função parcial ou elementar do sistema de colheita foram propostos princípios de solução capazes de atendê-las. Diferentemente do

procedimento adotado na síntese de soluções inventivas, onde há maior liberdade na proposição de princípios de solução, aqui, por se tratar de um processo de reprojeto adaptativo de soluções já existentes, os princípios propostos ficaram restritos a soluções adotadas em diferentes países, na mecanização de operações produtivas do cultivo de mexilhões, ostras e peixes, na pesca e na construção civil.

3. Seleção dos princípios de solução – Os princípios de solução foram submetidos a um processo de seleção que objetivou identificar quais apresentavam o maior potencial de atender às especificações de projeto definidas na fase informacional do projeto. Nesse processo, foi utilizada uma adaptação da matriz de decisão de Pugh (PUGH 1991; PAHL e BEITZ, 1996; AUGUSTINE *et al.*, 2010). Uma vez selecionados os princípios de solução com maior potencial de atendimento de cada função, efetuou-se a combinação desses princípios, dando origem ao conceito do sistema mecanizado de colheita de mexilhões, que avançou para as fases seguintes do processo de projeto.

Na fase de projeto preliminar foi realizado o dimensionamento, a definição de formas, a seleção dos materiais e de processos de fabricação dos protótipos que integram o sistema mecanizado de colheita. Para isso foram empregados princípios de projeto para manufatura e montagem (DFMA - *Design for Manufacture and Assembly*) sugeridos por BAKERJLAN (1992); BOOTHROYD *et al.* (1994); PAHL e BEITZ (1996) e ULLMAN (1997) e utilizado o software *Solid Edge Synchronous Technology - 4®* (SEST - 4) para a modelagem de todos os componentes (interfaces *Part e Sheet Metal*) e das montagens de componentes (interface *Assembly*) do sistema de colheita.

Na fase de projeto detalhado, foi gerada a documentação para a manufatura dos protótipos, compreendendo a elaboração dos desenhos técnicos e a listagem dos subsistemas, conjuntos e componentes destinados a orientar o processo de fabricação. Para esse fim, também foi utilizado o software SEST - 4 (interface *Draft*).

A manufatura dos protótipos foi realizada em duas empresas privadas. A Rhino Tech do Brasil, especializada na fabricação de embarcações de polietileno de alta densidade (PEAD) e a Hydreco Hydraulics, especializada na manufatura e comercialização de peças e equipamentos para a linha hidráulica e náutica. Na Rhino Tech do Brasil foi realizada a manufatura da plataforma autopropelida e na Hydreco, a manufatura dos demais protótipos de máquinas e equipamentos.

Os processos de manufatura adotados foram rotomoldagem e soldagem de plásticos, carpintaria naval e serviços de metalurgia como

usinagem, soldagem, corte, conformação mecânica, montagem e ajustagem. Os materiais utilizados na manufatura dos protótipos foram aço inoxidável 316L, aço galvanizado a fogo, polietileno de alta densidade, poliacetal, náilon, borracha e madeira.

RESULTADOS

A lista de especificações de projeto, que constitui o produto final da fase informacional do projeto do sistema mecanizado de colheita é apresentada na tabela 1. Ela é composta de dez itens, dos quais oito se relacionam a aspectos construtivos, funcionais e de custo; um a desempenho operacional e um a desempenho ergonômico.

Nesta pesquisa se optou por gerar uma lista de especificações composta de poucos requisitos de projeto, mas dotada de informações capazes de: a) expressar necessidades tácitas e explícitas levantadas durante as entrevistas informais realizadas com os maricultores; b) auxiliar a tomada de decisões nas fases de projeto conceitual e preliminar e c) estabelecer parâmetros para a avaliação do projeto após o processos de prototipagem e realização de ensaios em campo.

Na figura 2 é apresentada a estrutura funcional do sistema de colheita, gerada na primeira etapa do projeto conceitual. Na estrutura funcional, a função global (FG) do sistema foi desdobrada em sete funções parciais (FP), das quais, cinco foram desdobradas em funções elementares (FE), de tal modo que fosse possível identificar princípios de solução capazes de atendê-las.

A matriz morfológica utilizada na síntese de soluções do projeto conceitual é apresentada na tabela 2. Ela contém as funções parciais e elementares do sistema em desenvolvimento, os princípios de solução identificados para atendê-las e as fontes de consulta onde foram localizadas aplicações das soluções propostas, tais como sites de fabricantes de máquinas e equipamentos, apresentações ou vídeos disponibilizados na internet.

A tabela 3 é a matriz de avaliação empregada na seleção dos princípios de solução sugeridos para cada função da matriz morfológica. Basicamente, o que diferencia essa matriz de avaliação da originalmente proposta por Pugh (1991), é o fato dela não apresentar uma coluna contendo pesos que são utilizados para hierarquizar os requisitos de projeto que compõe a lista de especificações. Os requisitos não foram hierarquizados porque se considerou que eles eram dependentes uns dos outros e apresentavam igual importância para o atendimento das

necessidades manifestadas pelos produtores de mexilhões durante a realização das entrevistas.

Tabela 1 - Especificações de projeto do sistema mecanizado de colheita de mexilhões.

Codigo	Requisito de projeto	Meta
1	Utilizar materiais não corrosivos	100% dos materiais resistentes à corrosão
2	Dimensões do sistema ($V = L \times C \times H$)	$PA \leq 35 \text{ m}^3$; $DE \leq 2 \text{ m}^3$
3	Massa do sistema	$PA \leq 2000 \text{ kg}$; $DE \leq 130 \text{ kg}$
4	Interface simples com o usuário	Utilizar apenas um acionamento por equipamento
5	Custo de fabricação ou aquisição	$PA \leq \text{R\$ } 60.000,00$; $DE \leq \text{R\$ } 15.000,00$
6	Baixo consumo de potência	$PA \leq 111.900 \text{ W}$ (150 HP); $UH \leq 11.190 \text{ W}$ (15 HP); $CB \leq 11.190 \text{ W}$ (15 HP)
7	Realizar as operações de colheita de forma integrada, no mar	Realizar retirada do mar, desagregação, limpeza e classificação dos mexilhões
8	Permitir carga e descarga nas praias	-
9	Desempenho operacional	$CPO (\text{Kg} \cdot \text{s}^{-1}) = 1$; $E\% = 89$; $ET\% = 80$; $Q\% = 1$; $R\% = 10$
10	Desempenho ergonômico	100% das posturas laborais na categoria 1 de risco de ocorrência de DORT (de acordo com o método OWAS)

PA – plataforma autopropelida; DE – demais equipamentos; CPO = capacidade de produção operacional; E% - eficácia operacional; ET% - eficiência de tempo; Q% - quebra; R% - retorno; DORT – distúrbios osteomusculares relacionados ao trabalho.

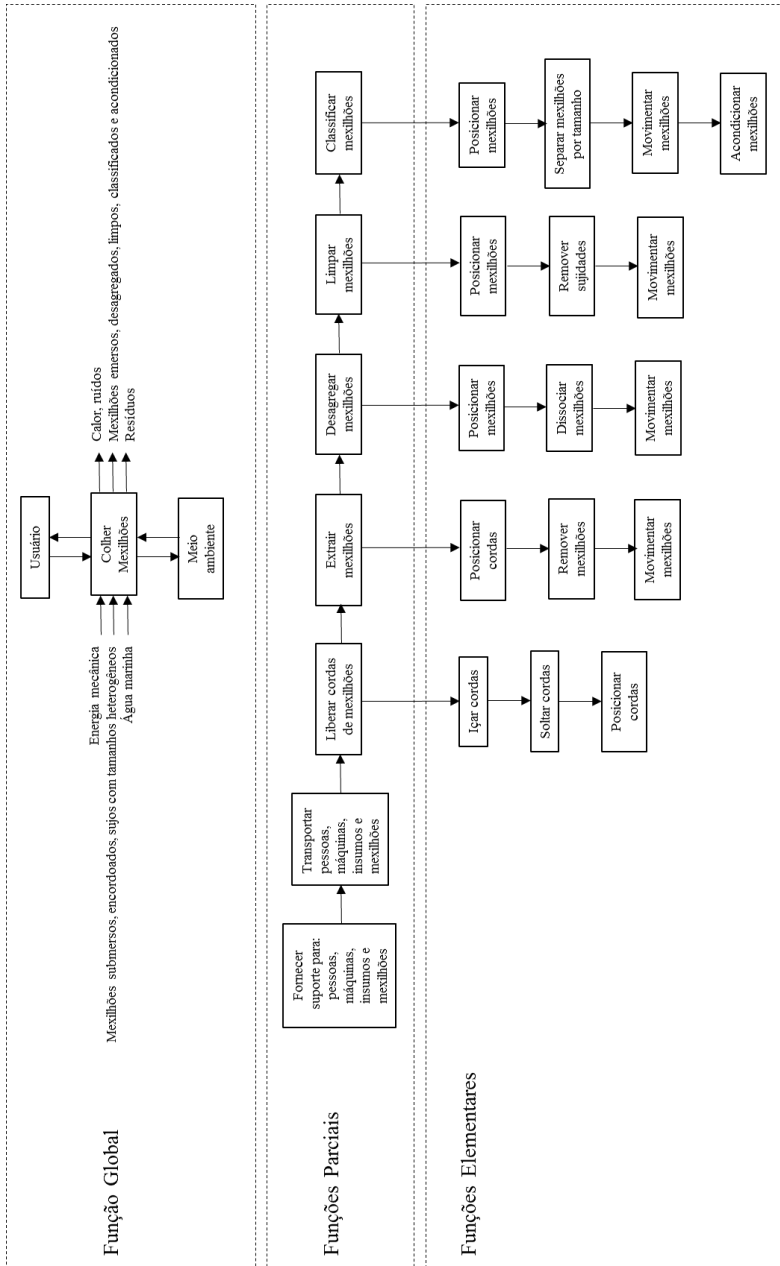


Figura 2 – Estrutura funcional do sistema mecanizado de colheita de mexilhões.

Tabela 2 – Matriz morfológica do sistema mecanizado de colheita de mexilhões.

Funções parciais e elementares	Princípios de solução			
	1	2	3	4
FP-1 Fornecer suporte	Balsa fixa	Balsa Motorizada	Pier flutuante	Embarcações
	Fonte: OCEAN [200?] COSECHA (2011)	Fonte: OCEAN [200?]	Fonte: NTC [200?]	
FP-2 Transportar	1	2	3	4
	Embarcação monocasco com fundo em “V”	Embarcação monocasco com fundo chato	Embarcação multicasco com fundo em “V”	Embarcação multicasco com fundo chato
	Fonte: OCEAN [200?] DAMEN (2015) LEGEND (2015)	Fonte: MULOT [199?] OCEAN [200?]	Fonte: OCEAN [200?] MUSSEL (2013)	Fonte: OCEAN [200?] XPLORA (2007)
FE-1 Içar cordas de mexilhões	1	2	3	4
	Torre hidráulica	Guincho de coluna	Guincho manual	Grua hidráulica
	Fonte: BONARDELLI (2012) QUALITY (2013)	Fonte: TIMMAQ [200?]	Fonte: FAREX (2015)	Fonte: GUERRA (2015)
FE-2 Soltar cordas de mexilhões	5	6	7	
	Tracionador de polias	Guincho de redes de pesca	Roda Estrela	
	Fonte: HARVESTING (2012) MARCO (2015)	Fonte: NAVAL (2013)	Fonte: FUKUI (1999) ANSCO (2011) ACEROS (2014)	
FE-3 Posicionar cordas de mexilhões	1	2	3	4
	Desatar nó de fixação	Cortar nó de fixação	Engate rápido	
FE-3 Posicionar cordas de mexilhões	1	2	3	4
	Calha	Transportador de esteira	Berço alavanca	+ Polia
	Fonte: HARMAG [200?] ANSCO (2011) HARVESTING (2012) SPRING (2015) QUALITY (2013)	Fonte: RODEEN (2011)	Fonte: SANTANA (2005)	Fonte: XPLORA (2007) HARVESTING (2011)
FE-4 Posicionar mexilhões	1	2	3	4
	Calha	Transportador de esteira	Funil ou alimentador	Çaçamba basculante
	Fonte: ANSCO (2011) HARVESTING (2012) QUALITY (2013) HARMAG [200?] ACEROS (2014) SPRING (2015)	Fonte: RODEEN (2011) KRAMER (2012)	Fonte: MULOT [199?] TALLERES [199?] HARMAG [200?] TALLERES [200?] TALLER [200?] QUALITY (2013)	Fonte: MUSSEL (2011) BOUCHOT (2011)

Tabela 2 – Matriz morfológica do sistema mecanizado de colheita de mexilhões - continuação.

Funções parciais e elementares	Princípios de solução			
	1	2	3	4
FE-5 Remover mexilhões das cordas	Placas estáticas de borracha	Par de eixos rotativos de escovas	Par de eixos rotativos de aletas ou travas	Cone extrator
	Fonte: HARMAG [200?] COSECHA (2011) CULTIVO (2011) HARVESTING (2012) QUALITY (2013) ACEROS (2014)	Fonte: SPRING (2015)	Fonte: MULOT [199?] WBAKKER (2015)	Fonte: LA RÉCOLTE (2012)
FE-6 Movimentar mexilhões	1	2	3	4
	Parafuso de Arquimedes composto de pás removíveis	Parafuso de Arquimedes de corpo único	Parafuso de Arquimedes de escovas com cerdas plásticas	Esteira transportadora
	Fonte: MULOT [199?] TALLERES [199?] TALLER [200?] TALLERES [200?]	Fonte: HARMAG [200?] ANSCO (2011) QUALITY (2013)	Fonte: TALLERES [199?] WBAKKER (2015)	Fonte: RODEEN (2011) COSECHA (2011) CULTIVO (2011) ACEROS (2014) WBAKKER (2015)
	5	6	7	8
Tambor giratório	Transportador vibratório	Água canalizada sob pressão (Sistema de Venturi)	Eixo com hélice externa	
Fonte: GAICTECH (2015)	Fonte: MULOT [199?]	Fonte: MUSSEL (2010)	Fonte: MULOT [199?] CULTIVO (2011) ANSCO (2011) GAICTECH (2015) TALLER [200?] SPRING (2015)	
FE-7 Dissociar mexilhões	1	2	3	4
	Parafuso de Arquimedes composto de pás removíveis	Eixo de pás de aço	Eixo de pás de aço + correntes	Esteira de escova
	Fonte: MULOT [199?] TALLERES [199?] TALLER [200?] TALLERES [200?]	Fonte: COSECHA (2011) CULTIVO (2011) ANSCO (2011) MT (2013) ACEROS (2014)	Fonte: HARMAG [200?] ANSCO (2011) QUALITY (2013)	Fonte: FRANKEN (2010) KRAMER (2012)
	5	6	7	
Cone rotativo com saliências	Eixo cilíndrico de escovas	Eixo cilíndrico com aletas		
Fonte: MULOT [199?] TALLERES [200?]	Fonte: HARVESTING (2012)	Fonte: WBAKKER (2015)		

Tabela 2 – Matriz morfológica do sistema mecanizado de colheita de mexilhões - continuação.

Funções parciais e elementares	Princípios de solução			
	1	2	3	4
FE-8 Remover sujidades dos mexilhões	Escova plana com movimento alternativo + água	Escova cilíndrica + água	Escova helicoidal + água	Parafuso de Arquimedes composto de pás removíveis + água
	Fonte: MULOT [199?] TALLERES [199?] KRAMER (2012)	Fonte: HARVESTING (2012)	Fonte: TALLERES [199?] WBAKKER (2015)	Fonte: MULOT [199?] TALLERES [199?] TALLER [200?] TALLERES [200?]
	5	6	7	8
	Tambor giratório com grades + água	Tambor giratório + água	Mesa vibratória + água	Esteira transportadora + água
	Fonte: HARMAG [200?] COSECHA (2011) CULTIVO (2011) HARVESTING (2012) ACEROS (2014)	Fonte: GAICTECH (2015)		
FE-9 Separar mexilhões por tamanho	1	2	3	4
	Tambor giratório de grades	Tambor giratório com furos	Cilindros rotativos divergentes com hélice externa	Eixo escalonado com hélice externa
	Fonte: FUKUI (1999) HARMAG [200?] HARVESTING (2012) COSECHA (2011) CULTIVO (2011) QUALITY (2013) ACEROS (2014)	Fonte: CHESA (2009) CUSTOM (2014)	Fonte: ANSCO (2011) CULTIVO (2011) KRAMER (2012) ACEROS (2014)	Fonte: MULOT [199?] TALLER [200?] SPRING (2015) GAICTECH (2015)
	5	6	7	8
	Grades vibratórias sobrepostas	Cones rotativos com hélice externa	Calhas planas divergentes inclinadas	Cassificador eletrônico por imagem
	Fonte: MULOT [199?]	Fonte: MULOT [199?]	Fonte: CLASSIFICADOR [201?]	Fonte: LISOTTE (2012)
FE-10 Acondicionar mexilhões	1	2	3	4
	Big bag	Caixa Bin	Caixa de hortaliças	Sacos de hortaliças

FP – Função parcial; FE – Função elementar.

Tabela 3 – Matriz de avaliação de princípios de solução.

Função	PS	Especificações de projeto										Total
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
FP-1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	-1	0	-1	-1	-1	+1	+2	+1	+2	+2
	3	0	0	+2	0	-1	0	0	0	0	0	+1
	4	0	-1	0	-1	-1	-1	+1	+2	+2	+2	+3
FP-2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	+1	0	+1	0	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+8
	3	0	0	+1	0	0	0	0	0	0	0	+1
	4	+1	0	+1	0	+2	+1	+1	+1	+1	+1	+9
FE-1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	+1	0	+1	0	0	0	0	0	+2
	3	0	0	+2	0	+2	+2	-1	0	-2	-2	+1
	4	0	-1	-2	-2	-2	-2	0	0	0	0	-9
	5	0	+1	+1	0	+1	0	0	0	-1	-1	+1
	6	0	+1	-1	0	0	0	-1	0	-1	-1	-3
FE-2	7	0	0	+1	0	+1	0	-1	0	-1	-1	-1
	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	-1	0	0	0	+2	+2	+3
FE-3	3	0	0	0	0	-2	0	0	0	+1	+1	0
	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	-1	-2	-1	+1	0	0	+1	+1	-1
FE-4	3	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-1	-2
	4	0	+1	0	+1	0	-1	0	0	-1	0	0
	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FE-5	2	0	0	-1	-2	-1	+1	0	0	+1	+1	-1
	3	0	0	-1	0	-1	+1	+1	0	0	0	0
	4	0	-2	-2	-2	-2	-2	-1	0	-1	+2	-10
	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FE-6	2	0	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	0	0	-5
	3	0	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	0	0	-5
	4	0	-2	-2	-2	-2	-2	0	0	0	0	-10
	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FE-7	2	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	-1
	3	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	-1
	4	0	0	-1	0	-2	0	0	0	0	0	-3
	5	0	-1	0	0	-2	0	0	0	0	0	-3
	6	0	-1	0	-1	-2	0	0	0	0	0	-4
	7	0	-1	-1	-1	-2	-2	0	0	+2	0	-5
	8	0	0	0	0	0	0	0	0	+1	0	+1
	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FE-7	2	0	0	0	0	+1	0	0	0	-1	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	-1
	4	0	+1	-1	0	-2	0	0	0	-1	0	-3
	5	0	+1	-1	0	-2	0	0	0	-2	0	-4
	6	0	+1	-1	0	-1	0	0	0	-1	0	-2
	7	0	+1	-1	0	0	0	0	0	-1	0	-1

Tabela 3 – Matriz de avaliação dos princípios de solução - continuação.

Função	PS	Especificações de projeto									Total	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9		10
FE-8	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	+1	0	0	0	0	0	+1	0	+2
	3	0	0	+1	0	+1	0	0	0	+1	0	+3
	4	0	0	+2	0	0	0	0	0	+1	0	+3
	5	0	-1	0	0	+1	0	0	0	0	0	0
	6	0	-1	0	0	+1	0	0	0	0	0	0
	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	8	0	0	0	0	0	0	0	0	+1	0	+1
FE-9	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	+1	0	0	0	0	+1	0	+1	0	+3
	4	0	+1	+1	0	0	0	+1	0	+1	0	+4
	5	0	+1	0	0	-1	0	+1	0	0	0	+1
	6	0	+1	0	0	-1	0	+1	0	+1	0	+2
	7	0	+1	0	0	0	0	+1	0	-1	0	+1
	8	0	-2	-2	-2	-2	0	-1	0	+2	+2	-4
FE-10	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	-2	0	-2	0	0	0	0	0	-4
	3	0	+1	-1	0	-1	0	0	0	0	0	-1
	4	0	+1	0	0	+1	0	0	0	0	0	+2

FP – Função parcial; FE - Função elemental; PS – Princípio de solução. Linhas escuras indicam os princípios de solução tomados como referência para o estabelecimento de comparações relativas entre soluções propostas para atender a mesma função.

Como resultados das fases de projeto conceitual e preliminar do sistema mecanizado de colheita de mexilhões, foi concebida a configuração apresentada na figura 3. O sistema integra uma plataforma autopropelida, um subsistema de elevação de carga, um subsistema de sustentação de espinhéis, um extrator de mexilhões dos cabos centrais das cordas de cultivo, uma desagregadora, uma lavadora, uma classificadora de mexilhões, um conjunto de bombeamento de água marinha e uma unidade hidráulica.

A plataforma autopropelida tem como funções fornecer suporte e transportar a tripulação (trabalhadores envolvidos na colheita), as máquinas e equipamentos, insumos e os mexilhões colhidos. O subsistema de elevação de carga tem a função de içar o espinhel até uma altura que permita seu posicionamento sobre o subsistema de sustentação de espinhéis. Este tem como função servir de apoio para o espinhel, mantendo-o em uma altura ergonomicamente adequada para que os trabalhadores possam realizar a soltura das cordas de cultivo e o deslocamento da plataforma paralelamente ao eixo longitudinal dos espinhéis enquanto os mexilhões são colhidos.

O extrator de mexilhões dos cabos centrais tem como função remover os mexilhões das cordas de cultivo e encaminhá-los, em blocos, até a desagregadora, que promoverá a dissociação, individualizando os animais. A lavadora tem como funções remover as sujidades dos mexilhões, promover a individualização dos animais que porventura permaneçam unidos após a desagregação mecanizada e movimentá-los até a entrada da classificadora. A classificadora tem como função separar os mexilhões em quatro classes de tamanho e direcioná-los até os contentores que serão utilizados para acondicioná-los.

O conjunto de bombeamento de água marinha tem como função fornecer água para os processos de desagregação e limpeza dos mexilhões. A função da unidade hidráulica é acionar os motores hidráulicos do subsistema de elevação de carga, do extrator de mexilhões, da desagregadora, da lavadora e da classificadora.

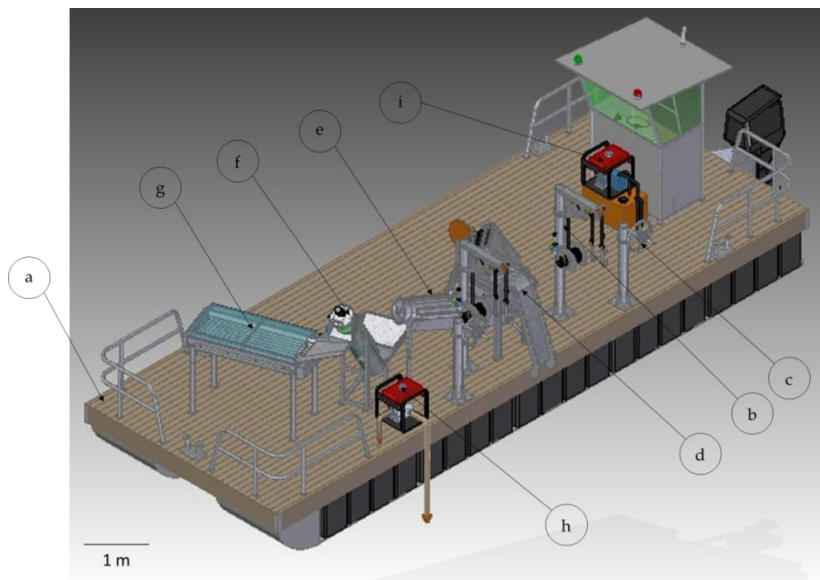


Figura 3 – Configuração do sistema mecanizado de colheita de mexilhões: a - Plataforma autoprovelida; b - subsistema de elevação de carga; c - subsistema de sustentação de espinhéis; d - extrator de mexilhões dos cabos centrais das cordas de cultivo; e - desagregadora de mexilhões; f – lavadora de mexilhões; g - classificadora de mexilhões; h - conjunto de bombeamento de água marinha; i - unidade hidráulica.

Plataforma autopropelida

A plataforma autopropelida (Figura 4) é um catamarã constituído por dois conjuntos de flutuadores de fundo chato, cada um composto de cinco blocos ocós de PEAD, unidos na parte inferior, por soldagem, a uma chapa de PEAD e na parte superior, por aparafusamento, às longarinas de madeira que compõe a base do convés. O piso do convés é formado por tábuas de madeira plainadas e na sua face inferior, presas às longarinas de sustentação, há chapas de reforço feitas de aço galvanizado a fogo que servem para a fixação dos subsistemas de elevação de carga e de sustentação de espinhéis.

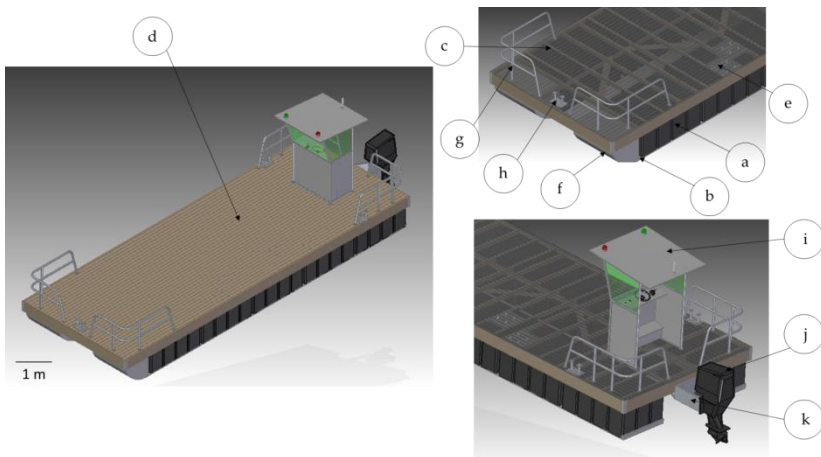


Figura 4 – Modelo gráfico da plataforma autopropelida: a - blocos de PEAD; b - chapa de PEAD; c - longarinas; d - piso do convés; e - chapas de reforço; f - proa; g - balaustrada fixa; h - cunho de amarração; i - cabine de comando; j - motor de popa; k - suporte do motor de popa.

A proa do catamarã é constituída de chapas soldadas de PEAD e apresenta a face frontal (superfície de ataque) arredondada. A fixação da proa na estrutura do casco segue o mesmo princípio da fixação dos blocos de PEAD, por soldagem na parte inferior e aparafusamento na parte superior. Sobre o convés há uma balaustrada fixa, cunhos de amarração e uma cabine de comando. A balaustrada, os cunhos de amarração e a estrutura da cabine são de aço galvanizado a fogo. O revestimento da cabine de comando é de compensado naval coberto com fibra de vidro e policarbonato. A cabine de comando abriga o comando, o sistema de direção hidráulica e a bateria de um motor de popa de

quatro tempos, a gasolina, com potência de 67.140 W (90 HP), que é fixado no espelho de popa por um suporte de aço galvanizado a fogo.

Subsistema de elevação de carga

O subsistema de elevação de carga (figura 5) é constituído de dois guinchos hidráulicos feitos de aço inoxidável. Cada guincho é formado por uma coluna que é aparafusada pela base nas chapas de reforço do convés da plataforma autopropelida. Sobre as colunas dos guinchos há cabeçotes nos quais são montadas cadeias cinemáticas compostas por três polias, por onde passam cabos de polietileno que possuem uma das suas extremidades presas a ganchos de aço e a outra presa aos carretéis tracionadores, que são acionados por válvulas direcionais de alavanca e motores hidráulicos.

Em cada cabeçote há dois olhais laterais que servem para a fixação de cabos de polietileno que também são presos a ganchos de aço. Os olhais, os cabos de polietileno e os ganchos laterais foram projetados para serem testados como um dispositivo que possa vir a substituir o subsistema de sustentação de espinhéis.

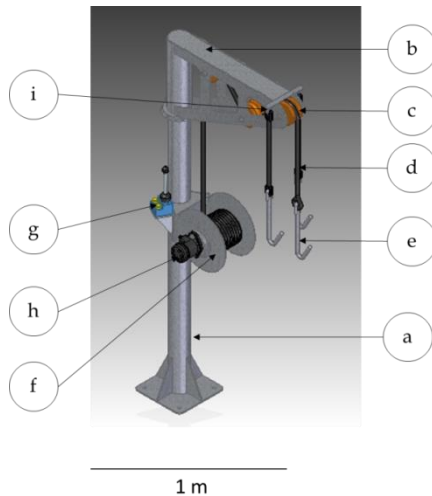


Figura 5 – Modelo gráfico dos guinchos de coluna do subsistema de elevação de carga: a – coluna; b – cabeçote; c – polia; d - cabo de polietileno; e – gancho; f - carretel tracionador; g - válvula direcional de alavanca; h - motor hidráulico; i - olhal lateral.

Subsistema de sustentação de espinhéis

O subsistema de sustentação de espinhéis (figura 6) é constituído de duas rodas estrela de aço inoxidável, montadas sobre duas colunas, também de aço inoxidável. As rodas estrela apresentam capacidade de girar livremente sobre eixos estáticos soldados perpendicularmente às colunas, devido à existência de mancais de escorregamento feitos de poliacetal. O núcleo de cada roda estrela é maciço e apresenta um rasgo em “V” em toda sua circunferência externa para acomodar e travar lateralmente o cabo mestre do espinhel onde se encontram presas às cordas de mexilhões a serem colhidas.

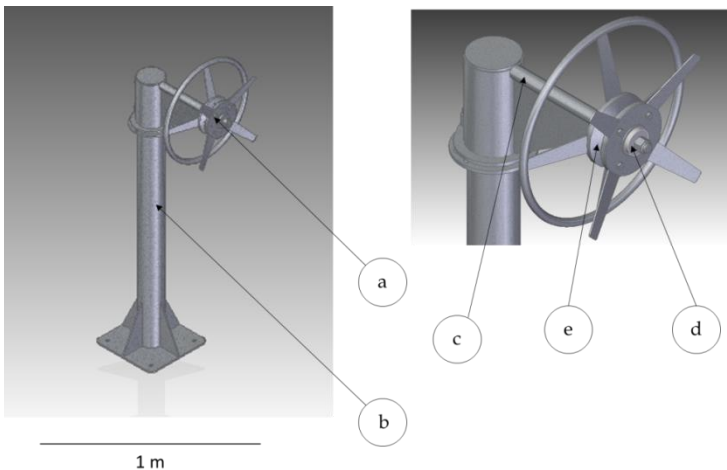


Figura 6 – Modelo gráfico do subsistema de sustentação de espinhéis: a - roda estrela; b – coluna; c - eixo estático; d - mancal de escorregamento; e – cubo da roda estrela.

Extrator de mexilhões dos cabos centrais das cordas de cultivo

O extrator de mexilhões dos cabos centrais das cordas de cultivo (figura 7) é constituído de uma rampa de acesso das cordas de mexilhões, um chassi, sobre o qual é montado um suporte que sustenta duas placas de borracha, espaçadas uma da outra a uma distância regulável. Na parte posterior das placas de borracha, montada sobre outro suporte, há uma polia tracionadora de aço que é acionada por uma válvula direcional e um motor hidráulico. O chassi, os suportes e a polia tracionadora são de aço inoxidável.

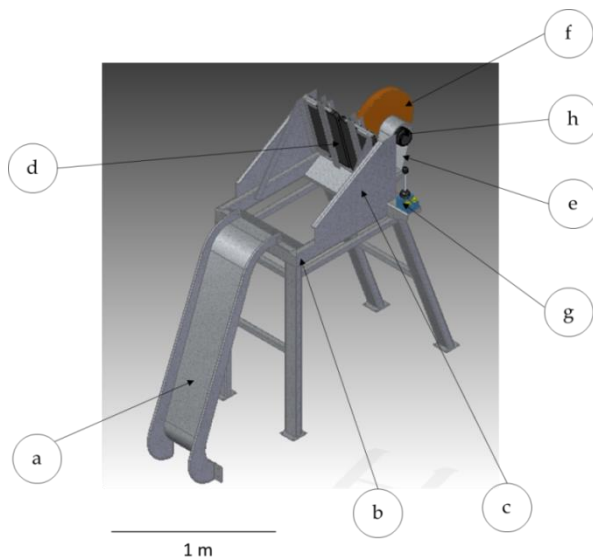


Figura 7 – Modelo gráfico do extrator de mexilhões dos cabos centrais das cordas de cultivo: a - rampa de acesso; b – chassi; c - suporte das placas de borracha; d – placas de borracha; e - suporte da polia tracionadora; f - polia tracionadora; g - válvula direcional; h - motor hidráulico.

Desagregadora de mexilhões

A desagregadora de mexilhões (figura 8) é constituída de um alimentador fixo, soldado em um corpo cilíndrico que abriga um eixo sobre o qual são aparafusadas pás de borracha dispostas em hélice, formando um parafuso de Arquimedes. Este eixo é apoiado nas extremidades por dois mancais de escorregamento feitos de poliacetal. Na base do corpo cilíndrico há uma grade articulada e um contentor direcionador de resíduos e sementes de mexilhões. Na parte superior do corpo cilíndrico e no interior do alimentador há uma tubulação que compõe o sistema de aspersão de água do mar.

Para dar sustentação à máquina foram especificados apoios que possibilitam a regulação da inclinação do corpo cilíndrico em 15, 20 e 25°. Os apoios traseiros são unidos por uma barra cilíndrica que possibilita o giro da máquina no plano perpendicular ao seu eixo longitudinal, à medida que se regula a altura dos apoios dianteiros. O acionamento da desagregadora é realizado por uma válvula direcional de alavanca e um motor hidráulico. Com exceção dos mancais de poliacetal

e das pás de borracha, todos os componentes manufacturados da desagregadora são de aço inoxidável.

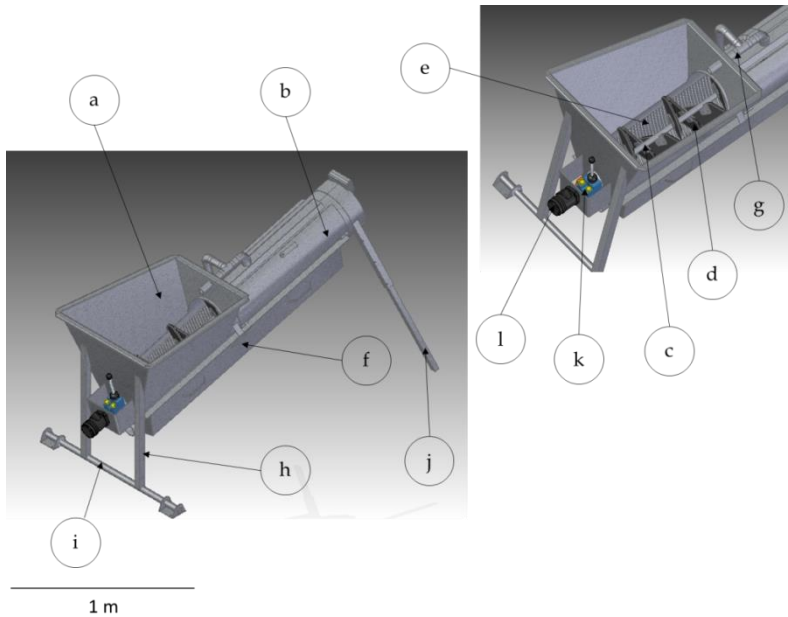


Figura 8 – Modelo gráfico da máquina desagregadora de mexilhões: a – alimentador; b - corpo cilíndrico; c - eixo helicoidal de pás de borracha; d – pás de borracha; e - grade articulada; f - contentor de resíduos; g - tubulação do sistema de aspersão de água do mar; h – apoios traseiros; i - barra cilíndrica; j - apoios dianteiros; k - válvula direcional de alavanca; l - motor hidráulico.

Lavadora de mexilhões

A lavadora de mexilhões (figura 9) apresenta características semelhantes às da máquina desagregadora. Possui um alimentador ligado a um corpo cilíndrico, sobre o qual é montada uma tubulação que permite a circulação e aspersão da água do mar no interior da lavadora. Na base do corpo cilíndrico não há nenhuma grade, sendo que a água e os resíduos de lavagem são drenados por um tubo posicionado na face da extremidade do corpo cilíndrico, localizada abaixo do alimentador.

Ao invés de um eixo de aço com pás de borracha, na lavadora utiliza-se um eixo que é uma escova helicoidal formada por cerdas e náilon. Da mesma forma como ocorre com o eixo da desagregadora, a escova helicoidal é apoiada nas extremidades sobre mancais de

poliacetal. Enquanto a inclinação da desagregadora é regulável, variando de 15° a 25°, a inclinação da lavadora é fixa em 60°.

Na extremidade superior da lavadora há uma calha que tem a função de direcionar os mexilhões lavados para fora da máquina, encaminhando-os para a classificadora. O acionamento da lavadora é realizado por uma válvula direcional de alavanca e um motor hidráulico. Com exceção dos mancais de escorregamento e da escova helicoidal, todos os demais são de aço inoxidável.

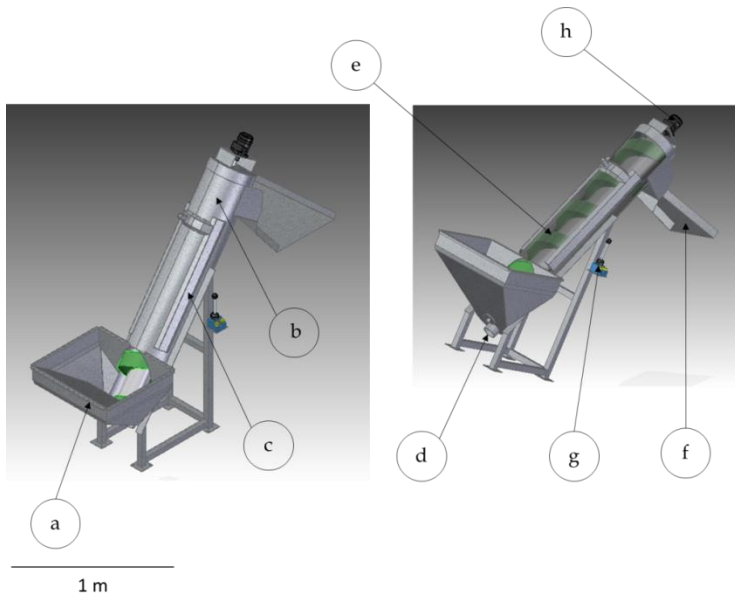


Figura 9 – Modelo gráfico da máquina lavadora de mexilhões: a – alimentador; b - corpo cilíndrico; c - tubulação de aspersão da água do mar; d – tubo de drenagem dos resíduos de limpeza; e - escova helicoidal; f - calha direcionadora; g - válvula direcional de alavanca; h - motor hidráulico.

Classificadora de mexilhões

A classificadora de mexilhões (figura 10) é constituída de um chassi sobre o qual são montados nove eixos escalonados feitos de tubos, que apresentam uma hélice de passo fixo, feita a partir de uma barra cilíndrica, soldada em seu perímetro externo. Os eixos escalonados helicoidais são apoiados nas duas extremidades por mancais de rolamento. Todos os eixos giram no mesmo sentido e a transmissão de

movimento entre eles se dá por meio de um cabeçote que possui uma cadeia cinemática formada por polias sincronizadoras de alumínio e uma correia sincronizadora de borracha. Abaixo dos eixos escalonados helicoidais há uma calha que apresenta quatro compartimentos que direcionam os mexilhões para diferentes contentores de acordo com seu tamanho. O acionamento da lavadora é realizado por uma válvula direcional de alavanca e um motor hidráulico. Todos os componentes manufaturados da lavadora também são de aço inoxidável.

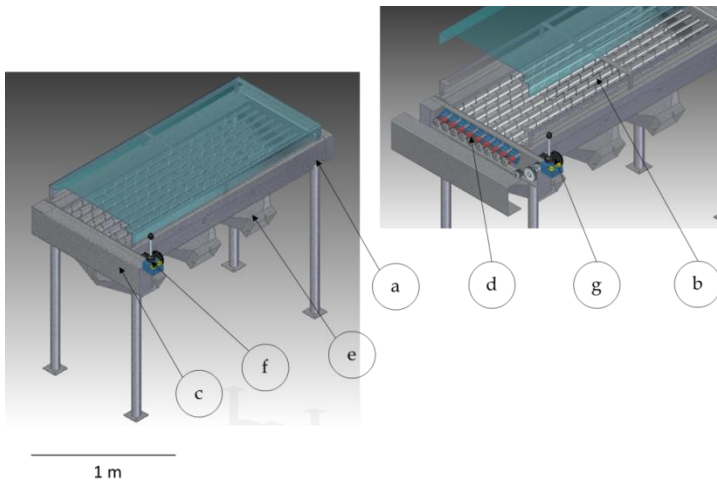


Figura 10 – Modelo gráfico da máquina classificadora de mexilhões: a – chassi; b – eixos escalonados helicoidais; c – cabeçote; d - cadeia cinemática de correia e polias sincronizadoras; e – calha compartimentada; f - válvula direcional de alavanca; g - motor hidráulico.

Conjunto de bombeamento de água marinha

O conjunto de bombeamento de água marinha é constituído de uma bomba d'água, uma tubulação de sucção e uma tubulação de recalque. A bomba d'água é acionada por um motor de combustão interna movido a diesel, com partida elétrica, 4,849 W (6,5 HP) de potência e vazão de $0,01 \text{ m}^3/\text{s}$. A tubulação de sucção é constituída de um tubo de PVC, um joelho de 90° de PVC e uma válvula de pé e crivo de PVC. A tubulação de recalque é constituída de um tubo de PVC, um joelho de 90° de PVC, um conector T de PVC e dois registros de esfera de PVC, dos quais derivam as mangueiras flexíveis que farão o abastecimento da desagregadora e da lavadora de mexilhões.

Unidade hidráulica

A unidade hidráulica é constituída de um reservatório de óleo hidráulico, uma bomba hidráulica, acionada por um motor de combustão interna movido a diesel, com 9.698 W (13 HP) de potência, mangueiras hidráulicas de borracha e três comandos hidráulicos remotos (conjuntos de válvulas de acionamento) que direcionam o fluxo de óleo para os motores hidráulicos das máquinas e equipamentos (figura 11). Os comandos simples acionam os motores hidráulicos dos guinchos hidráulicos e o comando múltiplo aciona, de forma independente, os motores dos outros produtos.

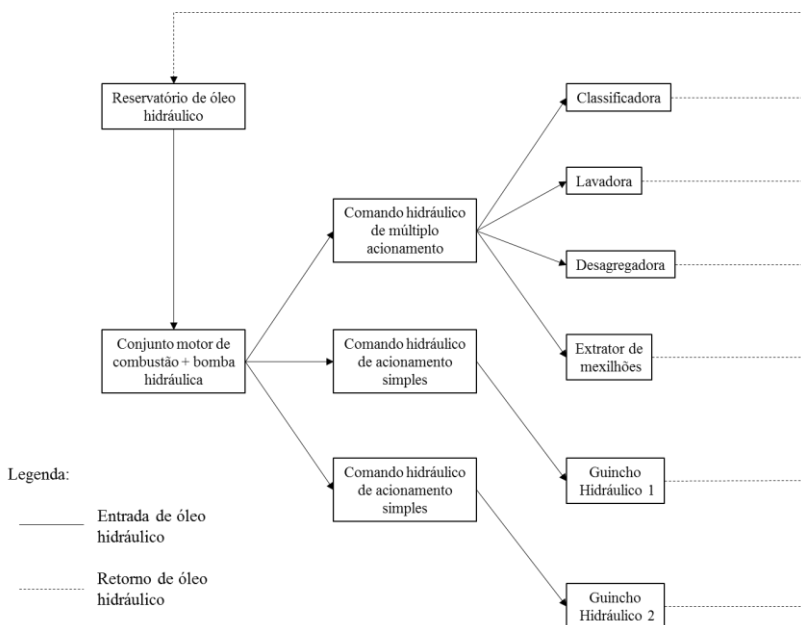


Figura 11 – Esquema da unidade hidráulica do sistema de colheita de mexilhões.

O sistema mecanizado de colheita foi concebido para atuar da seguinte forma: a plataforma autopropelida é deslocada até a praia, no ponto mais próximo da unidade de apoio em terra da fazenda marinha e lá são embarcados os trabalhadores e os insumos a serem utilizados na colheita. Após o embarque, a plataforma é deslocada até a área aquícola e posicionada paralelamente à boreste do espinhel onde se encontram as cordas de mexilhões a serem colhidas.

Com o motor de popa ligado em posição neutra (ponto morto), engata-se o gancho de um dos guinchos do subsistema de elevação de carga na linha mestre do espinhel com o objetivo de retê-la. Com o acionamento do carretel do guincho, suspende-se a linha mestre do espinhel até a altura de 1,5 m acima do nível do convés e efetua-se o mesmo procedimento com o outro guincho. Desse modo, a embarcação mantém-se atracada por dois guinchos no espinhel, que se encontra suspenso a uma altura que permite que seu cabo mestre seja acomodado sobre o subsistema de sustentação de espinhéis.

A partir de então, desliga-se o motor de popa da embarcação e realiza-se a soltura da amarração da extremidade mais próxima da corda contínua de mexilhões, prendendo-a na polia tracionadora do extrator de mexilhões. Em seguida, aciona-se a polia e a corda de mexilhões passa a ser tracionada de encontro às placas de borracha do extrator de mexilhões. O cabo central da corda de mexilhão passa pelo vão existente entre as placas de borracha enquanto os mexilhões ficam retidos nas mesmas, sendo removidos em blocos e encaminhados, por gravidade, ao alimentador da desagregadora.

Entrando na desagregadora, os blocos de mexilhões colidem nas pás de borracha do eixo helicoidal em movimento, sendo dissociados e transportados longitudinalmente, sob a ação de jatos contínuos de água marinha, até a saída da máquina, sendo encaminhados até o alimentador da lavadora. Ao adentrarem na lavadora, os mexilhões, agora individualizados, atiram entre si e com as cerdas da escova helicoidal em movimento, sendo escovados e transportados longitudinalmente, sob a ação de jatos contínuos de água marinha, até atingirem a calha de saída da máquina e serem direcionados, por gravidade, até a entrada da classificadora.

Na classificadora, os mexilhões são posicionados de lado entre os eixos escalonados e passam a ser deslocados longitudinalmente, graças à ação das hélices dos eixos em movimento. À medida que a largura dos vãos entre os eixos escalonados torna-se superior à largura dos mexilhões (dimensão medida quando os animais estão posicionados de lado), eles são deslocados por gravidade até a calha da classificadora, e direcionados para diferentes compartimentos, de acordo com suas dimensões e acondicionados em diferentes contentores. A classificadora permite a separação dos mexilhões nas seguintes classes: animais com comprimento entre 26 e 50 mm, entre 51 e 75 mm, entre 76 e 100 mm e animais com comprimento superior a 100 mm ou agregados uns aos outros. Mexilhões com comprimento inferior a 26 mm são separados

pela grade articulada da desagregadora e direcionados para o contentor de resíduos.

À medida que a corda de mexilhões vai sendo colhida, executa-se o deslocamento da plataforma paralelamente ao eixo longitudinal do espínhel, até a conclusão da colheita. O deslocamento da plataforma no espínhel pode ser realizado com ou sem o auxílio do motor do popa. Concluída a retirada das cordas de cultivo do mar, a desagregação, a limpeza, a classificação e o acondicionamento dos mexilhões, procede-se a desatracação da plataforma do espínhel e o seu deslocamento até a praia, para o descarregamento dos animais colhidos.

Na figura 12 são apresentadas imagens de protótipos do sistema mecanizado de colheita de mexilhões. Tomando as despesas realizadas na manufatura dos protótipos como referência, foi possível estimar o custo global do sistema e dos seus componentes. Essas informações são apresentadas na tabela 4 e correspondem a valores comerciais de materiais e serviços praticados na região centro norte do estado de Santa Catarina.

Tabela 4 – Composição dos custos de fabricação dos protótipos.

Protótipo	Custo de serviços de manufatura (R\$)	Custo de materiais (R\$)	Custo Total (R\$)
Plataforma autopropelida	35.000,00	58.494,00	93.494,00
Subsistema de elevação de carga	4.525,64	12.799,54	17.325,18
Subsistema de sustentação. de espínhéis	2.418,7	2.938,44	5.357,14
Extrator de mexilhões	3.512,00	6.780,00	10.292,00
Desagregadora de mexilhões	6.467,02	15.842,30	22.309,32
Lavadora de mexilhões	5.447,00	13.343,00	18.790,00
Classificadora de mexilhões	4.710,00	9.490,00	14.200,00
Conjunto de bombeamento	-	2.950,00	2.950,00
Unidade hidráulica	6.480,00	15.020,00	21.500,00
Total	68.560,36	137.657,28	206.217,64



Figura 12 – Protótipos do sistema mecanizado de colheita de mexilhões: a - Plataforma autopropelida; b - subsistema de elevação de carga; c - subsistema de sustentação de espinhéis; d - extrator de mexilhões dos cabos centrais das cordas de cultivo (em fase de montagem); e - desagregadora de mexilhões; f - lavadora de mexilhões; g - classificadora de mexilhões.

Na tabela 5, são apresentados resultados do projeto do sistema macanizado de colheita de mexilhões relacionados a aspectos funcionais, construtivos e de custo de prototipagem. Informações relacionadas aos desempenhos operacional e ergonômico não são apresentadas por ainda não terem sido realizados ensaios em campo com os protótipos.

Tabela 5 – Análise do atendimento das especificações técnicas do projeto do sistema de colheita de mexilhões.

Requisito	Meta	Resultados alcançados
Utilizar materiais não corrosivos	100% dos materiais resistentes à corrosão	100% materiais resistentes à corrosão
Dimensões do sistema ($V = L \times C \times H$)	PA $\leq 35 \text{ m}^3$ DE $\leq 2 \text{ m}^3$	PA=35,3 m^3 ; SEC=0,6 m^3 ; SSE=0,52 m^3 ; EMC=0,3 m^3 ; DES=2,02 m^3 ; LAV=2,22 m^3 ; CLA=1,99 m^3 ; CB=0,18 m^3 ; UH=0,5 m^3 .
Massa do sistema	PA $\leq 2000 \text{ kg}$ DE $\leq 130 \text{ kg}$	PA=2.500 kg; SEC=201,4 kg; SSE=82 kg; EMC=137 kg; DES=156 kg; LAV=138,5 kg; CLA=150 kg; CB=54 kg; UH=150 kg.
Interface simples com o usuário	Utilizar apenas um acionamento por equipamento	PA=1; SEC=2; SSE=0; EMC=1; DES=1; LAV=1; CLA=1; CB=1; UH=1
Custo de fabricação ou aquisição	PA $\leq \text{R\$ } 60.000,00$ DE $\leq \text{R\$ } 15.000,00$	Valores apresentados na tabela 1
Baixo consumo de potência	PA $\leq 111.900 \text{ W (150 HP)}$ UH $\leq 11.190 \text{ W (15 HP)}$ CB $\leq 11.190 \text{ W (15 HP)}$	PA = 67.112,9 W (90 HP) UH = 9.694,1 W (13 HP) CB = 4.847 W (6,5 HP)
Realizar as operações de colheita de forma integrada, no mar	Realizar retirada do mar, desagregação, limpeza e classificação dos mexilhões	O sistema foi concebido para realizar todas as operações do processo de colheita nas áreas aquícolas
Permitir carga e descarga nas praias		A configuração da plataforma possibilita a realização de carga e descarga nas praias

PA – plataforma autopropelida; SEC – subsistema de elevação de carga; SSE – subsistema de sustentação de espinhéis; EMC – extrator de mexilhões dos cabos centrais das cordas de cultivo; DES – desagregadora; LAV – lavadora; CLA – classificadora; CB – conjunto de bombeamento de água marinha; UH – unidade hidráulica; DE – demais equipamentos.

DISCUSSÃO

O reprojeto de soluções existentes

No processo de projeto, princípios de solução adotados em diferentes aplicações foram reconfigurados e redimensionados, dando origem a formas variantes de produtos. A plataforma autopropelida, por exemplo, combina características de embarcações utilizadas na produção de moluscos marinhos na França (MULOT, 199?), Austrália (SPRING, 2015), Chile (OCEAN, 200?), Estados Unidos (MUSSEL,

2013) e Escócia (XPLORA, 2007), com características de balsas de manejo não motorizadas, utilizados no Chile (OCEAN, 200?). A semelhança entre a plataforma autopropelida e as embarcações supramencionadas reside basicamente na adoção de cascos de fundo chato, que proporcionam maior capacidade de carga e possibilitam a atracação em locais rasos, o que não ocorre quando se utilizam cascos com formato de “V”. A atracação em praias é uma necessidade porque nas zonas produtoras de mexilhões em Santa Catarina não se dispõe de trapiches para carga e descarga de produtos. A semelhança da plataforma propelida em relação às balsas de manejo se concentra basicamente na utilização de diferentes tipos de materiais na composição dos corpos flutuantes e do convés.

A adoção de embarcações estrangeiras utilizadas na produção de moluscos, cujos cascos são construídos em aço ou alumínio naval, apresenta duas limitações importantes: o alto custo de aquisição e a dificuldade de realizar reparos em estaleiros próximos às zonas produtoras de mexilhões. Os estaleiros especializados na fabricação de embarcações de pescadores artesanais e maricultores existentes no Estado ainda atuam, predominantemente, na produção de cascos de madeira ou fibra de vidro. A utilização das balsas de manejo não motorizadas, como as utilizadas no exterior, gera a necessidade de se dispor de embarcações adicionais para rebocá-las e manobrá-las em áreas aquícolas com limitação de espaço entre os espinhéis, dificultando e encarecendo a realização da colheita mecanizada.

O subsistema de elevação de carga combina princípios de solução das torres hidráulicas empregadas nas embarcações utilizadas na colheita de mexilhões na Nova Zelândia e Reino Unido (BONARDELLI, 2012; QUALITY, 2013), de guinchos de coluna utilizados na construção civil (TIMMAQ, 200?) e guinchos manuais (FAREX, 2015) utilizados em embarcações pesqueiras de pequeno porte no Brasil e também na construção civil. As torres hidráulicas dos navios neozelandeses são estruturas grandes, com mais de três metros de altura, dotadas de carretéis movidos por motores hidráulicos que são utilizados no içamento de espinhéis e cilindros hidráulicos que permitem a aproximação e afastamento dos espinhéis em relação ao bordo das embarcações.

Os guinchos de coluna da construção civil são de pequeno porte, medindo menos de dois metros de altura e são fixados sobre tripés, paredes ou colunas de alvenaria. Nestes guinchos, o levantamento de cargas se dá através de um carretel ligado a um motor elétrico, alimentado por corrente alternada. Os guinchos manuais são fixados em

estruturas de aço ou madeira, de porte semelhante ao dos guinchos de coluna, geralmente acionados manualmente através de catracas, polias ou engrenagens que auxiliam no levantamento de cargas. O subsistema de elevação de carga apresenta forma e dimensões semelhantes às dos guinchos de coluna e manuais utilizados no Brasil, empregando os carretéis hidráulicos e os ganchos de içamento das torres hidráulicas neozelandesas.

O subsistema de sustentação de espinhéis é uma adaptação das rodas estrela que costumam ser fixadas em embarcações estrangeiras (FUKUI, 1999; HARMAG, 200?; ANSCO, 2011; ACEROS, 2014). No reprojeto, foram alteradas suas dimensões, adaptado um anel em seu perímetro externo, com o objetivo de facilitar o deslocamento da embarcação no espinhel durante a colheita dos mexilhões e adicionada uma coluna que permite que a roda estrela fique posicionada em uma altura ergonomicamente adequada para os trabalhadores atuarem.

O extrator de mexilhões dos cabos centrais das cordas de cultivo adota o mesmo princípio de solução utilizado em máquinas de colheita de mexilhões produzidos em sistema contínuo na Nova Zelândia, Austrália Estados Unidos e Reino Unido (HARMAG, 200?; COSECHA, 2011; CULTIVO, 2011; HARVESTING, 2012; QUALITY, 2013; ACEROS, 2014). O que se buscou no reprojeto, foi redimensionar os extratores estrangeiros, deixando sua estrutura mais compacta e leve, barateando sua fabricação sem prejudicar sua robustez. No projeto, a montagem das placas extratoras, da polia tracionadora, do motor hidráulico e do acionamento é realizada em um chassi independente. Em outros países, o extrator é um componente de uma máquina de colheita que realiza outras funções, tais como: desagregar, lavar e pré-classificar mexilhões. Embora alguns modelos destas colhedoras apresentem boa funcionalidade, com capacidades de produção operacional de até 12 kg.s^{-1} (HARMAG, 200?), são máquinas de grande porte, pesadas, apresentando alto custo de aquisição, alto consumo de potência e necessidade de bastante espaço no convés das embarcações para acondicioná-las.

O projeto da desagregadora de mexilhões consiste em uma adaptação dos modelos de desagregadoras utilizadas na França (MULOT, 199?) e na região da Galícia, na Espanha (TALLER, 199?; TALLERES, 199?; TALLERES, 200?) Durante o reprojeto se buscou redimensionar a estrutura destes modelos com o intuito de baratear sua fabricação e inserir elementos construtivos inexistentes nas versões estrangeiras, como uma porta lateral de inspeção e manutenção, pás de borracha entremeadas com malhas de lona para assegurar maior

resistência ao desgaste por abrasão e redimensionamento do circuito de jateamento de água marinha no interior da máquina.

O projeto da lavadora de mexilhões foi inspirado na combinação de princípios de solução utilizados em transportadores helicoidais, empregados na movimentação de diversos tipos de materiais em indústrias de mineração e de transformação; em um módulo de escovas utilizado em um modelo de desagregadora produzido na Galícia (TALLERES, 199?) e no eixo transportador de uma classificadora de mexilhões produzida na Holanda (WBAKKER, 2015).

O projeto da classificadora de mexilhões foi embasado em modelos de classificadoras de mexilhões utilizadas na Nova Zelândia, Austrália, França, Espanha, Holanda e Chile (MULOT, 199?; TALLER, 200?; ANSCO, 2011; CULTIVO, 2011; KRAMER, 2012; ACEROS, 2014; SPRING, 2015; GAICTECH, 2015) e em uma classificadora de peixes fabricada no Brasil (CLASSIFICADOR, 201?). O diferencial da máquina projetada em relação às classificadoras estrangeiras está nas suas dimensões, que foram adequadas ao padrão morfológico da espécie *Perna perna*, na constituição dos eixos escalonados helicoidais e na constituição do cabeçote responsável pela transmissão de movimento entre esses eixos. Nas classificadoras estrangeiras são utilizados eixos helicoidais maciços de aço inoxidável, cilíndricos, cônicos ou escalonados. Na versão reprojeta optou-se por especificar eixos ocos, feitos a partir de tubos de aço. Com essa medida, reduziu-se o peso de cada eixo de 17 para 4,5 kg, o que implicou em uma redução de 112 kg (de aço inoxidável) no peso total da máquina.

O cabeçote de transmissão de movimento da versão reprojeta apresenta uma configuração inovadora. Em substituição a cadeias cinemáticas compostas de engrenagens de aço ou bronze ou de engrenagens e correntes de aço, foram especificadas polias sincronizadoras de alumínio e correias sincronizadoras de borracha, comumente utilizadas em motores e automóveis. A adoção desta medida objetivou reduzir substancialmente os ruídos gerados pelos eixos em movimento, eliminar a necessidade de lubrificação de componentes com óleos e graxas potencialmente poluidores, reduzir o custo de manutenção da máquina e ampliar a vida útil dos componentes do cabeçote.

Em relação ao projeto do conjunto de bombeamento de água marinha, o trabalho consistiu em definir e dimensionar seus componentes, pois todos os itens a serem utilizados encontram-se disponíveis no mercado. O mesmo ocorreu no projeto da unidade hidráulica, onde os únicos componentes manufaturados foram o

reservatório de óleo hidráulico, o suporte do motor de combustão interna e o adaptador que conecta a bomba hidráulica ao motor de combustão que aciona a unidade.

Atendimento das especificações de projeto

Comparando os resultados obtidos no projeto e na prototipagem do sistema mecanizado decolheita com as especificações de projeto definidas na fase de projeto informacional, é possível verificar que os valores meta de massa total do sistema e custo de fabricação foram extrapolados. A massa total do sistema excedeu em 32% o valor meta e o custo total excedeu 22%.

A massa mais elevada do que o valor especificado não apresenta implicações práticas tão importantes, tendo em vista que a plataforma autopropelida suporta essa variação com segurança, sem influenciar, de forma negativa, a funcionalidade do sistema. Entretanto, a extrapolação do custo meta de fabricação implicou em um encarecimento na ordem de R\$ 26.000,00 no custo total de fabricação dos protótipos. Este encarecimento foi influenciado pela variação da cotação do dólar durante o processo de prototipagem, já que o aço inoxidável, os polímeros plásticos, os componentes hidráulicos e os motores de combustão têm seus preços cotados com base nessa moeda.

Apesar de exceder o valor meta de custo das especificações de projeto e o teto de linhas de crédito de investimento com juros subsidiados disponíveis no Brasil, como o Pronaf Mais Alimentos, fixado em R\$ 150.000,00 (MDA, 2015), o custo de manufatura do sistema de colheita ainda é economicamente interessante, quando comparado ao custo de importação de produtos similares, que envolve despesas com frete, conversão cambial, imposto de importação, ICMS, PIS, COFINS e contratação de empresas especializadas em importação.

Para se ter noção de preços de produtos estrangeiros, uma máquina desagregadora de mexilhões com características semelhantes às do modelo desenvolvido neste projeto custa € 18.000,00 na Espanha (TALLERES, 200?) e R\$ 110.250,00 para um produtor catarinense importá-la (cotação de importação feita na empresa Marine Equipment). Uma embarcação feita de alumínio naval, com menor capacidade de carga e 5 m² a menos de área de convés, dotada de uma desagregadora e uma grua hidráulica com capacidade de içamento de uma tonelada custa € 160.000,00 na França (MULOT, 199?) e R\$ 1.040.977,00 para importá-la (cotação de importação feita na empresa Marine Equipment).

Ao se analisar o custo total de manufatura do sistema mecanizado de colheita desenvolvido nesse trabalho, alguns fatores devem ser considerados: a) o sistema foi projetado para realizar todas as operações de colheita realizadas em uma unidade de produção de mexilhões. De acordo com a estratégia de colheita adotada pelos produtores, nem todas as máquinas e equipamentos precisarão ser adquiridos; b) dependendo dos resultados dos ensaios em campo a serem realizados com os protótipos, novas configurações de máquinas e equipamentos poderão ser definidas, simplificando o sistema e tornando-o mais acessível; c) O sistema foi desenvolvido para ser utilizado por grupos de produtores e essa é uma solução viável sob os pontos de vista técnico e econômico, mas pode esbarrar em uma característica cultural bastante marcante dos produtores locais, que é o individualismo.

O custo de aquisição do sistema de colheita sempre foi uma necessidade manifestada pelos produtores de mexilhões durante as entrevistas realizadas na fase de projeto informacional. Com base nessa necessidade, o desafio imposto ao desenvolvimento do projeto nunca esteve restrito à geração de soluções, mas sim, em conceber soluções que pudessem ser adquiridas pelos produtores que realizam suas atividades em regime de economia familiar, os quais são responsáveis por 98% das unidades de produção instaladas em Santa Catarina.

Desafios encontrados no projeto e na prototipagem do sistema de colheita

Embora no início do processo de projeto se tivesse uma ideia da configuração global do sistema mecanizado de colheita de mexilhões, não foi possível projetar seus componentes simultaneamente. Os processos de projeto e a prototipagem sempre estiveram atrelados a um cronograma de execução exíguo, não havendo tempo para projetar todos os protótipos e somente após a conclusão de todos os projetos, iniciar o processo de manufatura. Diante dessa circunstância, se optou por projetar e fabricar os protótipos em sequência. À medida que um projeto era concluído, era iniciada sua manufatura e o projeto da máquina ou equipamento subsequente. Em princípio, essa decisão não acarretou prejuízos ao projeto e à prototipagem do sistema, mas gerou dificuldade, principalmente em função das restrições dimensionais que acabavam sendo geradas nas interfaces existentes entre os protótipos.

Um fator que atenuou essa dificuldade foi a utilização de uma abordagem sistemática de projeto de produto. A metodologia adaptada de PAHL e BEITZ (1996) possibilitou a divisão do problema de projeto

em partes, estabelecendo uma sequência lógica de procedimentos que auxiliou a organização de ideias e a geração de soluções.

Os princípios de projeto para manufatura e montagem sugeridos por BAKERJLAN (1992); BOOTHROYD *et al.*, (1994); PAHL e BEITZ (1996) e ULLMAN (1997), também auxiliaram substancialmente a definição de geometrias, materiais e processo de fabricação dos componentes do sistema de colheita. Graças às recomendações desses autores, se optou, na medida do possível, por: a) reduzir a quantidade de operações de manufatura e montagem a serem utilizadas na prototipagem; b) adotar processos de fabricação que pudessem ser realizados em metalúrgicas locais; c) padronizar bitolas de materiais de fabricação e de componentes e d) especificar componentes padronizados e normalizados, de baixo custo de aquisição e disponíveis no mercado local.

Essas medidas contribuem para que os próprios maricultores possam realizar a maior parte das operações de manutenção do sistema de colheita, sem grandes dificuldades e investimentos, o que tende a baratear seus custos operacionais.

CONCLUSÃO

O desenvolvimento da presente pesquisa culminou com a disponibilização do projeto e do protótipo de um sistema mecanizado de colheita de mexilhões composto por uma plataforma autopropelida, um subsistema de elevação de carga, um subsistema de sustentação de espinhéis, uma desagregadora de mexilhões, uma lavadora de mexilhões, uma classificadora de mexilhões, um conjunto de bombeamento de água marinha e uma unidade hidráulica.

O sistema foi projetado para permitir a realização de todas as operações do processo de colheita de forma integrada, diretamente nas áreas aquícolas das unidades de produção de mexilhões, permitindo que os animais sejam encaminhados desagregados, limpos, classificados e acondicionados em contentores para o processamento pós-colheita. Sua concepção é uma tentativa de contribuir com a melhoria do desempenho operacional e da ergonomia na realização das operações produtivas da etapa de colheita da produção. Entretanto, para mensurar o efeito da utilização desse sistema na realização dessas operações, é necessário realizar ensaios em campo com o protótipo desenvolvido, o que será feito na sequência desse trabalho.

AGRADECIMENTOS

À FAPESC - Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina, por financiar a execução deste trabalho.

REFERÊNCIAS

ACEROS Tecsur. Maquinaria para cosecha y siembra de mejillón. Puerto Montt, Chile. 2014. Disponível em: <<http://www.acerostecsur.cl/productos/linea-mejillon/maquinaria-de-cultivo>>. Acesso em: 15 mai. 2015.

ANSCO. Mussel farming equipment. Nelson, New Zealand. 2011. Disponível em: <<http://www.ansco.co.nz/product.html?sid=33>>. Acesso em: 15 mai. 2015.

AUGUSTINE, M.; YADAV, O.P.; JAIN, R.; RATHORE, A.P.S. 2010 Concept convergence process: a framework for improving product concepts. *Computer & Industrial Engineering*, 59: 367-377.

BACK, N. 1983 *Metodologia de Projeto de Produtos Industriais*. Rio de Janeiro: Ed. Guanabara Dois, 387p.

BAKERJLAN, R. 1992 *Tool Manufacturing Engineers Handbook*. 4th ed. Society of Manufacturing Engineers, Vol. 6.

BOOTHROYD, G.; DEWURST, P.; KNIGHT, W. 1994 *Product Design for Manufacture and Assembly*. New York: Marcel Dekker Inc. 540 p.

BONARDELLI, J. Choosing effective technologies for offshore mussel culture: overview of change in equipment for harsh conditions. Aland. 2012. Disponível em: <http://www.submariner-project.eu/index.php?option=com_jdownloads&Itemid=0&view=finish&catid=66&cid=252>. Acesso em: 15 mai. 2015.

BORGES, F.M.; RODRIGUES, C.L.P. 2010 Pontos passíveis de melhorias no método de projeto de produto de Pahl e Beitz. *Gestão da produção*, 17(2): 271-281.

BOUCHOT mussel processing. WBAKKER. Yerseke, Netherlands. 2011. On line (4:05 min.), son., color. Disponível em:

<<https://www.youtube.com/watch?v=8qGvG7mC48k>>. Acesso em: 15 mai. 2015.

CHESA Peake Bay Oyster Company. Quicktube sorter. Virginia, USA. 2009. Disponível em: <<http://chesbayoysterco.blogspot.com.br/2009/03/quicktube-sorter.html>>. Acesso em: 15 mai. 2015.

CLASSIFICADOR de Peixes. Torno e Solda Nucci. [S. l.]. [201?]. On line (2:38 min.), son., color. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=gh10qBZmRhs>>. Acesso em: 15 mai. 2015.

COSECHA de mejillón. Aceros Tecsur. Puerto Montt, Chile. 2011. On line (3:43 min.), son., color. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=ynq8t-dCcY4>>. 15 mai. 2015.

CULTIVO de mexilhão mecanizado em sistema contínuo. Marine Equipment. [S. l.], 2011. On line (9:01 min.), son., color. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=PUMXm5pu6Tk>>. Acesso em: 15 mai. 2015.

CUSTOM oyster sorter. Shellfish farmer. Custom Oyster Sorter. [S. l.], 2014. On line (1:31 min.), son., color. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=YnZA7TZip9g>>. Acesso em: 15 mai. 2015.

DAMEN. Mussel dredger 2610. Gorinchem, Netherlands. 2015. Disponível em: <<http://products.damen.com/en/ranges/mussel-dredger/mussel-dredger-2610>>. Acesso em: 15 mai. 2015.

DUTRA, A.R.A.; GARCIA, M.A.; ROSSATO, I.F.; BARROS FILHO, J.R. 2011 A contribuição da ergonomia para a mecanização da produção catarinense de ostras. In: XXXI ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, Belo Horizonte, 4-7/out./2011. *Anais eletrônicos...* <http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2011_TN_STO_138_878_19175.pdf>.

FAREX. Guincho de arrasto manual. Boituva, São Paulo. 2015. Disponível em: <<http://farex.com.br/equipamentos/guinchos/guinchos-de-arraste-manual/>>. Acesso em: 15 mai. 2015.

FERREIRA, M. G. G. 1997 *Utilização de modelos para a representação de produtos no projeto conceitual*. Santa Catarina, Brasil. Florianópolis 128 f. (Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Mecânica - CTC/EMC, Universidade Federal de Santa Catarina). Disponível em: <<http://tede.ufsc.br/teses/PEMC0437-D.pdf>> Acesso em: 12 jan. 2015.

FRANKEN. Shellfish processing. Borssele, Netherlands 2010. Disponível em: <<http://www.frankenmachines.com/tmp/eng/shellfish-processing/harvesting-systems.html>>. Acesso em: 15 mai. 2015.

FUKUI North America. Mussels. 1999. Disponível em: <<http://www.fukuina.com/shellfish/mussels.htm>>. Acesso em: 15 mai. 2015.

GAICTECH. Desgranadora de mejillón y trómeles de lavado. Pontevedra, España. 2015. Disponível em: <<http://www.gaitech.com/es/lineas-para-mejillones-y-otros-moluscos/desgranadora-y-tromeles-de-lavado.html>>. Acesso em: 15 mai. 2015.

GUERRA Industrias. Grúas: división marina. Pontevedra, España. 2015. Disponível em: <<http://www.iguerra.com/series/desplegar/2/division-marina.html>>. Acesso em: 15 mai. 2015.

HARMAG Marine & General. Mussel Products. Nelson, New Zealand. [200?]. Disponível em: <<http://www.marineandgeneral.co.nz/harmag.html>>. Acesso em: 15 mai. 2015.

HARVESTING with jivco. Submariculture. California, USA. 2011. On line (5:28 min.), son., color. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=mm3LAft5cRw>>. Acesso em: 15 mai. 2015.

HARVESTING mussels winter: Farming mussels off the coast of Santa Barbara. Submaricultue. Santa Barbara, USA. 2012. On line (5:41 in.), son., color. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=2-QhqDr-OuU>>. Acesso em: 15 mai. 2015.

KARNITZ J.R.; O'BRIEN, S.; HUTCHINSON, J.P. 2009 Engineering design: an introduction. New Jersey: Delmar. 672 p.

KRAMER mussel processing equipment. Kramer Machines. Netherlands. 2012. On line (8:41 min.), son., color. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=UOIdbBLGTlk>>. Acesso em: 15 mai. 2015.

LA RÉCOLTE des moules de bouchot (France 3 Bretagne). France. 2012. On line (1:51 min.), son., color. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=aBMn-L6ALTA>>. Acesso em: 15 mai. 2015.

LEGEND Boatbuilders Offshore service vessels: mussel farming. Western Australia. 2015. Disponível em: <<http://www.legendboatbuilders.com/d26-74/mussel-farming/>>. Acesso em: 15 mai. 2015.

LI, Z.S.; KOU, F.H.; CHENG, X.C.; WANG, T. 2006 Model-based product redesign. International Journal of Computer Science and Network Security, 6(1): 99-102.

LIZOTTE automated mussel sorter. Lizotte MV. Canada. 2012. On line (0:36 min.), son., color. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=yxDSfIkuzMU>>. Acesso em: 15 mai. 2015.

MARCO Global. Pot Haulers for Black Cod (Sablefish), Crab and Cod Commercial Fisheries. Seattle, USA. 2015. Disponível em: <<http://www.marcoglobal.com/potfishing.html>>. Acesso em: 15 mai. 2015.

MARENZI, A.W.C; MARQUES, H.L.A.; OLIVEIRA NETO, F.M. 2008 Cultivo do mexilhão *Perna perna*. In: RESGALLA JR, C.; WEBER, L.I.; CONCEIÇÃO, M.B. *O Mexilhão Perna perna (L.):* biologia, ecologia e aplicações. Rio de Janeiro: Interciência. p.170-182.

MDA – Ministério do Desenvolvimento Agrário 2015 Plano Safra para Agricultura Familiar 2014/2015. 48p. Disponível em: <http://www.mda.gov.br/portalmda/sites/default/files/user_arquivos_278/cartilha_0.pdf> Acesso em: 15 mai. 2015.

MENDES, L.; BACK, N.; OLIVEIRA, G.H.C. 2009. Designing automated test systems: an adapted methodology inspired on Pahl and

Beitz systematic approach. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 25: 945-950.

MERINO, G.S.A.D.; PEREIRA, D.; MERINO, E.A.D.; VIEIRA, M.L.H. 2009 Design applied to Family agriculture and aquaculture based on social innovation. In: PROCEEDINGS OF THE FIRST INTERNATIONAL CONFERENCE ON INTEGRATION OF DESIGN, ENGINEERING AND MANAGEMENT FOR INNOVATION – IDEMI09, Porto, 14-15/set./2009. *Anais eletrônicos...* <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/1842/socialinnovation_idemi09.pdf?sequence=1> Acesso em: 22 nov. 2014.

MT declumper ontrosser. Murre Techniek B.V. Netherlands. 2013. On line (0:24 min.), son., color. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=sOgsdfCfs1Y>>. Acesso em: 15 mai. 2015.

MULOT. Produit neufs. La Tremblade, France. [199?]. Disponível em: <www.mulot.fr>. Acesso em: 15 mai. 2015.

MUSSEL catamaran vessel. Catalina Sea Ranch. Long Beach, USA. 2013. On line (0:46 min.), son., color. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=5kE2aEu6M10>>. Acesso em: 15 mai. 2015.

MUSSEL Processing. Americanmussellharv. [S. l.]. 2011. On line (5:11 min.), son., color. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=R3XWaTzkP2M>>. Acesso em: 15 mai. 2015.

MUSSEL spat harvesting with venturi system. WBakker. Netherlands. 2010. On line (7:01 min.), son., color. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=kJcUN-JamiQ>>. Acesso em: 15 mai. 2015.

NAVAL Sul - Equipamentos Navais do Sul. Guinchos de pesca. Joinville, Brasil. 2013. Disponível em: <<http://navalsul.com.br/site/index.php/produtos/guinchos/guinchos-de-pesca>>. Acesso em: 15 mai. 2015.

NOVAES, A.L.T.; SANTOS, A.A.; SILVA, F.M.; VENTURA, R.; BANNWART, J.P. 2011a Desempenho de uma máquina francesa

desagregadora de mexilhões nas condições de cultivo do Estado de Santa Catarina. *Agropecuária Catarinense*, 24(2): 44-46.

NOVAES, A.L.T.; SANTOS, A.A.; SILVA, F.M.; VENTURA, R.; BREDA, R.R. 2011b Colheita mecanizada de mexilhões (Perna perna, L.) engordados a partir de coletores artificiais de sementes. *Agropecuária Catarinense*, 24(3): 38-41.

NTC Moldes Plásticos. Pier flutuante. Caxias do Sul. [200?]. Catálogo de produtos. Disponível em: <<http://ntc.ind.br/produto/pier-flutuante/pier-flutuante/92>>. Acesso em: 15 mai. 2015.

OCEAN Tech. Construcción naval: cultivo. Coquimbo, Chile. [200?]. Catálogo de produtos. Disponível em: <<http://oceantech.cl/quienes.htm>>. Acesso em: 15 mai. 2015.

PAHL, G. e BEITZ, W. 1996 *Engineering design: a systematic approach*. 2nd ed. London: Springer-Verlag, 544 p.

PUGH, S. 1991 *Total Design: integrated methods for successful product engineering*. England: Adison Wesley Publishing Company. 278p.

QUALITY Equipment. New Zealand. Mechanization and continuous harvest practice of the modern mussel industry. 2013. Disponível em: <http://musselrope.co.nz/media/QE_Mussel_System_Presentation.pdf>. Acesso em: 15 mai. 2015.

REIS, A.V. e FORCELLINI, F.A. 2002 Functional analysis in the evaluation of four concepts of planters. *Ciência Rural*, 32(6): 969-975.

RODEEN fish farms harvesting live irish mussels. Ireland. 2011. On line (4:48 min.), son., color. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=ruij_O_OjpEM>. Acesso em: 15 mai. 2015.

ROOZENBURG, N. F. M. e EEKELS, J. 1995 *Product design: fundamentals and methods*. Chichester: John Wiley & Sons. 408 p.

ROSENFELD, H.; FORCELLINI, F.A.; AMARAL, D.C.; TOLEDO, J.C.; DA SILVA, S.L.; ALLIPRANDINI, D.H.; SCALICE, R.K. 2006 *Gestão do desenvolvimento de produtos: uma referência para melhoria do processo*. São Paulo: Saraiva. 542p.

SANTANA, F.E. 2005 *Desenvolvimento do protótipo de uma máquina para lavação de lanternas no cultivo de ostras*. Santa Catarina, Brasil. Florianópolis. 114 f. (Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Mecânica - CTC/EMC, Universidade Federal de Santa Catarina). Disponível em: <<http://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/102635>>. Acesso em: 15 mai. 2015.

SCALICE, R.K. 2003 *Desenvolvimento de uma família de produtos modulares para o cultivo e industrialização de mexilhões*. Santa Catarina, Brasil. Florianópolis. 240 f. (Tese de Doutorado. Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina). Disponível em: <<http://www.tede.ufsc.br/teses/PEMC0742.pdf>> Acesso em: 12 dez. 2014.

SHAINEE, M.; ELLINGSEN, H.; LEIRA, B.J.; FREDHEIM, A. 2013 Design theory in offshore fish cage designing. *Aquaculture*, 392–395: 134-141.

SMITH, S.; SMITH, G.; SHEN, Y.T. 2012. Redesign for product innovation. *Design Studies*, 33(2): 160-184.

SPRING bay seafoods. Spring Bay Mussels: debearding. Austrália. 2015. On line (4:35 min.), son., color. Disponível em: <<http://www.springbayseafoods.com.au/spring-bay-mussels>>. Acesso em: 15 mai. 2015.

STEFANI, C.T.; MERINO, G.S.A.D.; PEREIRA, E.F.; MERINO, E.A.D. 2011 A atividade de malacocultura e as queixas musculoesqueléticas: considerações acerca do processo produtivo. *IJIE – Iberoamerican Journal of Industrial Engineering*, 3(1): 2-15.

STEVENSON, W.J. 2001 *Administração das operações de produção*. Rio de Janeiro: LTC. p.232-268.

TALLER Francisco Dios e Hijos. Maquinaria para el procesado de mejillón. Pontevedra, España. [200?]. Disponível em: <<http://www.talldios.com/lavadora%20de%20cepillos.html>>. Acesso em: 15 mai. 2015.

TALLERES Aguin. Catálogo de productos. O Grove, España. [199?]. Disponível em: <<http://www.aguin.com/catalogo/index.html>>. Acesso em: 15 mai. 2015.

TALLERES Alfredo. Maquinarias mejilloneras. Boiro, España. [200?]. Disponível em: <<http://www.talleresalfredo.es/desgranadora.html#>>. Acesso em: 15 mai. 2015.

TIMMAQ Máquinas e Equipamentos. Guincho de Coluna Timmaq 200 Kg. Timbó, Brasil. [200?]. Disponível em: <<http://www.timmaq.com.br/produtos/guincho-de-coluna-timmaq-200-e-400kg/>>. Acesso em: 15 mai. 2015.

ULLMAN, D.G. 1997 *The Mechanical Design Process*. Singapore: McGraw-Hill Inc. 2nd ed. 340p.

WBAKKER Machinenfabriek. Shellfish. Yerseke, Netherlands. 2015. Disponível em: <http://wbakker.com/index.php/en/shellfish>. Acesso em: 15 mai. 2015.

XPLORA mussel farm. Abrown digital video. Glasgow, Scotland. 2007. On line (10:50 min.), son., color. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=EKAQz3DnIq8>>. Acesso em: 15 mai. 2015.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento desta pesquisa possibilitou aplicar uma abordagem metodológica focada em engenharia, no processo de colheita de mexilhões cultivados. O objetivo foi adquirir maior compreensão da etapa de colheita da produção, com a finalidade de aperfeiçoá-la, tanto no que se refere à eficiência na realização das operações, quanto ao bem estar dos trabalhadores envolvidos.

A metodologia utilizada reuniu princípios de engenharia de produção, engenharia agrícola, engenharia mecânica e ergonomia. Permitiu avaliar o desempenho operacional e o nível de exposição dos trabalhadores a riscos de Distúrbios Osteomusculares Relacionados ao Trabalho (DORT) na colheita não mecanizada de mexilhões e propor melhorias de processo através do projeto e prototipagem de um sistema mecanizado de colheita.

Antes de a pesquisa ser iniciada havia indícios de que a colheita manual de mexilhões é um processo pouco eficiente, que demanda muita mão de obra e esforços físicos. Todavia, não existiam dados disponíveis sobre desempenho operacional e ergonomia que fossem capazes de retratar o processo de colheita e servir de referência para a proposição e avaliação de melhorias. Com este trabalho, foi possível avançar nesse sentido. Parâmetros foram propostos, mensurados e uma alternativa de melhoria foi materializada.

O próximo passo a ser dado será a avaliação do sistema mecanizado de colheita através da realização de ensaios em campo. Nesta avaliação serão utilizados os mesmos parâmetros de desempenho operacional e ergonomia adotados na análise da colheita não mecanizada. Desse modo, será possível medir os efeitos da mudança de arranjo físico de colheita e da mecanização das operações, proporcionadas pela utilização do sistema mecanizado.

Somente com a realização desses ensaios será possível verificar se as especificações de projeto relacionadas a desempenho operacional e ergonomia serão atendidas e, com base nessa resposta, poder verificar: a) se a adoção do sistema mecanizado proporcionará melhorias na realização da colheita de mexilhões; b) qual será a relação custo benefício da utilização desse sistema por empresas e pequenos produtores; c) a quantidade de unidades necessárias para mecanizar a produção de mexilhões em Santa Catarina; d) qual será a estratégia de distribuição e uso coletivo destes sistemas em comunidades onde existam unidades de produção instaladas; e) quais ajustes e simplificações podem ser efetuados no projeto para tornar sua aquisição

mais acessível para os produtores; e f) quais arranjos alternativos do sistema de colheita podem ser propostos para cada perfil de produtor.

REFERÊNCIAS DA INTRODUÇÃO

BRASIL. Resolução CONAMA nº 413, de 26 de junho de 2009. Dispõe sobre o licenciamento ambiental da aquicultura, e dá outras providências. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Brasília, 26 jun. 2009. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=608><http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=608>>. Acesso em: 15 jun. 2015.

BRASIL. Decreto Presidencial nº 4.895, de 22 de novembro de 2003. Dispõe sobre a autorização de uso de espaços físicos de corpos d'água de domínio da União para fins de aquicultura, e dá outras providências.

Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 22 nov. 2003. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2003/d4895.htm>. Acesso em: 15 jun. 2015.

CÂNDIDO, Marcondes da Silva et al. *Santa Catarina em Números: pesca e aquicultura*. Florianópolis, SC: Sebrae/SC, 2010. 59p. Disponível em: <<http://www.sebrae-sc.com.br/scemnumero/arquivo/Pesca-e-Aquicultura.pdf>>. Acesso em: 15 jun. 2015.

CAVALLI, Ronaldo Oliveira; FERREIRA, Jaime Fernando. O futuro da pesca e da aquicultura marinha no Brasil: a maricultura. *Ciência e Cultura* [online], v.62, n.3, p. 38-39, 2010.

CHIERIGHINI, Diego et al. Possibilidades do Uso das Conchas de Moluscos. In: 3rd INTERNATIONAL WORKSHOP/ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION: Cleaner production initiatives and challenges for a sustainable world, 2011, São Paulo. *Anais eletrônicos...* São Paulo - Brasil, 2011. 5p. Disponível em: <http://www.advancesincleanerproduction.net/third/files/sessoes/6A/6/Chierighini_D%20-%20Paper%20-%206A6.pdf> Acesso em: 15 jun. 2015.

DUTRA, Ana Regina de Aguiar et al. A contribuição da ergonomia para a mecanização da produção catarinense de ostras. In: XXXI ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO - Inovação Tecnológica e propriedade intelectual: desafios da engenharia

de produção na consolidação do Brasil no cenário econômico mundial, 2011, Belo Horizonte. *Anais eletrônicos...* Belo Horizonte: ENEGEP, 2011. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2011_TN_STO_138_878_19175.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2015.

FERREIRA, Jaime Fernando; MAGALHÃES, Aimê Rachel Magenta. *Cultivo de mexilhões*. Florianópolis, SC: Laboratório de Moluscos Marinhos. Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina. 33p. Disponível em: <https://bгнаescola.files.wordpress.com/2010/09/cultivo_mexilhoes.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2015.

FAO. *The State of World Fisheries and Aquaculture*. Roma, 2012. 230 p. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/016/i2727e/i2727e.pdf>>. Acesso em: 15 jun. 2015.

FAO. *The State of World Fisheries and Aquaculture*. Roma, 2014. 223 p. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/a-i3720e.pdf>>. Acesso em: 15 jun. 2015.

HEINONEN, Kari. Farmed Mussels. Monterey Bay Aquarium's Seafood Watch Program, Monterey, CA. 56 p. 2014. Disponível em: <http://www.seafoodwatch.org/-/m/sfw/pdf/reports/mba_seafoodwatch_farmedmussels.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2015.

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente. Instrução Normativa nº 105 de 20 de julho de 2006. Dispõe sobre as regras de ordenamento pesqueiro para a extração de mexilhões *Perna perna* (LINNAEUS, 1758) de estoques naturais e os procedimentos para instalação de empreendimentos de malacocultura em Águas de Domínio da União no Litoral Sudeste e Sul do Brasil. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Brasília, 20 jul. 2006. Disponível em: <http://ibama.gov.br/category/40?download=2601%3A105-2006-_-_.p>. Acesso em: 15 jun. 2015.

MAGALHÃES, Aimê Rachel Magenta; FERREIRA, Jaime Fernando. Cultivo de mexilhões. In: POLI, C.R. et al. *Aquicultura: Experiências Brasileiras*. Florianópolis: Ed. Multitarefa, 2004. p. 221-250.

MANZONI, Gilberto Caetano; MARTINS, Maria Inês Espagnoli Geraldo. Análise econômica do cultivo de mexilhões (*Perna perna*) em dois sistemas em Penha/SC. In: XLIV CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL, 2006, Fortaleza. *Anais eletrônicos...* Fortaleza: SOBER, 2006. 21p. Disponível em: <http://www.sober.org.br/palestra/5/545.pdf>>. Acesso em: 15 jun. 2015.

MARENZI, Adriano Weidner Cacciatori et al. Cultivo do mexilhão *Perna perna*. In: RESGALLA JR, C.;WEBER, L.I.; CONCEIÇÃO,M.B. *O Mexilhão Perna perna* (L., 1758): biologia, ecologia e aplicações. Rio de Janeiro: Interciência, 2008. p 170-182.

MERINO, Giselle et al. Design applied to Family agriculture and aquaculture based on social innovation. In: PROCEEDINGS OF THE FIRST INTERNATIONAL CONFERENCE ON INTEGRATION OF DESIGN, ENGINEERING AND MANAGEMENT FOR INNOVATION, 2009, Porto. *Anais eletrônicos...* Porto: IDEMI09, 2009. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/1842/socialinnovation_idemi09.pdf?sequence=1>. Acesso em: 15 jun. 2015.

MPA - MINISTÉRIO DA PESCA E AQUICULTURA. Boletim estatístico da pesca e aquicultura. Brasília. 129 p. 2011. Disponível em: <http://www.mpa.gov.br/files/docs/Boletim_MPA_2011_pub.pdf> Acesso em: 22 nov. 2014.

NOVAES, André Luís Tortato, et al. Regularização da atividade de maricultura no Estado de Santa Catarina. Florianópolis: *Agropecuária Catarinense*, v.24, n.1, p 51-53, 2011.

NOVAES, André Luís Tortato, et al.. Desempenho de uma máquina francesa desagregadora de mexilhões nas condições de cultivo do Estado de Santa Catarina. Florianópolis: *Agropecuária Catarinense*, v.24, n.2, p 2 44-46, 2011.

NOVAES, André Luís Tortato, et al. 2011 Colheita mecanizada de mexilhões (*Perna perna*, L.) engordados a partir de coletores artificiais de sementes. Florianópolis: *Agropecuária Catarinense*, v.24, n.3, p 38-41, 2011.

NOVAES, André Luís Tortato; SOUZA, Robson Ventura; SUPPLY, Felipe Matarazzo. *Moluscos bivalves: diretrizes para ocupação de áreas aquícolas em Santa Catarina*. Florianópolis: Epagri, 2014. 32p. (Epagri. Boletim Didático, N 111).

OLIVEIRA NETO, Francisco Manoel. *Diagnóstico do cultivo de moluscos em Santa Catarina*. Florianópolis. Epagri, 2005. 67p. (Epagri. Documentos, 220).

RIOS, Eliezer. *Compendium of brazilian sea shells*. Rio Grande, RS: Evangraf, 2009. 676 p.

ROSA, Rita de Cássia Cordini. *Impacto do cultivo de mexilhões nas comunidades pesqueiras de Santa Catarina*. 1997. 183f. Dissertação (Mestrado em aquicultura) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

SANTOS, Alex Alves; COSTA, Sérgio Winckler da. Resultados da maricultura catarinense em 2014. Laranjeiras: *Panorama da Aquicultura*, v.25, n.149, p 36-41, 2015.

SCALICE, Régis Kovacs. Desenvolvimento de uma família de produtos modulares para o cultivo e industrialização de mexilhões. 2003. 240 f. Florianópolis. Tese (Doutorado. em Engenharia Mecânica) Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil. Disponível em: <<http://www.tede.ufsc.br/teses/PEMC0742.pdf>> Acesso em: 12 dez. 2014.

SEBRAE. Critérios de classificação de empresas. 2013. Disponível em: <<http://www.sebrae-sc.com.br/leis/default.asp?vcdtexto=4154>>. Acesso em: 15 jun. 2015.

SOUZA FILHO, José; HERZOG, David; FRANKEN, Carlos Eduardo. *Custo de produção do mexilhão cultivado*. Florianópolis: Instituto Cepa/SC. 2004. 29 p. Disponível em: <http://docweb.epagri.sc.gov.br/website_cepa/publicacoes/custo_mexilhao.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2015.

STEFANI, Clarice Teixeira et al. A atividade de malacocultura e as queixas musculoesqueléticas: considerações acerca do processo

produtivo. *IJIE – Iberoamerican Journal of Industrial Engineering*, Florianópolis, v 3, n. 1, p. 2-15, 2011.

TENÓRIO, Hugo César Lucena et al. Reaproveitamento de conchas de mariscos e resíduos da construção civil em alagoas. Maceió: *Ciências exatas e tecnológicas*, v.1, n.1, p. 61-71, 2014.

TRISTÃO, Fernando Avancini; CALDERÓN, Bianca R.S.; REMBISKI, Fabrícia Delfino. Utilização das conchas de mexilhão na fabricação da cal para produção de argamassas históricas. In: V ENCONTRO NACIONAL E III ENCONTRO LATINO-AMERICANO SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS, 2009, Recife. Anais eletrônicos...Recife: ELECS, 2009. Disponível em: <http://www.elecs2013.ufpr.br/wp-content/uploads/anais/2009/2009_artigo_196.PDF>. Acesso em: 15 jun. 2015.

VAKILY, J.M. *The biology and culture of mussels of the genus Perna*. ICLARM Studies and Reviews 17, Manila, Philippines. 1989. 65p.