

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SANEAMENTO,
MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS

**ESTUDO DE VELOCIDADES E DO NÚMERO DE
REYNOLDS PARA O DESCOLAMENTO DOS
MEXILHÕES DOURADOS**
(Limnoperna fortunei)

Ana Letícia Pilz de Castro

Belo Horizonte
2013

**ESTUDO DE VELOCIDADES E DO NÚMERO DE
REYNOLDS PARA O DESCOLAMENTO DOS
MEXILHÕES DOURADOS (*Limnoperna fortunei*)**

Ana Letícia Pilz de Castro

C355e

Castro, Ana Letícia Pilz de.

Estudo de velocidades e do número de Reynolds para o descolamento dos mexilhões-dourados (*Limnoperna fortunei*) [manuscrito] / Ana Letícia Pilz de Castro. – 2013.
xiii, 90 f., enc.: il.

Orientador: Carlos Barreira Martinez.

Coorientadora: Edna Maria de Faria Viana.

Dissertação (mestrado) Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia.

Anexos: f. 87-90.

Bibliografia: f. 77-86.

1. Engenharia sanitária - Teses. 2. Meio ambiente - Teses.
3. Mexilhão - Teses. 4. Reynolds, Número de - Teses. I. Martinez, Carlos Barreira. II. Viana, Edna Maria de Faria. III. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. IV. Título.

CDU: 628(043)

Ana Letícia Pilz de Castro

**ESTUDO DE VELOCIDADES E DO NÚMERO DE
REYNOLDS PARA O DESCOLAMENTO DOS
MEXILHÕES-DOURADOS (*Limnoperna
fortunei*)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos.

Área de concentração: Hidráulica e Recursos Hídricos

Linha de pesquisa: Sistemas de Recursos Hídricos

Orientador: Carlos Barreira Martinez

Co-Orientadora: Edna Maria de Faria Viana

Belo Horizonte

Escola de Engenharia da UFMG

2013



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

Escola de Engenharia

Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos

Avenida Antônio Carlos, 6627 - 4º andar - 31270-901 - Belo Horizonte – BRASIL

Telefax: 55 (31) 3409-1882 - posgrad@desa.ufmg.br

http://www.smarh.eng.ufmg.br

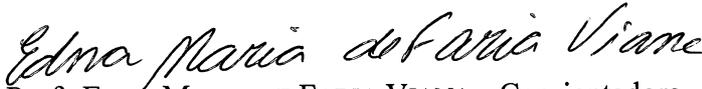
FOLHA DE APROVAÇÃO

Estudo de velocidades e do Número de Reynolds para o
descolamento do mexilhão dourado (*Limnoperna fortunei*)

ANA LETICIA PILZ DE CASTRO

Dissertação defendida e aprovada pela banca examinadora constituída pelos Senhores:


Prof. CARLOS BARREIRA MARTINEZ - Orientador


Profa EDNA MARIA DE FARIA VIANA - Coorientadora


Prof. JORGE LUÍS ZEGARRA TARQUI


Profa SÍLVIA MARIA ALVES CORRÊA OLIVEIRA


Profa TEOFÂNIA HELOÍSA DUTRA AMORIM VIDIGAL

Aprovada pelo Colegiado do PG SMARH

Versão Final aprovada por

Profa. Juliana Calábria de Araújo
Coordenadora

Prof. Carlos Barreira Martinez
Orientador

Belo Horizonte, 02 de julho de 2013.

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Erton e Magali.

AGRADECIMENTOS

À Deus, por tudo.

Aos meus pais, Erton e Magali, pelo amor, carinho, apoio e incentivo ao longo não só desse período, mas ao longo de toda minha vida;

Aos meus irmãos Mateus e Guilherme, por entenderem a distância, pelas ligações, pelo carinho nas rápidas visitas e pelo amor incondicional;

A toda minha família que de longe ou de perto sempre me incentivaram e apoiaram;

Aos colegas e professores do Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos;

A todos os amigos de Cuiabá e de Belo Horizonte, pelo incentivo, por entenderem a falta de tempo e por compartilhar comigo momentos maravilhosos;

Ao Professor, Orientador e “Paizão” Carlos Martinez, pela dedicação, ensinamentos e apoio em todos os momentos;

A Professora Edna Maria de Faria Viana pelos ensinamentos, amizade e compreensão;

Aos alunos de Iniciação Científica que colaboraram na realização dos experimentos, Luiz Fernando Pereira do Prado e Daniel do Carmo Lapa;

A toda equipe do Laboratório de estudos do *Limnoperna fortunei*, principalmente a Dalva Maria Rocha Luz, Julio Cesar Maciel e a Professora Teofânia H. D. A. Vidigal por todo apoio e dedicação;

Aos funcionários do Centro de Pesquisa em Hidráulica e Recursos Hídricos, em especial ao Paulinho.

À ITAIPU BINACIONAL, pela gentileza em ceder os exemplares de *Limnoperna fortunei* utilizados nos testes;

À CEMIG, pelo apoio financeiro dado ao Centro de Pesquisas Hidráulicas e de Recursos Hídricos da UFMG;

À FAPEMIG, pela bolsa de estudos fornecida;

A todas as pessoas que, de alguma forma, contribuíram para a finalização desta etapa, ou o início de muitas outras.

O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um objetivo.
Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas admiráveis." (José de Alencar)

RESUMO

Limnoperna fortunei, ou mexilhão dourado (MD) é um molusco originário da Ásia que foi introduzido na América do Sul na década de 1990 provavelmente pela descarga de água de lastro de um navio mercante. Atualmente, encontra-se em estados do Sul, Sudeste e Centro Oeste do Brasil.

O mexilhão dourado tem causado impactos tanto do ponto de vista ambiental quanto do ponto de vista econômico. Um dos maiores impactos econômicos que se pode citar está ligado a sistemas de adução e captação de água e às usinas hidrelétricas.

O conhecimento de seu comportamento, das suas características físicas, entre outros é uma das estratégias para se articular procedimentos eficientes de combate a esse molusco. Dentre as características a serem conhecidas tem-se a velocidade de descolamento dos indivíduos agregados a diferentes substratos.

Dentro deste contexto, o trabalho em questão, tem como objetivo realizar o estudo de velocidades e do número de Reynolds necessário para que haja o descolamento do mexilhão dourado de substratos. Assim este trabalho é subdividido em duas linhas. Na primeira, com base em dados secundários de estudos realizados em campo com o substrato aço ASTM- A36, foi obtido o número de Reynolds necessário para se promover o arrancamento do MD. A segunda linha de pesquisa, a partir de dados primários obtidos em laboratório para os substratos, aço, madeira e corda, permitiu que fossem identificadas as velocidades e o número de Reynolds a para que ocorra o descolamento dos MD dos respectivos substratos.

O resultado do estudo indica que é possível alcançar velocidades e números de Reynolds em sistemas de condutos forçados. Entretanto é necessário que haja uma mudança na forma operativa dos sistemas já existentes e uma mudança nos projetos dos sistemas ainda em fase de construção.

Palavras-Chave: Mexilhão dourado, Número de Reynolds, Velocidade de descolamento.

ABSTRACT

Limnoperna fortunei, or golden mussel is a shellfish originating from Asia that has been introduced in South America in the 1990s probably by the discharge of ballast water from a merchant ship. Currently, lies in the southern states, Southeast and Midwest of Brazil.

The golden mussel has caused impacts both from the point of view of the environmental and economic point of view. One of the biggest economic impacts that may be cited is connected to systems of water supply and water harvesting and hydroelectric.

The knowledge of their behavior, their physical characteristics, among others is one of the strategies to articulate efficient procedures to combat this mollusk. Among the characteristics to be known is the speed of detachment of the individual clusters of different substrates.

Within this context, the work in question, aims to conduct a study of velocity and Reynolds number requires for the detachment of the mussel substrate. So this work is divided into two lines. At first, based on secondary data from studies conducted in the field with the substrate steel ASTM A36, was obtained Reynolds number needed to promote the pullout golden mussel. The second line of research based on primary data obtained in the laboratory to substrates, steel, wood and rope allowed to be identified speeds and Reynolds number occurs for the detachment of the golden mussel of the respective substrates.

The result of the study indicates that it is possible to achieve speeds and Reynolds numbers in systems penstocks. However there needs to be a change in operational existing systems and a change in systems projects still under construction.

Keywords: Golden Mussel, Reynolds number, speed of detachment.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	IX
LISTA DE TABELAS.....	XI
LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS	XII
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 OBJETIVOS.....	4
2.1 OBJETIVO GERAL.....	4
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
3 REVISÃO DA LITERATURA	5
3.1 ESPÉCIES INVASORAS.....	5
3.2 O MEXILHÃO DOURADO	9
3.2.1 Características	9
3.2.2 Áreas de ocorrência.....	13
3.2.3 Impactos	16
3.2.4 Colonização do mexilhão dourado em diferentes substratos	19
3.2.5 Medidas de Controle	20
3.3 NÚMERO DE REYNOLDS E CAMADA LÍMITE	22
4 MATERIAL E MÉTODOS	30
4.1 CRIAÇÃO E MANUTENÇÃO DE POPULAÇÕES VIÁVEIS DE MEXILHÃO-DOURADO; PROCEDIMENTOS.....	30
4.2 TESTE EM CAMPO	32
4.2.1 A câmara de testes.....	32
4.2.2 O experimento em campo	33
4.3 TESTE EM LABORATÓRIO.....	33
4.3.1 A câmara de testes.....	33
4.3.2 O experimento em laboratório.....	34
4.3.3 Determinação da velocidade e do número de Reynolds de descolamento do mexilhão dourado..	39
4.3.4 Coleta dos mexilhões soltos durante os testes	41
4.3.5 Desinfecção do aparato.....	43
4.4 ANÁLISE DOS DADOS.....	44
5 RESULTADOS	45
5.1 DADOS DE CAMPO	45
5.1.1 Análise do Número de Reynolds.....	45
5.2 DADOS DE LABORATÓRIO	47
5.2.1 Influência do comprimento, altura, densidade da amostra e substratos na não incrustação dos mexilhões	47
5.2.2 Prevalência de morte em função do comprimento, altura, densidade da amostra e substrato (Aço, Madeira e Corda)	50
5.2.3 Velocidade de descolamento dos mexilhões em função do comprimento, altura, densidade das amostras e substratos dados de laboratório	54
5.2.4 Tempo até o mexilhão se soltar da placa em função do comprimento, densidade das amostras e substratos (Aço, Madeira e Corda).....	62
5.3 ANÁLISE DE RESULTADOS DE CAMPO	71
5.3.1 Número de Reynolds.....	71
5.4 ANÁLISE DE RESULTADOS DE LABORATÓRIO	72
5.4.1 Influência do comprimento, altura, densidade da amostra e substrato na não incrustação dos mexilhões	72

5.4.2	<i>Prevalência de morte em função do comprimento, altura, densidade da amostra e substrato (Aço, corda, madeira)</i>	72
5.4.3	<i>Velocidade de descolamento dos mexilhões em função do comprimento, altura, densidade da amostra e substrato (Aço, corda, madeira)</i>	73
5.4.4	<i>Tempo até o mexilhão se soltar da placa em função do comprimento, altura, densidade da amostra e substrato (Aço, corda, madeira)</i>	73
5.4.5	<i>Número de Reynolds</i>	74
6	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	74
6.1	CONCLUSÕES	74
6.2	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	76
7	REFERÊNCIAS	77
	ANEXOS	87

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 - Águas deslastradas em portos comerciais: uma das maiores causas de introduções de espécies aquáticas.	7
Figura 3.2 - Detalhes da concha do mexilhão dourado.	10
Figura 3.3 - <i>Limnoperna fortunei</i> : Esquema da anatomia com detalhes das correntes ciliares	11
Figura 3.4 - Bisco e agregação do <i>Limnoperna fortunei</i>	12
Figura 3.5 - Vias de ingresso do <i>Limnoperna fortunei</i> no Brasil. A, pela bacia do Prata, pelos rios Paraguai até o Pantanal, Paraná. B, via de invasão através do lago Guaíba.....	14
Figura 3.6 - Mapa indicativo das áreas de ocorrência de <i>Limnoperna fortunei</i> no Brasil.....	15
Figura 3.7 - Pacu encontrado no Pantanal Matogrossense com o intestino obstruído pela grande quantidade de conchas inteiras de <i>Limnoperna fortunei</i>	16
Figura 3.8 - Tubulação infestada.	18
Figura 3.9 - Grade incrustada artificialmente pelo mexilhão dourado, imitando a incrustação que ocorre em campo.....	19
Figura 3.10 - A Experiência de Reynolds	23
Figura 3.11 - Camada limite e o perfil de velocidade do fluido.	25
Figura 4.1 - Tanque rede.	30
Figura 4.2 – Coleta Manual do mexilhão	31
Figura 4.3 – Aparato de teste em campo	33
Figura 4.4 – Aparato de teste em laboratório	34
Figura 4.5 – Mexilhões pré-selecionados dispostos na bandeja.....	35
Figura 4.6 – Mexilhões com sifão de fora.....	35
Figura 4.7 – Mexilhões selecionados dispostos na bandeja.	36
Figura 4.8 – Amostras de aço e madeira no aquário para incrustação.	37
Figura 4.9 – Amostras de madeira no aquário para incrustação.....	38
Figura 4.10 – Amostras de aço no aquário para incrustação.....	39
Figura 4.11 – Amostras de corda de sisal no aquário para incrustação.....	39
Figura 4.12 – Placas identificadas.	42
Figura 4.13 – Medição dos mexilhões.....	42
Figura 4.14 – Placas contendo mexilhões pré classificados como vivos	43
Figura 4.15 – Mexilhão em bom estado de saúde após o teste.....	43
Figura 5.1 - Box-plot das variáveis N° de Reynolds, Tempo Submerso e Comprimento (mm).	46
Figura 5.2 - Box-plot das variáveis Altura (mm), Comprimento (mm) e Densidade (indivíduos) pela variável Solto ao abrir.	48
Figura 5.3 - Gráfico de barras da variável substrato pela variável Solto ao abrir.	49
Figura 5.4 - Box-plot das variáveis Altura (mm), Comprimento (mm) e Densidade da amostra (indivíduos) pela variável resposta (Vivo / Morto).	51
Figura 5.5 - Variável substrato pela variável resposta (Vivo / Morto).....	52
Figura 5.6 - Gráfico de Kaplan-Meier para os tipos de meios	54
Figura 5.7 - Gráfico de Kaplan-Meier para grupos de comprimento.	56
Figura 5.8 - Gráfico de Kaplan-Meier para grupos de altura.	57
Figura 5.9 - Gráfico de Kaplan-Meier para grupos de Densidade da Amostra.	58
Figura 5.10 - Funções de sobrevivências estimadas por Kaplan-Meier versus as sobrevivências estimadas pelos modelos exponencial, Weibull e Log-normal.....	59
Figura 5.11 - Gráfico de Kaplan-Meier para os tipos de meios.	62
Figura 5.12 - Gráfico de Kaplan-Meier para grupos de comprimento.	63
Figura 5.13 - Gráfico de Kaplan-Meier para grupos de altura.	64
Figura 5.14 - Gráfico de Kaplan-Meier para grupos de Densidade da Amostra.....	65

Figura 5.15 - Sobrevivências estimadas por Kaplan-Meier versus as sobrevivências estimadas pelos modelos exponencial, Weibull e Log-normal.	66
Figura 5.16 - Box-plot das variáveis N° de Reynolds, Comprimento (mm) e Densidade da Amostra.	69
Figura 5.17 - Diagrama de Dispersão entre as variáveis N° de Reynolds e Comprimento (mm).	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Mudanças previstas do ecossistema associadas à presença de <i>Limnoperna fortunei</i> inferidas a partir do conhecimento gerado para o mexilhão zebra.	17
Tabela 3.2 – Regime de escoamento e o número de Reynolds	24
Tabela 4.1 – Vazões pré-estabelecidas para a realização dos testes de velocidade.....	40
Tabela 5.1 – Medidas descritivas das variáveis N° de Reynolds, Tempo Submerso e Comprimento (mm).	45
Tabela 5.2 - Regressão Gama para o n° de Reynolds a partir das variáveis Tempo Submerso e Comprimento (mm).	46
Tabela 5.3 - Medidas descritivas das variáveis Altura (mm), Comprimento (mm) e Densidade (indivíduos) pela variável Solto ao abrir.	47
Tabela 5.4 - Tabela de contingência da variável Substrato pela variável Solto ao abrir.	48
Tabela 5.5 - Modelo multivariado para a variável Solto ao Abrir a partir das variáveis Substrato, Altura(mm) e Comprimento (mm).	49
Tabela 5.6 - Modelo multivariado para a variável Solto ao abrir a partir das variáveis Substrato e Comprimento (mm).	50
Tabela 5.7 - Medidas descritivas das variáveis Altura (mm) e Comprimento (mm) pela variável resposta (Vivo / Morto).	51
Tabela 5.8 - Tabela de contingência da variável substrato pela variável resposta (Vivo/Morto).	52
Tabela 5.9 - Modelo multivariado para a variável Vivo/Morto a partir das variáveis Substratos, Altura(mm) e Comprimento (mm).	53
Tabela 5.10 - Modelo multivariado para a variável Vivo/Morto a partir das variáveis Substrato, Densidade da amostra e Comprimento (mm).	53
Tabela 5.11 - Classificação dos Grupos de acordo com o Comprimento e Altura.	55
Tabela 5.12 - Classificação dos Grupos de acordo com a densidade.	57
Tabela 5.13 - Teste de adequação do modelo via teste da razão de verossimilhança.	59
Tabela 5.14 - Modelos de Cox ajustados para explicar a velocidade até o mexilhão se soltar.	61
Tabela 5.15 - Covariáveis	61
Tabela 5.16 - Teste de adequação do modelo via teste da razão de verossimilhança.	67
Tabela 5.17 - Modelos de Cox ajustados para explicar a velocidade até o mexilhão se soltar.	67
Tabela 5.18 - Covariáveis	68
Tabela 5.19 - Medidas descritivas das variáveis N° de Reynolds e Comprimento (mm).	69
Tabela 5.20 - Regressão Gama para o n° de Reynolds a partir das variáveis Meio, Densidade da Amostra e Comprimento (mm).	71
Tabela 5.21 - Regressão Gama para o n° de Reynolds a partir das variáveis Meio, Densidade da Amostra e Comprimento (mm) – Sem o ponto influente.	71

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

<i>AJB</i>	Águas Jurisdicionais Brasileiras
<i>Cd</i>	Coefficiente de tensão de cisalhamento
<i>CEMIG</i>	Companhia energéticas de Minas Gerais
<i>Cf</i>	Coefficiente de arrasto
<i>cv</i>	Cavalo de potência
<i>CPH</i>	Centro de Pesquisas Hidráulicas e Recursos Hídricos da UFMG
<i>DP</i>	Desvio padrão
<i>DMAE</i>	Departamento Municipal de Água e Esgotos - Porto Alegre, RS
<i>DPC</i>	Diretoria de Portos e Costas
<i>IC</i>	Intervalo de confiança
<i>EP</i>	Erro de padrão
<i>FAPEMIG</i>	Fundação de amparo a pesquisa do estado de Minas Gerais
<i>g/L</i>	Grama por litro
<i>IBAMA</i>	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Renováveis
<i>KM</i>	Quilômetros
<i>L</i>	Comprimento equivalente
<i>Lelf</i>	Laboratório de Estudos do <i>Limnoperna fortunei</i>
<i>MD</i>	Mexilhão dourado
<i>mm</i>	milímetro
<i>máx</i>	Máximo
<i>mín</i>	Mínimo
<i>MMA</i>	Ministério do Meio Ambiente
<i>MS</i>	Mato Grosso do Sul
<i>OMI</i>	Organização Marítima Internacional
<i>ONU</i>	Organização das Nações Unidas

<i>PR</i>	Paraná
<i>PVC</i>	Cloreto de polivinila
<i>Q</i>	Quartil
<i>R</i>	Reservatório
<i>Re</i>	Número de Reynolds
<i>Re_c</i>	Número de Reynolds crítico
<i>RS</i>	Rio Grande do Sul
<i>S</i>	Área
<i>T</i>	Tubo
<i>TRV</i>	Teste de razão de verossimilhança
<i>UFMG</i>	Universidade Federal de Minas Gerais
<i>V</i>	Reservatório contendo corante
<i>β</i>	Valor do coeficiente

1 INTRODUÇÃO

A introdução de espécies em um ambiente pode ocorrer de forma natural, porém, a maioria dos casos tem uma correlação forte com a atividade humana e em especial com a expansão e globalização do comércio (BELZ, 2006).

A descarga de água de lastro, atualmente, é apontada como uma das maiores vias de introdução de espécies. Estima-se que, anualmente, milhares de espécies sejam transportadas (e introduzidas) dessa forma (SILVA et al., 2004; DARRIGRAN & DAMBORONEA, 2009).

As transferências de organismos nocivos através do lastro de navios têm sido desastrosas e crescido abundantemente, causando danos aos ecossistemas aquáticos, prejuízos à saúde humana, à biodiversidade, às atividades pesqueiras e de aqüicultura, à agricultura irrigada e aos setores elétricos e de abastecimento de água, resultando em um problema global, em virtude do aumento do impacto ecológico e econômico em vários ecossistemas (SILVA et al., 2004). Este é o caso do mexilhão dourado *Limnoperna fortunei* (Bivalvia: Mytilidae) um molusco exótico ao continente americano.

A chegada de *L. fortunei*, mexilhão dourado na América do Sul foi registrada pela primeira vez em setembro de 1991, no Balneário Bagliardi, no estuário do rio da Prata, Argentina (PASTORINO et al., 1993).

No Brasil, seu primeiro registro foi em 1998 no delta do rio Jacuí, próximo a Porto Alegre, Rio Grande do Sul (RS). O mexilhão dourado vem se dispersando a uma velocidade de 240 km/ano (DARRIGRAN, 2002). Essa grande velocidade de dispersão, fez com que o mexilhão, tivesse sua presença registrada em 5 países da América do Sul, Argentina (em 1991), Uruguai (em 1994), Paraguai (em 1997), Brasil e Bolívia (em 1998) (DARRIGRAN & MANSUR, 2006, DARRIGRAN & DAMBORONEA, 2009).

Molusco bivalve de água doce, filtrador, o mexilhão dourado é dióicos (os adultos podem medir até 5 cm), possui grande capacidade reprodutiva, grande plasticidade fenotípica, comportamento gregário e ampla tolerância ambiental, podendo sobreviver em ambientes naturais, artificiais, dulceaquícolas ou salobros. Possui uma fase larval natante medindo poucos micrômetros, sendo capaz de colonizar rapidamente novos ambientes aquáticos. Ainda no estágio larval, essa espécie produz uma estrutura proteica chamada bisso que o permite

fixar-se em praticamente todo tipo de substrato (metal, plástico, cimento, madeira e até mesmo em espécies animais e vegetais aquáticas), o mexilhão tem o hábito de viver agregado um ao outro, quando ocorre a aglomeração de um grande número de indivíduos, causam o que é denominado por “macrofouling” (DARRIGRAN & DAMBORENEA, 2006; MACKIE & CLAUDI, 2010).

Devido a sua alta capacidade de adaptação em diversos ambientes e alta taxa de reprodução, sua proliferação tornou-se preocupante.

Além de causar graves danos ao meio ambiente perante alterações nos ecossistemas aquáticos, a presença deste invasor vem ameaçando vários setores econômicos, como, por exemplo, obstruindo tubulações de sistemas de abastecimento de água, obstruindo sistemas de irrigação, provocando danos a motores e embarcações, incrustando em redes tradicionais de pesca, obstruindo filtros e outros equipamentos industriais e prejudicando, em vários aspectos, a geração de energia hidrelétrica (MACKIE & CALUDI, 2010; DINIZ, 2010).

Em Usinas Hidrelétricas, o mexilhão dourado adere a diversas estruturas e, pela sua facilidade de dispersão, atinge tubulações e filtros, sistemas de resfriamento, grades e vários outros componentes. Os problemas causados pela espécie são genericamente chamados de “macrofouling” quer seja: redução do diâmetro e obstrução de tubulações, redução da velocidade de fluxo da água, provocando perdas de carga, aumento do processo de corrosão de tubulações, gosto e odor na água, aumento na frequência de limpeza e manutenção e consequente aumento de custos (COLARES, *et al.*, 2002; BONAFÉ *et al.*, 2007; MACKIE & CALUDI, 2010; ROLLA & MOTTA, 2010).

Tendo conhecimento de todos os problemas causados por esta espécie ve-se a necessidade de estudos incluindo um maior número de variáveis que englobem aspectos biológicos, comportamentais e econômicos. O fato do mexilhão dourado incrustar-se em usinas hidrelétricas, obriga as concessionárias a promoverem uma constante operação de limpeza que interfere na geração de energia.

Segundo Diniz *et al.* (2009), a geração de energia em pequenas centrais hidrelétricas de alta queda e com tubulações de pequenos diâmetros pode até mesmo ser inviabilizada devido à infestação de mexilhões.

Dentre deste contexto o conhecimento das velocidades e do Número de Reynolds capazes de promover o descolamento dos mexilhões de estruturas hidráulicas, sem que haja a necessidade de uma constante operação de limpeza e de outros substratos de características variadas se mostra de grande importância.

2 OBJETIVOS

2.1 *Objetivo geral*

O objetivo geral do presente trabalho é a análise de estudos experimentais e posterior determinação da velocidade máxima e o número de Reynolds a que deve ser submetido um sistema hidráulico para que haja o descolamento do mexilhão dourado.

2.2 *Objetivos específicos*

Em decorrência do objetivo geral do trabalho, buscaram-se os seguintes objetivos específicos:

- Dimensionar e testar um aparato que permita o ensaio de velocidade com indivíduos de *Limnoperna fortunei* em laboratório.
- Colonizar em laboratório substratos de características variadas e com densidades variadas.
- Verificar a influência do comprimento, altura, densidade da amostra e substratos na não incrustação do *Limnoperna fortunei*.
- Verificar a prevalência de morte do *Limnoperna fortunei* em função do comprimento, altura, densidade da amostra e substratos.
- Identificar velocidades que promovam o descolamento do *Limnoperna fortunei* em função do comprimento, altura, densidade da amostra e substratos.
- Identificar o tempo para a remoção do *Limnoperna fortunei* em função do comprimento, altura, densidade da amostra e substratos.
- Calcular a variável Número de Reynolds, a partir dos dados de teste de campo disponíveis na literatura e dos obtidos em laboratório em função do comprimento, altura, densidade da amostra e substratos..

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 *Espécies Invasoras*

Uma determinada espécie, seja ela de origem animal ou vegetal, é considerada como exótica quando introduzida em área adversa de sua ocorrência natural, em ambientes distintos daqueles nos quais ela ocorre normalmente. Espécies exóticas são consideradas como invasoras quando sobrevivem no novo meio e passam a exercer processos de dominância sobre a biodiversidade nativa (ESPINOLA & FERREIRA JUNIOR, 2007; RESENDE, 2007).

Várias designações de espécies introduzidas são utilizadas: espécies não indígenas; alienígenas; não nativas; estrangeiras; exóticas; transplantadas e alóctones (ESPINOLA & FERREIRA JUNIOR, 2007). Algumas destas espécies têm grande capacidade de invasão e de colonização de ambientes devido às características biológicas, genéticas, fisiológicas e ecológicas que conferem tolerância à maioria dos fatores ambientais (MACHADO & OLIVEIRA, 2009).

As invasões biológicas não se distribuem, geográfica ou climaticamente, de forma homogênea, ocorrendo poucas invasões em áreas com condições climáticas e ambientais extremas, tais como zonas extremamente secas (desertos), ou frias (regiões polares). Grande parte das áreas invadidas por estas espécies situam-se na Austrália, na América do Sul e do Norte, seguidas de África, Índia e várias ilhas (WILLIAMSON, 1999 *apud* MARCHANTE, 2001).

O processo de invasão consta de cinco etapas ou obstáculos a superar que, em conjunto, conformam a transição: transporte, liberação, estabelecimento, dispersão e impacto. Superada as três primeiras a espécie transpassa as barreiras naturais que limitavam sua distribuição e se transforma em não-nativa. Uma espécie que transpassa com êxito as cinco etapas é considerada invasora (KOLAR & LODGE, 2001).

O impacto causado pelas espécies introduzidas é quase sempre maior em ambientes que já foram alterados se comparado com ambientes ainda intactos. Na década de 1950, Charles Elton criou o conceito de “resistência biótica” que diz que, em áreas não alteradas, o conjunto de competidores, predadores, parasitas e doenças impedem o estabelecimento da maioria dos

invasores, enquanto que em um ambiente alterado, essa resistência é menor devido ao baixo número de espécies que “defendem” o local (DARRIGRAN & DAMBORENEA, 2009).

No Brasil, a história desse processo está intimamente relacionada aos avanços tecnológicos, dessa forma, o histórico das bioinvasões aquáticas no Brasil pode ser dividido em três fases: do Descobrimento até o final do século XIX; o século XX; e a partir do século XXI. (SOUZA *et al.*, 2009)

A primeira fase refere-se à época da colonização e tráfico de escravos, e se caracteriza pela chegada de navios originários do continente europeu e da África (SOUZA *et al.*, 2009). Desde essa época, a incrustação em cascos de navios era responsável por um grande número de introduções marinhas no litoral brasileiro. As embarcações até então, eram lastreadas com pedras e outros materiais sólidos, como areia, correntes, madeiras, que em contato com as águas também serviam como meio para a inserção de novas espécies. Três espécies foram consideradas introduzidas nesse período: o mexilhão *Perna perna* (SOUZA *et al.*, 2003; SOUZA *et al.*, 2005), o vibrião da cólera *Vibrio cholerae* e a ascídia *Styela plicata* (RIVERA *et al.*, 2003).

No início do século XX é que ocorre a segunda fase, que foi marcada por avanços econômicos e tecnológicos no país e no mundo. Nesse período com a melhoria nas estruturas dos navios, houve uma intensificação do comércio marítimo e a água de lastro passou a ser largamente utilizada nos tanques dos navios, agravando o transporte que já era efetuado via incrustação na transferência de espécies (SANTOS & LAMONICA, 2008; SOUZA *et al.*, 2009).

A terceira fase inicia-se somente após a 2ª Guerra Mundial e vem até os dias atuais, um período caracterizado pela intensificação do comércio marítimo que hoje corresponde a cerca de 80% do comércio mundial. Aliado ao aumento do comércio tem-se também aumento das pesquisas científicas que registram e divulgam esses impactos. Isso faz com que os impactos e as invasões sejam conhecidos em um curto período de tempo apresentando o aumento das espécies exóticas introduzidas em todo o mundo.

Atualmente, pode-se dizer que a descarga de água de lastro é potencialmente a mais importante via de introdução de espécies indesejáveis nos portos de todo o mundo e uma das grandes ameaças ao equilíbrio ecológico do ambiente aquático (SILVA & SOUZA, 2004; DARRIGRAN & DAMBORENEA, 2009).

Os navios usam água nos tanques de lastro para manter a segurança, aumentar o calado (distância entre o nível da água e a quilha), compensar perdas de peso com o uso do combustível e da água de consumo e ajudar na propulsão e em manobras, além de manter níveis aceitáveis de estresse na estrutura. Para controlar a submersão e a estabilidade, é necessário lastrear e deslastrear com frequência, conforme podemos observar na figura 3.1 (SILVA *et al.*,2002).



Figura 3.1 - Águas deslastradas em portos comerciais: uma das maiores causas de introduções de espécies aquáticas. (Fonte: www.ieapm.mar.mil.br, acesso em maio de 2012)

Hoje, estima-se que 10 bilhões de toneladas de água de lastro sejam transferidas anualmente e cerca de 3.000 espécies de plantas e animais sejam transportadas por dia em todo o mundo (CARLTON & GELLER, 1993).

Ainda não há dados nem controle sobre o volume de água de lastro que é lançado nos portos brasileiros, mas, segundo dados da Diretoria de Portos e Costas (DPC), a média anual de visitas aos portos brasileiros é de 40.000 navios, estimando-se 40 milhões de toneladas de águas deslastradas por ano (SILVA & SOUZA, 2004).

Como resultado desse mecanismo de transporte de espécies, ecossistemas inteiros vêm sendo alterados. Nos Estados Unidos, o mexilhão-zebra europeu *Dreissena polymorpha* infestou 40% das vias navegáveis e já exigiu entre US\$ 750 milhões e US\$ 1 bilhão em gastos com medidas de controle, entre 1989 e 2000. No sul da Austrália, a alga marinha asiática

Undariapinnatifida está invadindo novas áreas rapidamente, desalojando as comunidades nativas do solo oceânico. No Mar Negro, a água-viva filtradora norte-americana *Mnemiopsis leidyi* atingiu densidades de 1 kg de biomassa por m², isso fez com que se esgotasse os estoques do plâncton nativo de tal maneira contribuindo de forma significativa para o colapso de toda a pesca comercial no Mar Negro. Em muitos países, observou-se a introdução de algas microscópicas que provocam a "maré vermelha" (dinoflagelados tóxicos). A contaminação de moluscos filtradores, tais como ostras e mexilhões, utilizados na alimentação humana, pode causar paralisia e até mesmo a morte. A lista segue, com centenas de exemplos de importantes impactos econômicos, ecológicos e para saúde do homem em todo o mundo. Teme-se, inclusive, que doenças como a cólera possam ser transportadas na água de lastro (MMA, 2006).

No Brasil, o Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira (Probio) promoveu a execução de cinco subprojetos destinados ao levantamento de informações biológicas e ecológicas relacionadas às espécies introduzidas no país (IBAMA, 2006). Dois desses subprojetos produziram informes com o levantamento dos organismos que afetam as águas brasileiras. Foram inventariadas 66 espécies exóticas invasoras que afetam o ambiente marinho. Considerando as quatro categorias de situação populacional (contida, detectada, estabelecida e invasora), essas espécies estão divididas nos subgrupos: fitoplâncton (3 espécies, 5%), macroalgas (10 espécies, 15%), zooplâncton (10 espécies, 15%), zoobentos (38 espécies, 57%), peixes (4 espécies, 6%) e bactéria pelágica (1 espécie, 2%). Destas, 43% foram consideradas detectadas em ambiente natural, 24% estabelecidas, 18% contidas e 15% invasoras. Para os ambientes aquáticos continentais do Brasil, o subprojeto avançou com uma avaliação das informações compiladas na literatura e também do contato com as diferentes instituições relacionadas ao tema. Foram identificadas, nesse subprojeto, 49 espécies exóticas invasoras que afetam as águas continentais, envolvendo crustáceos (1 espécie); macrófitas aquáticas (6 espécies); microrganismos (1 espécie); moluscos (4 espécies); e peixes (37 espécies) (SOUZA *et al.*, 2009).

O mais recente caso de invasão com sucesso no Brasil é o do mexilhão-dourado (*Limnoperna fortunei*), que teve seu primeiro registro na América do Sul em 1991, no rio da Prata na Argentina, e no Brasil em 1998 no Delta do rio Jacuí, na cidade de Porto Alegre, Rio Grande do Sul.

Não existem medidas universalmente padronizadas para prevenção e controle da introdução de espécies através da água de lastro, mas a Organização Marítima Internacional (OMI), Organização das Nações Unidas (ONU) que regula o transporte e as atividades marítimas com relação à segurança, à preservação do meio ambiente e a outros aspectos legais, propõe algumas medidas básicas. A OMI recomenda – em sua Resolução A.868(20) – que não se deve lastrar nas seguintes situações: (a) em locais onde tenham sido registrados organismos tidos como ‘perigosos’ ou onde esteja ocorrendo florescimento de algas; (b) em portos com grande acúmulo de sedimentos em suspensão; (c) em áreas com descarga de esgoto ou com conhecida incidência de doenças; e (d) à noite, quando alguns organismos planctônicos migram para a superfície (SILVA et al.,2002).

No Brasil no ano de 2005, foi criada a Normam-20/DPC (Norma da autoridade marítima para o gerenciamento de águas de lastro de navios), que estabeleceu requisitos referentes à prevenção da poluição por parte das embarcações em Águas Jurisdicionais Brasileiras (AJB), no que tange ao Gerenciamento da Água de Lastro. O sistema inicial tem como base fundamental a troca da Água de Lastro de acordo com a Resolução de Assembleia da Organização Marítima Internacional A.868(20), de 1997 e com a Convenção Internacional de Controle e Gestão da Água de Lastro e Sedimentos de Navios, adotada em fevereiro de 2004 e assinada pelo Brasil em 25 de Janeiro de 2005, e é aplicada a todos os navios que possam descarregar Água de Lastro nas AJB.

3.2 O mexilhão dourado

3.2.1 Características

O mexilhão dourado tem o nome científico de *Limnoperna fortunei*, o *Limnoperna* é formado pelas palavras gregas “*Limno*” água doce e “*perna*” mexilhão, o nome específico *fortunei* provavelmente refere-se à cor dourada da concha ou sua elevada abundância (SANTOS *et. al*, 2012)

A espécie que foi descrita por Dunker em 1857, é um molusco bivalve de água doce pertencente à família Mytilidae. A concha de *L. fortunei* (Figura 3.2) é formada por duas valvas iguais de contorno triangular com a base alongada. A concha é formada por três camadas. A mais externa é o periostraco, depois vem à camada prismática calcária, composta

por cristais microscópicos dispostos perpendicularmente à superfície e por dentro a camada nacarada, composta por lamelas horizontais (MANSUR, 2012).



Figura 3.2 - Detalhes da concha do mexilhão dourado. (Fonte: www.idscaro.net/sci/01_coll/plates/bival/pl_mytilidae_1.htm, acesso em agosto de 2012.)

A forma da valva mostra uma perfeita adaptação para viver em substratos duros. A superfície plana ventral permite ao animal uma maior adesão ao substrato, enquanto que o umbo anterior oferece maior estabilidade (DARRIGRAN & DAMBORENEA, 2009).

O corpo do mexilhão dourado é rodeado pelo manto, camada fina de tecido, que secreta a concha e se adere a esta. O espaço interno contornado pelo manto é denominado cavidade do manto. Em cada lado do corpo, entre o manto e o pé, se localizam as brânquias. Os cílios das brânquias geram correntes que impulsionam a água pelo sifão inalante à cavidade do manto e brânquias. Então, as partículas sólidas são removidas através dos cílios branquiais. Conseqüentemente, as partículas alimentares são conduzidas até a boca para sua ingestão enquanto as partículas não alimentares são envoltas em muco secretado pelas células das brânquias e eliminadas como pseudofeces (DARRIGRAN & DAMBORENEA, 2009). A Figura 3.3 apresenta a morfologia interna básica do *L. fortunei*.

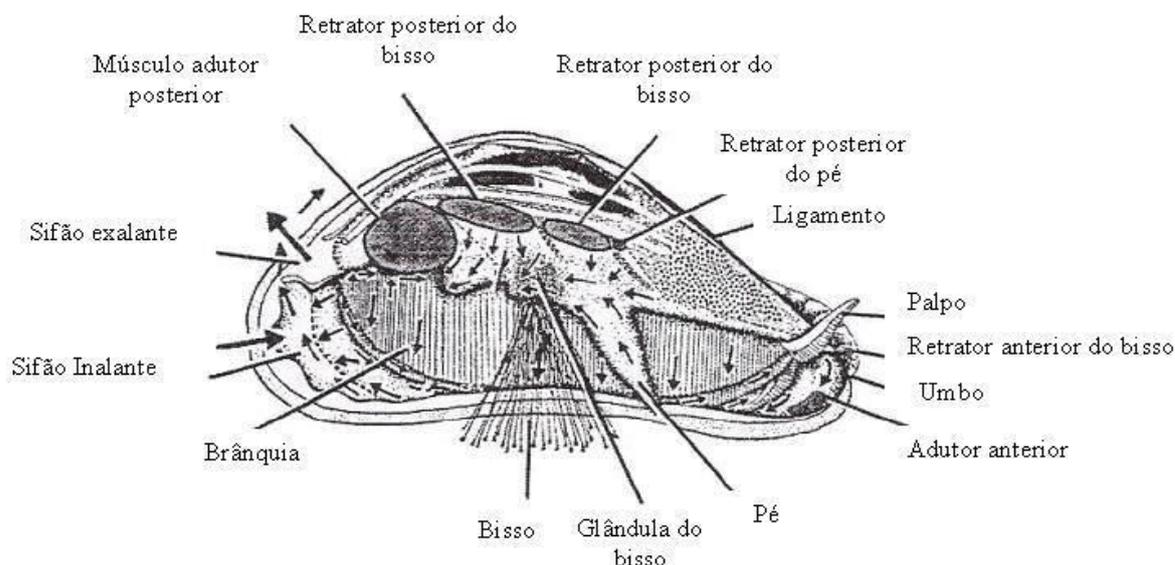


Figura 3.3 - *Limnoperna fortunei*: Esquema da anatomia com detalhes das correntes ciliares. (Fonte: Modificado por Morton, (1976) e Darrigran & Damborenea, 2009).

O ciclo de vida do *Limnoperna fortunei* inclui uma fase juvenil-adulta bentônica e uma fase larvária planctônica. É uma espécie de sexos separados ou gonocórica, porém, em estudos da biologia reprodutiva do *Limnoperna* no Balneário Bagliardi, foram detectados indivíduos hermafroditas em uma proporção de 0,25%. As gônadas se desenvolvem tanto na massa visceral como no manto, sendo mais estendidas neste último (DARRIGRAN & DAMBORENEA, 2009). Os gametas femininos e masculinos são liberados na água aonde se produz a fecundação, quando ocorrem casos de hermafroditismo, os gametas femininos e masculinos são produzidos em folículos distintos (CALLIL et al., 2012). O grau de desenvolvimento gonadal, liberação de gametas e duração do ciclo variam de acordo com as condições climáticas nas quais se encontram as populações (DARRIGRAN & DAMBORENEA, 2009).

O *Limnoperna fortunei*, ao contrário da maioria dos mitilídeos, é um mexilhão de água doce, entretanto, esta espécie é capaz de tolerar concentrações desde água destilada até soluções contendo 20% de água do mar (GREENBERG & SUBHEDAR, 1982). Pode atingir 20 mm de comprimento no seu primeiro ano de vida, 30 mm no segundo, e 35 mm no terceiro (BOLTOVSKOY & CATALDO, 1999), em condições ideais alcança até 60 mm (MACKIE & CLAUDI, 2010).

Coloniza ambientes lóticos, lênticos e semi-lóticos entre 50 cm a 10 m de profundidade (OLIVEIRA, 2003). Entretanto, segundo o Doutor Domingo Rodriguez Fernandez, filmagens

realizadas por um submersível na Usina Hidrelétrica de Itaipu Binacional, Foz do Iguaçu-PR, conseguiram registrar a ocorrência de populações de mexilhão dourado a 50 m de profundidade no reservatório da usina (comunicação pessoal).

O mexilhão tem como principais características uma alta capacidade reprodutiva, o crescimento rápido, capacidade de viver aderido a diversos substratos sólidos por meio do bisso. O bisso é uma rede de fios interligados, produzidos pela glândula bissal, que fixam os bivalves aos mais diversos substrato, conforme podemos observar na figura 3.4 (COIMBRA, 2003).



Figura 3.4 - Bisso e agregação do *Limnoperna fortunei*
(Foto: Daniel Coscarelli)

O mexilhão dourado forma aglomerados compostos por vários indivíduos, que recobrem extensas áreas chegando a atingir, em alguns casos concentrações superiores a 150.000 indivíduos/m² (DARRIGAN, 2002). Possui larvas microscópicas livres e planctônicas, o que favorece a sua dispersão no ambiente aquático (OLIVEIRA, 2003). Na América do Sul, o molusco vem se dispersando a uma taxa média de 240 km/ano (DARRIGAN *et al.*, 2007).

Esta espécie invasora é agressiva e causa profundas modificações na estrutura do ecossistema, além de grandes impactos econômicos. A ampla tolerância ambiental do *L. fortunei* é

considerada um dos fatores responsáveis por seu sucesso como invasor (DARRIGRAN & DAMBORENEA, 2009).

3.2.2 Áreas de ocorrência

O *Limnoperna fortunei* é originário do sudeste asiático, comumente encontrado na Coreia, China, Tailândia, Camboja, Vietnã e Indonésia (MAGARA *et al.*, 2001). Nos últimos 30 anos essa espécie invasora tem se dispersado por Hong Kong, Japão e América do sul (RICCIARDI, 1998).

A chegada de *L. fortunei* na América do Sul foi registrada pela primeira vez em setembro de 1991, no Balneário Bagliardi, no estuário do rio da Prata, Argentina, provavelmente trazido na água de lastro de grandes embarcações (PASTORINO *et al.*, 1993).

Até início de 1994, a espécie ainda estava localizada somente na costa Argentina do rio da Prata, neste ano houve o primeiro caso de macrofouling para água doce da América do Sul (DARRIGRAN, 1995).

Em 1994, foi registrada a ocorrência da espécie pela primeira vez na costa Uruguaia, na margem esquerda do rio da Prata, na cidade de Colônia e na praia Pascual em São José. (SCARABINO E VERDE, 1994). A partir de 1995, *Limnoperna fortunei* superou os limites do rio da Prata e ingressou no rio Paraná (DARRIGRAN & DAMBORENEA, 2009).

A invasão do *L. fortunei* no Brasil ocorreu praticamente ao mesmo tempo em duas localidades distantes, através de duas vias distintas (Figura 3.5). Uma pelo centro-oeste do país, no Mato Grosso do Sul (MS), possivelmente através da migração da população que chegou no rio da Prata em 1991 e foi subindo por dois rios, Paraná e Paraguai. A outra invasão foi por via da água de lastro de embarcações que chegaram até os portos mais interiores junto ao Lago Guaíba, Rio Grande do Sul, através da lagoa dos Patos. Este ambiente é uma laguna que se comunica com o oceano Atlântico através da barra de Rio Grande. A lagoa dos Patos conecta-se ao norte com o Lago Guaíba, através do estreito de Itapuã (DARRIGRAN & DAMBORENEA, 2009).

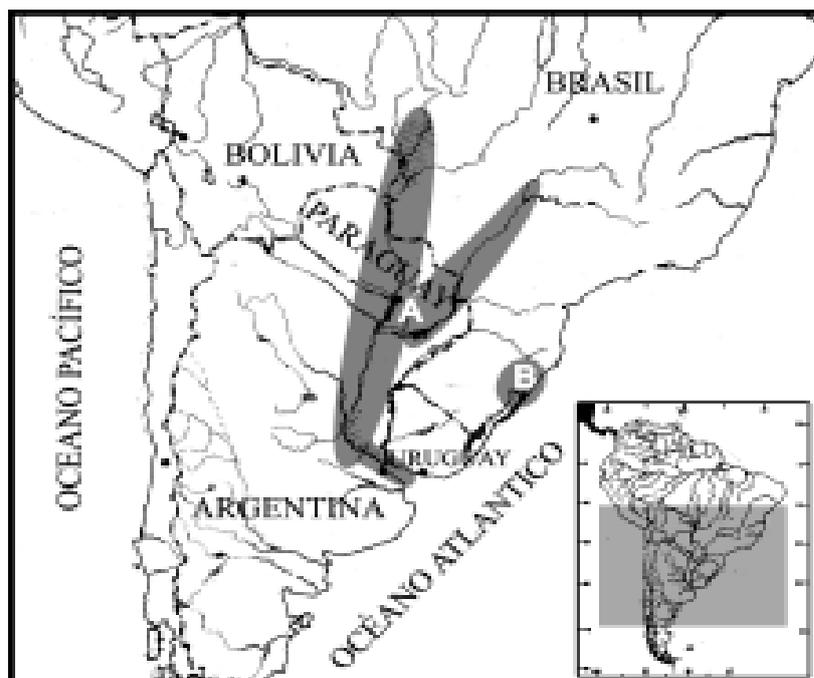


Figura 3.5 - Vias de ingresso do *Limnoperna fortunei* no Brasil. A, pela bacia do Prata, pelos rios Paraguai até o Pantanal, Paraná. B, via de invasão através do lago Guaíba. (Fonte: Darrigran & Damborenea 2009).

Dentro deste contexto Darrigran (2002) descreve que a presença do *L. fortunei* foi registrada pela primeira vez no Brasil em 1998, no delta do rio Jacuí, próximo a Porto Alegre. O autor relata ainda, que em 1999 foi detectado no Guaíba e na hidrelétrica binacional Paraguai-Argentina de Yacyretá, no rio Paraná.

Em abril de 2001, a espécie foi encontrada em uma das tomadas de água da barragem da Usina Hidrelétrica de Itaipu Binacional, em Foz do Iguaçu, Paraná (PR), 400 km acima de Yacyretá (PATELLA *et al.*, 2004). Em novembro do mesmo ano, a presença do mexilhão foi registrada em reservatórios distantes dos locais anteriores como Piraquara e Guaricana, no extremo leste do estado do Paraná (TAKEDA *et al.*, 2005). Em 2002 a presença do *L. fortunei* foi registrada a montante da usina de Itaipu na Usina Hidroelétrica de Sérgio Motta, em Porto Primavera (ZANELLA E MARENDA, 2002) e no estado de São Paulo, próximo a localidade do município de Rosana (AVELAR *et al.*, 2004). Em 2004, foram encontradas larvas em amostras de plâncton coletadas na confluência do rio Paranaíba com os rios Aporé e Claro, entre os estados de Goiás e Minas Gerais (ROLLA & MOTA, 2010).

Na bacia do Alto Rio Paraguai, o primeiro registro de *L. fortunei* foi em 1998, no Rio Paraguai (18°49'18"S e 57°39'13"W), próximo a Corumbá (MS). A área de ocorrência atual de *Limnoperna fortunei* no Pantanal está restrita ao canal principal do Rio Paraguai, lagoas

marginais conectadas e nas partes inferiores dos tributários, como os rios Cuiabá, Miranda e Apa. O limite superior no Rio Paraguai não está bem estabelecido (OLIVEIRA E CALHEIROS, 2012). No Rio Apa a espécie ocorre desde 2000 sem registro exato da área de ocorrência, e na foz do Rio Cuiabá, 2008, também sem registro exato da área colonizada (OLIVEIRA *et al.*, 2011).

Em novembro de 2009, foi registrada a presença do mexilhão-dourado na barragem Capingui, município de Marau, no alto Jacuí. Uma nova bacia, a das lagoas da Planície Costeira do Rio Grande do Sul, situada a Nordeste do sistema Guaíba – Patos – Mirim, foi contaminada em 2009 (FREITAS *et al.*, 2009).

O sistema hidroviário formado pelos rios Paraguai e Paraná constitui o principal meio de dispersão de *L. fortunei* para o centro do Brasil, transportado junto às embarcações que navegam nessas bacias (OLIVEIRA *et al.*, 2004).

Atualmente existem registros desta espécie em rios, lagos e reservatórios das regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste. A figura 3.6 apresenta um mapa com a distribuição atual do *L. fortunei*, os primeiros registros, locais com danos econômicos e registros de exemplares, porém, em populações não consolidadas.



Figura 3.6 - Mapa indicativo das áreas de ocorrência de *Limnoperna fortunei* no Brasil. (Fonte: Mansur, *et al* 2012).

3.2.3 Impactos

A magnitude dos impactos do *Limnoperna fortunei* no ambiente está relacionada com o tamanho populacional e a suscetibilidade do sistema à invasão (HICKS, 2004).

O rápido incremento da densidade populacional de mexilhão dourado provocou um impacto ambiental direto em todas as regiões invadidas por esta espécie. Sabe-se que na bacia do rio da Prata o estabelecimento desta afetou a comunidade bentônica, criando novos habitats, os quais foram colonizados por outros (oligoquetas, hirudíneas, larvas de insetos, entre outros), modificando a composição e a riqueza da comunidade natural (DARRIGRAN *et al.*, 1998).

Talvez um dos piores impactos diretos sobre populações nativas causados pelo *L. fortunei* seja sua incrustação nas valvas de espécies da malacofauna, dificultando a movimentação das valvas e impedindo a respiração e alimentação, levando os organismos parasitados à morte (DARRIGRAN & DAMBORENEA, 2005). Apesar de, no Brasil, o impacto do *L. fortunei* sobre comunidades nativas ainda não ter sido bem estudado, Oliveira (2003) verificou, para o alto do rio Paraguai, que o mexilhão tem sido utilizado como alimento por peixes pertencentes a diferentes famílias. O seu hábito de filtrador faz com que ele acumule alguns metais pesados, organoclorados e toxinas causando uma biomagnificação na cadeia alimentar (DARRIGRAN & COPPOLA, 1994).



Figura 3.7 - Pacu encontrado no Pantanal Matogrossense com o intestino obstruído pela grande quantidade de conchas inteiras de *Limnoperna fortunei*. (Fonte: Simeão, 2011)

A filtração afeta também, atributos físicos da coluna d'água, como fluxo (BOLTOVSKOY *et al.*, 2006), transparência e penetração de luz (SYLVESTER *et al.*, 2005), que conseqüentemente causam impactos nas comunidades biológicas (DARRIGRAN & DAMBORENEA, 2011).

Devido a sua similaridade com o mexilhão zebra, *Dreissena polympha* problemas que esta espécie causa assemelham-se aos descritos para o hemisfério norte (GIORDANI *et al.*, 2005). Desta forma, é possível prever algumas alterações ambientais dos ambientes aquáticos sul-americanos devido à presença de *L. fortunei* conforme Tabela 3.1. Semelhanças na ecologia e biologia destas espécies sugerem que os impactos ambientais provocados por elas são bastante semelhantes. De uma forma geral, a cadeia trófica é bastante alterada (BRUGNOLI & CLEMENTE, 2002).

Tabela 3.1 – Mudanças previstas do ecossistema associadas à presença de *Limnoperna fortunei* inferidas a partir do conhecimento gerado para o mexilhão zebra.

<i>Parâmetros</i>	<i>Mudanças esperadas</i>
Transparência da água	Aumenta
Séston	Diminui
Matéria orgânica	Diminui
Mineralização da matéria orgânica	Aumenta
Fitoplâncton	Diminui em quantidade e em clorofila
Produtividade primária pelo fitoplâncton	Diminui
Bacterioplâncton	Aumenta levemente em número
Macrófitas	Aumenta
Fitoperifito e fitobentos	Aumentam em quantidade, clorofila e produtividade primária.
Zooplâncton	Diminui em quantidade (mudanças estruturais na comunidade)
Zoobentos	Aumenta em quantidade (mudanças na estrutura taxonômica e trófica)
Peixes	Aumento na quantidade de indivíduos de espécies bentófagas

Fonte: LACTEC & GIA, 2005. Modificada de www.wes.army.mil.

Com a capacidade de se incrustar em vários tipos de superfície submersa, o *L. fortunei* está causando graves problemas em sistemas de abastecimento de água, centrais hidrelétricas,

térmicas e nucleares, frigorífico, indústrias processadoras de óleo, fábricas de óleo, fábricas de papel entre outras (DARRIGRAN E DAMBORENEA, 2005).

De acordo com Resende (2007) a aglomeração de *L. fortunei* no interior de tubulações reduz sua área útil para o escoamento de água, aumentando também a rugosidade de sua parede interna, e dessa forma, para manter a mesma vazão dentro da tubulação é necessário um aumento de pressão para compensar essa perda de carga hidráulica originalmente não presente no sistema.

O trabalho realizado por Martinez *et al.* (2012) concluiu que a infestação de instalações elevatórias de água pelo mexilhão dourado representa uma potencial elevação nos custos de bombeamento de água, já que, após o início da infestação os valores do coeficiente de perda de carga se elevam rapidamente provocando uma drástica redução das vazões bombeadas.



Figura 3.8 - Tubulação infestada. (Foto: Corsan 2006)

Substanciais aumentos na força de arrasto sobre as grades de tomadas d'água em Usinas Hidrelétricas pela infestação do *L. fortunei* foram constatados por Diniz, (2010). A autora relata um aumento significativo na força de arrasto nas grades com espaçamento de 50 mm, que variaram de 800% a 3.600% respectivamente para 1 indivíduo/cm² e 3 indivíduos/cm² e entre as barras com espaçamento de 90 mm nota-se que a força de arrasto apresentou um aumento de 280% para infestação de 1 indivíduo/cm² e 700% 3 indivíduos/cm².

A incrustação de mexilhões nas grades de tomadas d'água em Usinas Hidrelétricas provoca uma perda de carga do sistema diminuindo o rendimento da Usina, além disso, provoca um

aumento da força do fluxo de água sobre a grade, podendo ocasionar um rompimento desta. A figura 3.9 apresenta grades incrustadas por *L. fortunei*.



Figura 3.9 - Grade incrustada artificialmente pelo mexilhão dourado, imitando a incrustação que ocorre em campo.

3.2.4 Colonização do mexilhão dourado em diferentes substratos

Os substratos artificiais são ferramentas amplamente utilizadas no monitoramento de macroinvertebrados límnicos e marinhos, especialmente de espécies que se fixam ou formam incrustações sobre superfícies duras (PEREIRA, *et al.*, 2010).

Queiroz *et al.*, (2007), desenvolveram um substrato artificial composto por garrafa pet e folhas de taboa, com base na adaptação do dispositivo proposto por Volkmer-Ribeiro *et al.*, (2004). Com a finalidade de avaliar a colonização de um substrato artificial por macroinvertebrados límnicos, Pereira *et al.*, (2010) utilizaram do substrato acima citado para realizar um levantamento de espécies límnicas em dois pontos no delta do rio Jacuí, em Porto Alegre, Rio Grande do Sul. A espécie encontrada com maior abundância foi o mexilhão dourado em uma concentração de 8.229 indivíduos/m², no posto de coleta 1 localizado no canal do Jacui, e 3.233 indivíduos/m² no posto de coleta 2 no Cais do Porto.

Mansur *et al.*, (2009) avaliaram a colonização em campo do substrato madeira (em forma de X), o tempo de exposição do substrato foi de 3 meses, entre os meses de dezembro de 2005 e março de 2006. O trabalho objetivava analisar se havia diferença na área de incrustação de acordo com a exposição a diferentes profundidades (1, 1,5 e 2 metros) e qual a preferência quanto a posição no substrato. Os resultados mostram que o substrato testado apresentou colonização uniforme em toda a sua superfície e nas diferentes profundidades.

A colonização de um substrato artificial que imita os tanques redes de piscicultura, constatou uma abundância maior de mexilhões dourados, a uma profundidade de 1,5 metros do que a uma profundidade de 0,3 metros (NUNES, 2010).

Chapas em aço carbono ASTM A-36 (80 mm x 100 mm x 20 mm), o mesmo utilizado na fabricação de grades de tomadas d'água das usinas hidrelétrica foram utilizadas por Simeão (2011). Os substratos foram submersos em um período de 11 meses (setembro de 2009 e agosto de 2010) e foi constatado que não houve incrustação nas placas submersas nos meses de junho, julho e agosto ou pelo menos não apresentava mexilhões visíveis a olho nu, possivelmente devido ao pouco tempo de exposição. A quantidade de mexilhões incrustada em cada placa foi de, em média, 114,6 indivíduos (correspondendo a uma densidade populacional de 37.250 indivíduos/m²). As placas foram submetidas a teste de velocidade de arrancamento do mexilhão. As velocidades médias obtidas de soltura variaram entre 0,5 a 1,4 m/s. As maiores velocidades foram utilizadas nas placas submersas por mais tempo.

Um estudo realizado por Asce *et al.*, 2013, investigou o fluxo de turbulência e a velocidade de fricção, em torno de um conjunto de três mexilhões, aderidos a uma chapa de aço, segundo o autor descrever estes processos é um pré-requisito para descrever como os mexilhões são deslocados, em estruturas onde o fluxo de entrada de água é perpendicular às conchas dos mexilhões.

3.2.5 Medidas de Controle

Uma das possibilidades para evitar a incrustação em locais já infestados é o emprego de tintas especiais que dificultam a adesão de *Limnoperna fortunei*, mas essa alternativa tem sua utilização ainda muito restrita e em caráter experimental, uma vez que pode causar danos ao ecossistema aquático (SIMEÃO, 2011).

Na formulação de pinturas anti-incrustantes se empregam biocidas ou repelentes de origem mineral, orgânicas (de baixo impacto ambiental) e naturais (provenientes de vegetais), que devem ser postos em liberdade pela película. A moderna tecnologia incorpora na atualidade os fluopolímeros e as pinturas siliconadas, que atuam alterando as condições superficiais do substrato diminuindo ao mínimo a fixação (DARRIGRAN & DAMBORENEA, 2009).

Caprari & Lecot (2001) concluíram em seus experimentos que tintas a base de óxido cuproso ou óxido de zinco são bastante eficientes, evitando a incrustação de *L. fortunei* a um substrato.

Darrigran *et al.* (2001) verificaram que o biocida comercial Bulab 6002®, polímero de amônio quaternário, mostrou-se eficiente quando em concentração de 1 mg/l, inativando 100% das larvas após exposição por 24 horas através da não secreção do bisco e, quando submetidas à concentração de 16 mg/l, 70-80% das larvas morreram em um tempo menor de exposição. Cataldo *et al.*, (2003) verificaram a eficiência do cloro e de três tipos de moluscicidas comerciais (ClamTrol CT2, H130M e Bayluscide WP70), já empregados no combate de *Dreissena polymorpha*, *Corbicula fluminea* e outros moluscos aquáticos e sobre *L. fortunei*. Todos os produtos químicos utilizados nesse experimento mostraram ser tóxicos para o mexilhão, entretanto com períodos longos de exposição e altas taxas de concentração, podem influenciar drasticamente o ecossistema onde esses produtos sejam empregados.

O cloro vem sendo um dos principais produtos utilizados no combate de *Limnoperna fortunei* bem como para outros moluscos causadores de “macrofoulings”. Entretanto, já foi verificado que a eficiência desta medida está relacionada à temperatura em que o produto é empregado bem como ao tempo de contato do produto com o molusco (HARRINGTON *et al.*, 1997 *apud* SIMEÃO, 2011). Aplicações de 1,0 mg/l de cloro por um período de 31 dias, a uma temperatura de 20°C, em intervalos de 2-3 meses são efetivas para manterem condutos forçados limpos. Entretanto, densas incrustações requerem doses iniciais de aplicações mais altas, por exemplo, 200 mg/l (MORTON *et al.*, 1976 *apud* SIMEÃO, 2011). Nos testes realizados por Cataldo *et al.*, (2003), somente em temperaturas em torno de 25° C e concentrações superiores a 25 mg/l o cloro mostrou-se eficiente no combate ao *Limnoperna fortunei*. Porém, esses autores sugerem que a essa temperatura, o cloro seja efetivo em concentrações mais baixas que as testadas.

Nas instalações das estações de tratamento de água do DMAE (Departamento municipal de Água e Esgotos de Porto Alegre) não foi verificado o biofouling e/ou o desenvolvimento de

Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da UFMG

Limnoperna fortunei, sugerindo que o processo de floculação através do sulfato de alumínio pode funcionar como uma barreira para o desenvolvimento deste molusco (COLARES *et al.*, 2002).

Nos testes de Simeão, (2011) com o emprego do látex de *Euphorbia splendens*, notou-se que a temperatura parece influenciar na toxicidade do látex. A 20°C, o tempo médio para a mortalidade de todos os indivíduos da unidade amostral foi 0,69 vezes menor em relação à 18°C. Na temperatura de 22°C, o tempo mediano até a morte de todos os indivíduos foi metade do tempo mediano na temperatura de 18°C.

3.3 Número de Reynolds e Camada Limite

Devido ao fato dos indivíduos jovens do mexilhão dourado se desenvolverem dentro da região do escoamento far-se-á uma decrição do conceito de camada limite, da determinação da sua espessura e da dimensão necessária para seu desenvolvimento.

Sempre que se submete um fluido à ação de esforços tangenciais, por menores que sejam suas intensidades, as partículas fluidas movimentam-se umas em relação às outras. À mudança da forma do fluido sob a ação destes esforços tangenciais, denominamos escoamento.

Na classificação hidráulica os escoamentos podem ser caracterizados de diversas formas em função de suas características, tais como: laminar, turbulento, unidimensional, bidimensional, rotacional, irrotacional, permanente, transiente, uniforme, variado, livre, forçado, fluvial, torrencial, etc (PORTO, 2006).

Em 1880, Osborne Reynolds, engenheiro britânico, estudou a transição entre os regimes laminar e turbulento num tubo. Ele correlacionou os parâmetros e encontrou um critério pelo qual o regime pode ser classificado, que corresponde ao número de Reynold, razão entre as forças de inércia e as forças viscosas (FOX & MCDONALD, 1998).

A experiência de Reynolds é descrita, conforme a Figura 3.10, com as seguintes características: a água do reservatório (R) passa por um tubo (T) de vidro. Um registro regula a saída do líquido ao mesmo tempo em que se injeta no eixo longitudinal de (T), um tênue filete colorido, proveniente de (V). Aumentando a velocidade do escoamento, através da abertura do registro, o filete permanece estável até certo limite, caso o registro continue sendo

gradualmente aberto, o filete torna-se sinuoso e, depois, difunde-se na água. Fechando gradualmente o registro, a velocidade diminui e o filete volta à forma retilínea.(VIANNA, 2001).

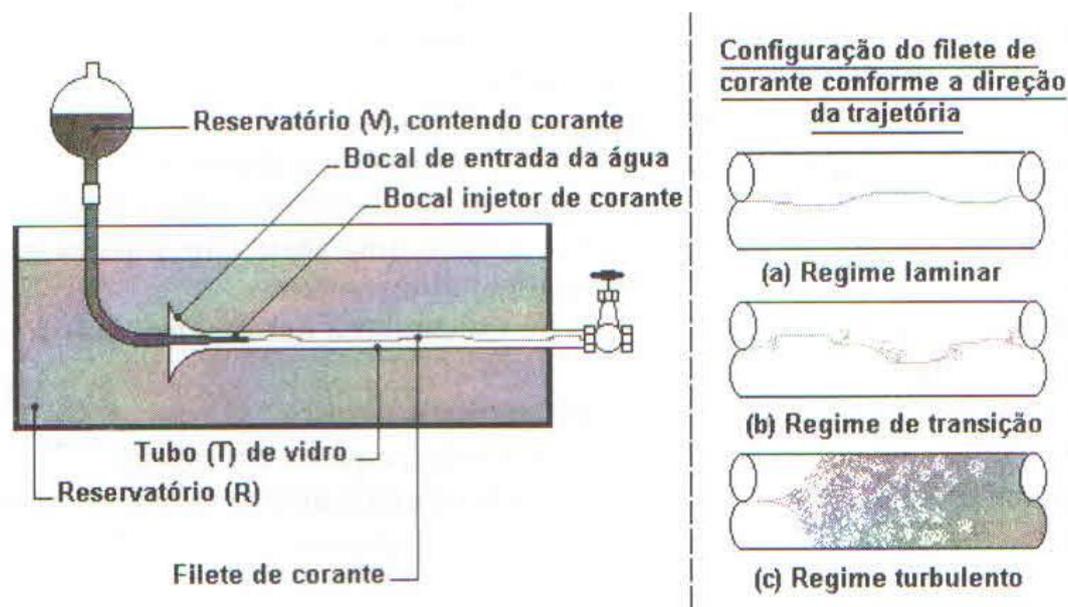


Figura 3.10 - A Experiência de Reynolds (Fonte: Vianna, 2001).

Assim, de uma forma geral, um escoamento é definido como laminar quando as partículas movem-se ao longo de trajetórias bem definidas, em lâminas ou camadas, que se descolam com a mesma velocidade, ou deslizam entre si de forma relativamente ordenada, neste caso não ocorre a mistura do fluido entre as camadas adjacentes.

O regime é dito turbulento quando as partículas do líquido movem-se em trajetórias irregulares, com movimento aleatório, produzindo uma transferência de quantidade de movimento entre regiões da massa líquida. (PORTO, 2006).

A fase intermediária, designada por transição de regime, corresponde a um valor do número de Reynolds dito crítico, acima do qual uma perturbação tem tendência a ser amplificada e a degenerar em turbulência e abaixo do qual tende, pelo contrário, a ser amortecida, preservando-se, assim, a estabilidade característica do regime laminar. (OLIVEIRA & LOPES, 2010).

Com efeito, considerando as indicações de Reynolds, tem-se a equação (1):

$$Re = \rho UL/\mu \quad \text{ou} \quad Re = UL/\nu \quad (\text{Eq. 1})$$

Em que:

Re: Número de Reynolds;

U: Velocidade média do escoamento;

L: Comprimento característico;

ρ : Massa específica;

μ : Viscosidade dinâmica;

ν : Viscosidade cinemática.

Em que o L calcula-se através da seguinte equação 2:

$$L = 4A/P \quad (\text{Eq. 2})$$

A tabela abaixo apresenta os números de Reynolds correspondentes aos regimes de escoamento verificados na experiência acima citada, conforme os escoamentos se deem em condutos livres ou forçados. (BAPTISTA & COELHO, 2010).

Tabela 3.2 – Regime de escoamento e o número de Reynolds

<i>Regime</i>	<i>Condutos Livres</i>	<i>Condutos Forçados</i>
Laminar	Re < 500	Re < 2000
Transição	500 < Re < 1000	2000 < Re < 4000
Turbulento	Re > 1000	Re > 4000

Fonte: Baptista & Coelho, 2010.

A classificação do regime de escoamento, descrita acima, é relacionada aos parâmetros médios de escoamento global dentro de um sistema confinado. Porém, sabe-se que na região da parede a transição do escoamento ocorre em outra condição. O fato é que o efeito da viscosidade faz com que ocorra uma variação do perfil de velocidade, efeitos viscosos, gerando uma região conhecida como camada limite.

Esse conceito foi introduzido por Ludwig Prandtl em 1904. Antes de Prandtl, a Mecânica dos Fluidos evoluiu com resultados teóricos e experimentais que diferiam. Prandtl usou este

conceito para explicar a resistência dos corpos aerodinâmicos, placa plana paralela ao fluxo, etc. O ponto essencial é que os aspectos de fricção do fluxo estão confinados à camada limite (onde o fluxo é rotacional), mas fora da camada limite (neste caso, no núcleo), a viscosidade do fluido é inoperativo, isto é, o fluxo é sem atrito e irrotacional.

As observações experimentais mostram que quando um fluido escoar, paralelamente a uma superfície, as moléculas do fluido em contato com a superfície aderem a esta. A velocidade relativa fluido-placa, na superfície ($y=0$), é zero, $u=0$. As moléculas do fluido aderidas à superfície, em $y=0$, exercem sobre as demais um efeito de frenagem que diminui, à medida que y aumenta até se atingir uma região onde a velocidade do escoamento é uniforme. A região em que a velocidade varia com y , ou seja, onde ocorrem gradientes de velocidade, representa a chamada camada limite. Na região externa à camada limite, $\delta < y < \infty$, u não varia com y .

Apenas na região muito delgada adjacente à fronteira sólida (camada limite) o efeito da viscosidade é importante. Na região fora da camada limite o efeito da viscosidade é desprezível e o fluido pode ser tratado como não-viscoso. Em muitas situações reais, a camada limite desenvolve-se sobre uma superfície sólida plana. Exemplo disso é escoamento sobre cascos de navios e de submarinos, asas de aviões e movimentos atmosféricos sobre terreno plano. Estes casos podem ser ilustrados pelo caso mais simples analisando uma placa plana (FOX & MCDONALD, 1998).

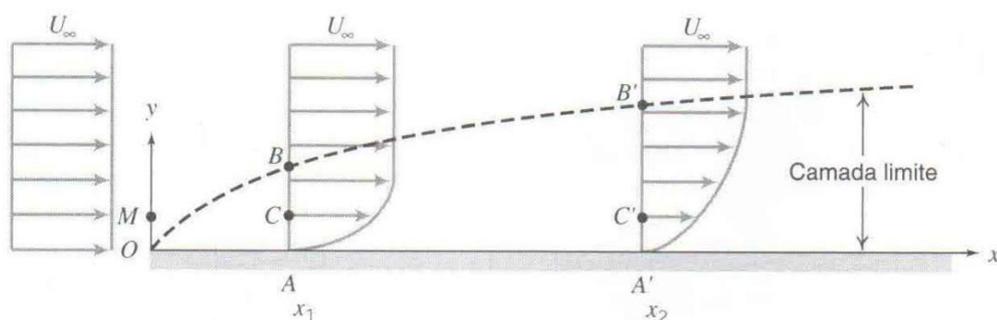


Figura 3.11 - Camada limite e o perfil de velocidade do fluido. (Fonte: Fox & McDonald, 1998)

O escoamento na camada limite é inicialmente laminar, conforme podemos observar na figura 3.12. A transição para escoamento turbulento ocorre a alguma distância do ponto de

estagnação, dependendo das condições da corrente livre, rugosidade da superfície, gradiente de pressão, forças de campo e transferência de calor .

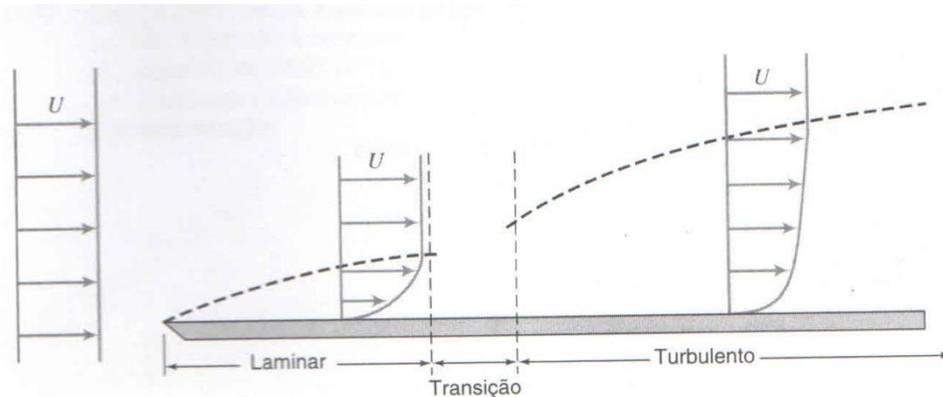


Figura 3.12 - Camada limite sobre uma placa plana (Fonte:Fox & McDonald, 1998).

Uma forma de se verificar se o escoamento na camada limite é laminar ou turbulento é através do número de Reynolds ao longo da superfície.

$$Re_x = \frac{\rho \cdot u_\infty \cdot x}{\mu} \quad (\text{Eq. 3})$$

Onde:

ρ = massa específica do fluido (Kg/m³);

u = velocidade média do escoamento (m/s);

x = é a distância entre o início da superfície e o ponto de interesse (pode ser o comprimento total da placa (L) caso deseje-se as características nessa região);

μ = viscosidade absoluta (Nm⁻²s) .

A maioria dos escoamentos que nos são familiares estão associados a objetos de tamanho moderado com comprimento característico da ordem de 0,01m a 10m. As velocidades ao longo destes escoamentos (água e ar) apresentam ordem de grandeza de 0,01 m/s até 100 m/s. Desta forma o Re deste escoamento está entre $10 < Re < 10^9$ (FOX & MCDONALD, 1998).

Para fins de cálculo, sob condições típicas de escoamento, considera-se que a transição entre os regimes laminar e turbulento geralmente ocorrem a uma distância, em relação a borda da superfície, correspondente ao número de Reynolds de 500.000 (FOX & MCDONALD, 1998).

A espessura de perturbação ou simplesmente espessura, δ , da camada limite é usualmente definida como a distância da superfície ao ponto em que a velocidade é 99% da velocidade da corrente (FOX & MCDONALD, 1998).

À medida que x aumenta (figura 3.11), também aumenta a espessura da camada limite.

$$\delta = y \quad \text{ou} \quad u = 0,99U_{\infty}$$

O decréscimo da vazão em massa devido às forças viscosas é dado por:

$$\int_0^{\infty} \rho(U - u)w dy \quad (\text{Eq. 4})$$

Onde:

ρ = massa específica do fluido (kg/m^3);

U = é a velocidade da corrente [m/s];

u = velocidade média do escoamento (m/s);

w = é a largura da placa (m);

dy = distância (m).

A espessura de deslocamento, δ^* , é a distância pela qual a fronteira sólida teria de ser deslocada, num escoamento sem atrito, para o mesmo déficit de vazão em massa que existe na camada limite.

$$\rho U \delta^* w = \int_0^{\infty} \rho(U - u)w dy \quad (\text{Eq. 5})$$

Para o caso de placa plana existem diferentes soluções para determinar a espessura da camada limite, espessura de deslocamento da camada limite, e os coeficiente relacionados às forças geradas devido a resistência ao escoamento. Dentre eles estão coeficiente de arrasto local e coeficiente de arrasto médio. (FOX & MCDONALD, 1998).

Em 1908 Blasius, discípulo de Prandtl, obtém a solução exata da camada limite numa placa plana (gradiente de pressão nulo) considerando: escoamento em regime laminar ($Re < 5 \times 10^5$ até 1×10^6) permanente, bidimensional e incompressível.

- Espessura da camada limite:

$$\delta = \frac{5x}{\sqrt{Re_x}} \quad (\text{Eq. 6})$$

Onde x = é a distancia entre o inicio da superfície e o ponto de interesse (pode ser o comprimento total da placa (L) caso deseja-se as características nessa região).

- Espessura de deslocamento da cama limite:

$$\delta^* = 1,73 \sqrt{\frac{vx}{U_\infty}} \quad (\text{Eq. 7})$$

Ou

$$\delta^* = \frac{1,73}{\sqrt{Re_x}} \quad (\text{Eq. 8})$$

- Coeficiente de tensão de Cisalhamento (arrasto) ao longo da placa

$$C_f = \frac{0,664}{\sqrt{Re_x}} \quad (\text{Eq. 9})$$

- Coeficiente de tensão de Cisalhamento (arrasto) considerando todo o comprimento da placa

$$Cd = \frac{1,328}{\sqrt{Re_L}} \quad (\text{Eq. 10})$$

No caso do escoamento turbulento temos duas soluções diferentes à primeira levando em conta que a camada limite é plenamente turbulenta, começando da borda de ataque da placa ($x=0$), e a segunda em que a espessura da camada limite é laminar até o ponto em que $Re_c^1 = 5 \times 10^5$ (Numero de Reynolds critico), e então se torna plenamente turbulenta (FOX & MCDONALD, 1998).

¹ – Numero de Reynolds Critico – é o numero de Reynolds que o escoamento assume quando passa de laminar para turbulento.

Para o primeiro caso temos que:

- Espessura da camada limite:

$$\frac{\delta(x)}{x} = 0,381 Re_x^{-1/5} \quad (\text{Eq. 11})$$

- Espessura de deslocamento da cama limite:

$$\delta^*(x) = \frac{\delta(x)}{8} \quad (\text{Eq. 12})$$

- Coeficiente de tensão de Cisalhamento (arrasto) ao longo da placa

$$Cf = 0,0594 Re_x^{-1/5} \quad (\text{Eq. 13})$$

- Coeficiente de tensão de Cisalhamento (arrasto) considerando todo o comprimento da placa

$$Cd = 0,074 Re_L^{-0,2} \quad (\text{Eq. 14})$$

Já no segundo caso temos:

- Espessura da camada limite:

$$\frac{\delta(x)}{x} = 0,381 Re_x^{-1/5} - 10256 Re_x^{-1} \quad (\text{Eq. 15})$$

- Coeficiente de tensão de Cisalhamento (arrasto) ao longo da placa

$$Cf = 0,0592 Re_x^{-0,2} \quad (\text{Eq. 16})$$

- ✓ Coeficiente de tensão de Cisalhamento (arrasto) considerando todo o comprimento da placa

- ✓ $5 \times 10^5 < Re_L < 10^7$

$$Cd = 0,074Re_L^{-0,2} - \frac{1700}{Re_L} \quad (\text{Eq. 17})$$

$$\checkmark 10^7 < Re_L < 10^9$$

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Procedimentos de coleta, criação e manutenção de populações viáveis de mexilhão-dourado.

A manutenção em laboratório de populações em boas condições nutricionais e sanitárias depende de uma série de fatores, começando pela coleta e transporte dos espécimes até o local de estudo (CARNEIRO & URBINATI, 2001).

Os mexilhões utilizados neste trabalho foram coletados em boias da plataforma flutuante do tanque rede e em boias que sustentam o trapiche, no lago da Usina Hidrelétrica de Itaipu Binacional (Rio Paraná), nas proximidades do laboratório de Portinho, localizado no Refúgio Biológico Bela Vista, em Foz do Iguaçu, /PR latitude 25° 26' 48,9" e longitude 54° 32' 58,1" (Figura 4.1). As coletas ocorreram nos dias 12,13 e 14 de novembro de 2012.



Figura 4.1 – Boias da plataforma flutuante do tanque rede utilizada nas coletas. (Fonte: Simeão, 2011)

Os locais de coleta foram selecionados de acordo com a densidade populacional, facilidade de acesso, menor quantidade de sedimentos e macro algas associadas às rosetas conforme o descrito por Montresor *et al*, (2011). Os mexilhões foram coletados manualmente com auxílio de uma espátula fabricada em aço inox e transferidos para sacos plásticos conforme Figura 4.2.



Figura 4.2 – Coleta manual do mexilhão (Fonte: Simeão, 2011)

Os mexilhões coletados foram mantidos em um local sombreado, e no final da coleta lavados em água corrente do próprio reservatório e transportados até o laboratório dentro de caixas térmicas abertas. Os animais coletados foram acondicionados nos aquários para a depuração.

No dia da realização do transporte foi realizada a medição da temperatura para dar-se início ao processo de montagem das caixas para transporte. Foi adicionado gelo de modo que a temperatura caísse 2 graus seguindo os procedimentos operacionais padrão (anexo 1) gradativamente e de forma lenta até atingir 15°C. Após uma hora em temperatura de 15°C os mexilhões foram embalados, em 3 caixas térmicas, contendo gelo gel.

Cada caixa térmica recebeu aproximadamente 4 quilos de animais, que foram acondicionados em sacos plásticos com ar injetado, e montada com uma camada de gelo gel, pano úmido e saco plástico, pano úmido e gelo gel. O pano úmido foi utilizado de modo que o gelo não ficasse em contato direto com os animais, dentro da caixa foi colocado um termômetro que

serviu para se verificar a temperatura no momento da chegada ao laboratório na Universidade Federal de Minas Gérias, UFMG.

Os mexilhões foram então transportados para Belo Horizonte em um tempo inferior a 24 horas e mantidos no Laboratório de Estudos do *Limnoperna fortunei* - Lelf localizado no Centro de Pesquisas Hidráulicas e de Recursos Hídricos – CPH, UFMG.

Para a manutenção dos mexilhões foi utilizado um aquário de 500 litros, com água sem cloro, em constante aeração e com temperatura ambiente variando entre 22° e 31°C e a temperatura da água em torno de 22°C.

O aquário foi abastecido uma vez ao dia com soluções das algas *Selenastrum* sp. Kuetzing, 1845(*Chlorophyceae*, *Selenastraceae*) e *Ankistrodesmus* sp. Corda, 1838 (*Chlorophyceae*, *Selenastraceae*) cultivadas em meio CHU 10 (CHU, 1942).

Dois tipos de cultivos de algas foram desenvolvidos para atender à demanda alimentar dos mexilhões. O primeiro tipo, cultura estoque, foi mantido em meio de cultura estéril e teve a finalidade de manter cepas de espécies de algas isoladas para servir de matrizes para o segundo tipo de cultivo. Este segundo tipo, cultura para alimentação, teve como objetivo promover o crescimento rápido das algas, em volumes maiores de meio de cultura para serem usados diretamente como fonte de alimento para os mexilhões (SIMEÃO, 2011). As algas para alimentação foram mantidas em aquários localizados em ambiente externo sendo que cada aquário recebeu cerca de 2 litros de alga por dia.

4.2 Teste em campo

4.2.1 A câmara de testes

Foi utilizado um aparato constituído por uma caixa de aço, de 14 cm x 7 cm, fabricada com chapa de aço carbono 1020 de 2 mm de espessura, projetado para suportar pressões de até 150 mca. Neste aparato, foi instalada uma peça de acrílico de 20 mm de espessura para visualização interna do experimento (Figura 4.3).



Figura 4.3 – Aparato de teste em campo.(Fonte: Simeão, 2011).

O aparato foi conectado a uma tubulação de PVC de 2 polegadas. Foi instalado um medidor eletromagnético na tubulação de saída do aparato para controle das vazões pré-estabelecidas e dois manômetros com capacidade de 140 mca para verificação da perda de carga causada.

A água utilizada foi recalçada por uma bomba submersa (fabricante SPV Hidrotécnica Brasileira Ltda., com capacidade de 22 cv, Modelo P 60 C -HV-, 45 mca, 53 m³/h), fixa na parte inferior de uma plataforma flutuante a 10 m da margem do rio e conduzida até o local de testes por mangueira de 2 in (50 mm).

4.2.2 O experimento em campo

Os ensaios de velocidade iniciais foram realizados em campo por Simeão, (2011), com 34 placas de aço ASTM-A36, submersas por 5 a 13 meses, no período de setembro/2009 a agosto/2010, contendo mexilhões incrustados. No interior do aparato, as vazões utilizadas durante os testes foram pré estabelecidas a fim de se obter velocidades que variassem de 0,1 m/s a 4 m/s. Cada vazão fixada foi mantida por 5 minutos antes de se obter o próximo valor, e foi aumentada sequencialmente até que todos os mexilhões fossem soltos.

4.3 Teste em laboratório

4.3.1 A câmara de testes

O aparato utilizado é formado por um tubo de acrílico de diâmetro de 1 ½”, ligado a um circuito de bombeamento fechado, composto por uma bomba centrífuga monofásica (da marca Dancor) com capacidade de 1 cv, Modelo CHS-17, de 12 mca e vazão de 14,8 m³/h,

conforme apresentado na Figura 4.4. Foi utilizado um medidor eletromagnético de vazão, instalado na saída da tubulação a fim de medir as vazão que foram pré estabelecidas, para a retirada dos mexilhões soltos durante os ensaios foi instalada um saquinho tela de nylon de malha de 1 milímetro (mm) na saída da canalização.



Figura 4.4 – Aparato de teste em laboratório

4.3.2 O experimento em laboratório

Para a realização do experimento em laboratório foram necessários 3.600 exemplares de mexilhões em bom estado de saúde. A princípio houve uma seleção prévia que consistiu na separação dos organismos que estavam agregados uns aos outros em forma de rosetas, onde foram descartadas as conchas de organismos mortos e encaminhando assim os organismos que aparentemente estavam vivos para uma seleção mais rigorosa, nesta primeira etapa foram selecionados 4.000 indivíduos. Os organismos pré-selecionados foram dispostos em uma bandeja com iluminação por 24 horas, conforme Figura 4.5, para que, fosse observado os parâmetros indicativos de boa saúde como externalização do sifão com concha aberta, resposta a estímulos externos, movimento de pé, produção de bisso e aglomeração (DARRIGRAN & DAMBORENEA, 2006), conforme pode-se observar na Figura 4.6.



Figura 4.5 – Mexilhões pré-selecionados dispostos na bandeja.

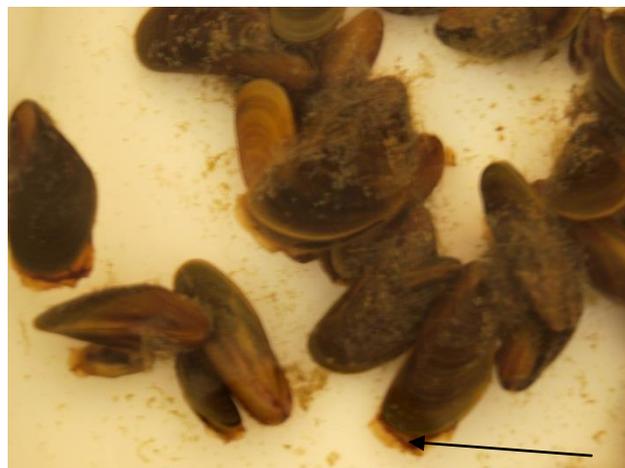


Figura 4.6 – Mexilhões com sifão de fora.

Os mexilhões selecionados nesta segunda etapa foram então dispostos em uma bandeja (Figura 4.7), para então serem encaminhados para a montagem dos substratos. Nesta etapa foram separados os 3.600 indivíduos, número previamente estimado com base no número de amostras necessárias.



Figura 4.7 – Mexilhões selecionados dispostos na bandeja.

Os testes foram realizados a partir de substratos artificiais. Os substratos artificiais são ferramentas amplamente utilizadas no monitoramento de macro invertebrados límnicos e marinhos, especialmente de espécies que se fixam ou formam incrustações sobre superfícies duras. Os substratos artificiais padronizam a amostragem, reduzem a variabilidade e o tempo de processamento de amostras (GIBBONS ET AL., 1993).

Para realização dos testes iniciais em laboratório foram utilizados 30 amostras a partir de vergalhões de aço, sendo que 20 foram de superfície lisa e os outros 10 de superfície rugosa, com 940 mm de comprimento, porém, com 200 mm de área de incrustação, e diâmetro de 4,2 mm. Nas hastes foram inseridos indivíduos que promoveriam incrustações nas densidades de 1, 2, 3, 4, e 5 indivíduos por cm² respectivamente. Também foram incrustadas 30 amostras de madeira com 400 mm de comprimento e as outras dimensões as mesmas das de aço, com 6 amostras para cada densidade a cima citada. A escolha do substrato madeira deve-se ao fato de que em campo nota-se a incrustação do mexilhão dourado em troncos de árvores, pontes de madeiras, etc, já o uso dos vergalhões de aço, deve-se ao fato de que vários componentes de uma usina hidrelétrica são fabricados em aço e ser um material semelhante ao utilizado por Simeão, (2011).

As amostras foram seladas com uma rede de nylon, para que os mexilhões ficassem agrupados nas proximidades das hastes e se fixassem. Estas foram colocadas dentro de um aquário de 500 litros, que possui um sistema de filtros que funciona por membramas

filtrantes. As amostras foram apoiadas no fundo do aquário por um tijolo conforme Figura 4.8. A primeira montagem dos experimentos ocorreu entre os dias 21 e 22 de novembro de 2012.

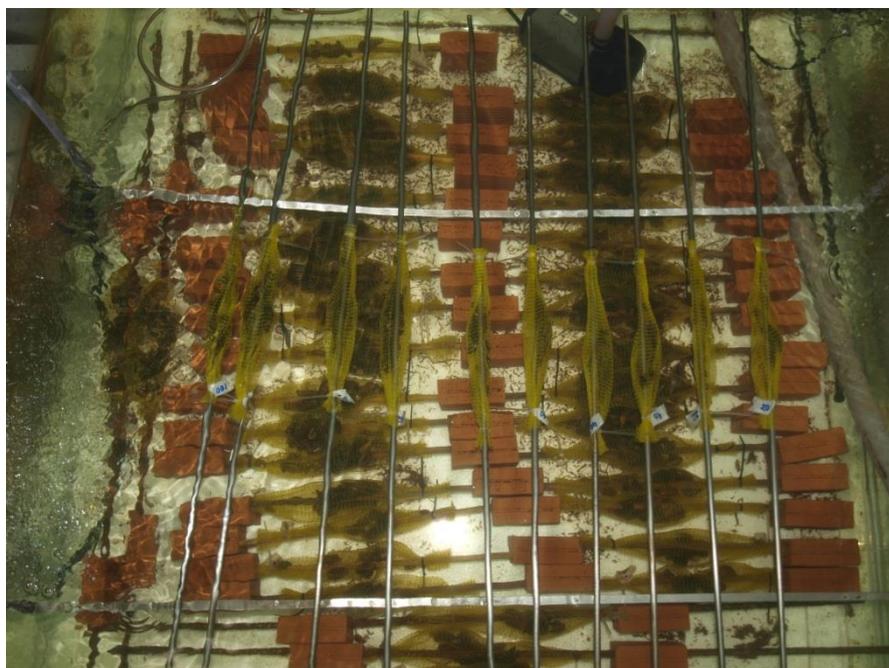


Figura 4.8 – Amostras de aço e madeira no aquário para incrustação.

As amostras inicialmente ficariam dispostas por um período de 90 dias, mas ao completar 45 dias, notou-se que os mexilhões utilizados na tentativa de se incrustar as barras de ferro estavam mortos, e como estes estavam dispostos no mesmo aquário do substrato madeira, foram então retirados do aquário.

No dia 01 de fevereiro de 2013 notou-se que os mexilhões que restaram no aquário incrustados em hastes de madeira também estavam mortos, foi então feita a retirada de todos os substratos do aquário de 500 litros e então realizou-se uma limpeza do aquário. Decidiu-se remontar os experimentos mudando alguns dos procedimentos iniciais.

Para esta nova montagem foram necessários 3.000 mil animais, diante do fato de se escolher um número de amostras menor. A separação dos mexilhões foi realizada de acordo com o procedimento descrito anteriormente nesta nova montagem foram incrustados 30 amostras de madeira com as mesmas dimensões e mesma densidade de incrustação das amostras anteriores, sendo 6 para cada densidade, como pode ser observado na Figura 4.9. Para facilitar a identificação, os substratos foram etiquetados com diferentes cores. Além das amostras de

madeira, foram incrustadas 12 placas de aço de dimensões 31 mm de largura, 100 mm comprimento e 2 mm de espessura ($\text{Área} = S = 0,0031 \text{ m}^2$), como pode ser visto na Figura 4.10, e 12 cordas de sisal de 470 mm de comprimento, como mostra a Figura 4.11, sendo 2 amostras para cada densidade.

A escolha dos substratos aço e madeira já foi justificado acima, já a utilização da corda de sisal deve-se ao fato de em campo a equipe do Lelf ter observado a fixação do mexilhão dourado em superfície de substratos naturais, como plantas aquáticas. A corda de sisal é fabricada a partir da *Agave sisalana*, uma planta cultivada em regiões semi-áridas.

Cada um dos substratos foi incrustado com 20, 40, 60, 80 e 100 indivíduo por substrato. Afim de facilitar a identificação, os substratos contendo 20 indivíduos foram etiquetados com cor azul, os de 40 cor verde, os de 60 cor amarela, os de 80 cor preta e os de 100 cor branca.



Figura 4.9 – Amostras de madeira no aquário para incrustação.



Figura 4.10 – Amostras de aço no aquário para incrustação.



Figura 4.11 – Amostras de corda de sisal no aquário para incrustação.

O período de incrustação das amostras foi de 30 dias. Durante a realização dos testes as amostras foram retiradas da água e transferidas para o local onde o aparato estava montado.

4.3.3 Determinação da velocidade e do número de Reynolds de descolamento do mexilhão dourado

Para a realização dos testes de laboratório, o aparato foi instalado nas dependências da sala 2 do Lelf. Em cada teste o aparato foi aberto para a colocação do substrato contendo mexilhão

em seu interior, de forma centralizada. Após o fechamento do sistema, a bomba do sistema e o medidor eletromagnético eram ligados. A variação das vazões foram obtidas por controle de registros, os quais eram abertos ou fechados de acordo com a necessidade.

As vazões utilizadas durante os testes foram pré-estabelecidas para se obter velocidades que variassem de 0,1 m/s até em torno de 4,5 m/s, pois, segundo Schreiber, (1977), pequenas velocidades, entre 0,1 m/s a 0,4 m/s, ocorrem próximas a pilares e em regiões próximas ao barramento. Velocidades mais elevadas, entre 0,4 m/s e 1,5 m/s, ocorrem em pontos da tomada d' água e nas grades, por exemplo. Já velocidades maiores, entre 1,5 m/s e 4 m/s, ocorrem internamente aos condutos forçados e próximas às turbinas hidráulicas. As velocidades eram elevadas em 0,2 m/s a cada 5 minutos, como indicadas na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Vazões pré-estabelecidas para a realização dos testes de velocidade considerando o aparato vazio

Velocidade Desejada (m/s)	Vazão Desejada (m ³ /s)	Tempo de ensaio (min)
0,1	0,12	5
0,3	0,36	10
0,5	0,6	15
0,7	0,84	20
0,9	1,08	25
1,1	1,32	30
1,3	1,56	35
1,5	1,8	40
1,7	2,04	45
1,9	2,28	50
2,1	2,52	55
2,3	2,76	60
2,5	3	65
2,7	3,24	70
2,9	3,48	75
3,1	3,72	80
3,3	3,96	85
3,5	4,2	90
3,7	4,44	95
3,9	4,68	100
4,1	4,92	105
4,3	5,16	110
4,5	5,40	115

Durante a realização dos testes de velocidade, para cada placa testada, em cada vazão, os mexilhões soltos ao final dos 5 minutos foram coletados através da utilização de um saco de nylon de malha um mm.

Com base nos resultados de velocidade foi então calculado o número de Reynolds, através da seguinte equação.

$$Re = \rho U D_h / \mu \text{ ou } Re = U D_h / \nu \quad (\text{Eq. 18})$$

Em que:

Re: Número de Reynolds;

U: Velocidade média do escoamento;

D_h : Dimensão geométrica característica;

ρ : Massa específica;

μ : Viscosidade dinâmica;

ν : Viscosidade cinemática.

4.3.4 Coleta dos mexilhões soltos durante os testes

Ao abrir cada saco contendo o substrato notou-se que nem todos os indivíduos estavam fixos, assim, retirou-se estes organismos soltos antes do ensaio começar. Após o início aos testes, os indivíduos soltos em cada troca de vazão foram coletados sucessivamente até o final de cada ensaio. Todos os indivíduos de cada substrato, tanto os soltos antes de iniciar os teste quanto os coletado após os testes, foram transferidos, para placas plásticas identificadas, medidos com paquímetro digital Mitutoyo® e separados entre mortos e vivos conforme Figuras 4.12 e 4.13.

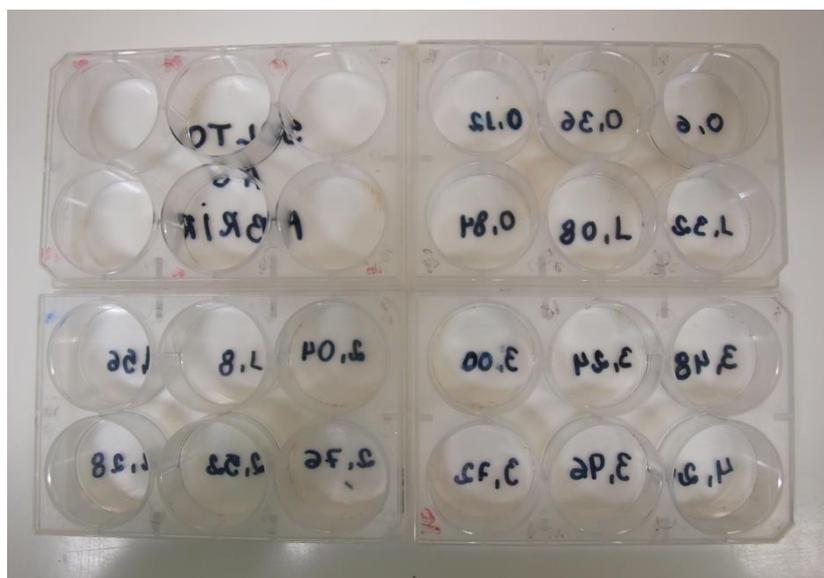


Figura 4.12 – Placas identificadas.



Figura 4.13 – Medição dos mexilhões.

Os organismos classificados como mortos após serem medidos foram descartados e os pré classificados como vivos ficaram acondicionados por meia hora nas placas identificadas contendo água desclorada, como pode ser visto na Figura 4.14, para que fosse avaliada as condições de saúde, Figura 4.15. Alguns destes pré selecionados como vivos foram descartados e o restante voltou aos aquários em sacos identificando-os como já testados. Esse cuidado foi tomado para a necessidade de uso posterior, o que poderia interferir nos resultados.

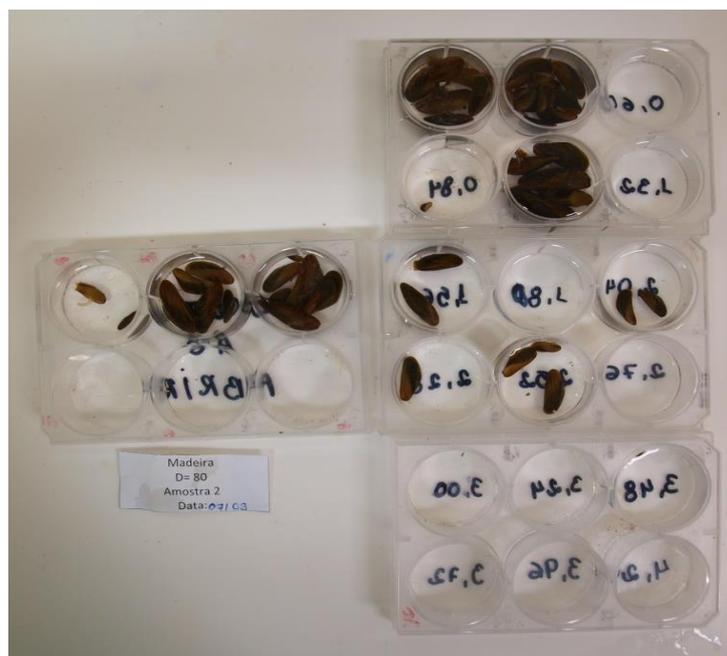


Figura 4.14 – Placas contendo mexilhões pré classificados como vivos



Figura 4.15 – Mexilhão em bom estado de saúde após o teste.

4.3.5 Desinfecção do aparato

Após os testes o aparato foi retirado do Lelf, e para sua retirada foi necessário realizar uma desinfecção total tanto do aparato quanto de qualquer ferramenta que tenha sido utilizada durante os testes, para que não fosse levada nenhuma contaminação para o ambiente externo.

Para a desinfecção do aparato foi utilizada a solução de Pedilúvio que consiste na mistura de amônia quaternária e água, em proporção de 1g/L, conforme procedimentos de laboratório (ANEXO 2), já a desinfecção das outras ferramentas foi utilizado álcool 70%.

4.4 Análise dos dados

Para identificar a influência do comprimento do mexilhão e do tempo de submersão de cada placa sobre o nº de Reynolds para os dados de campo e para identificar a influência do comprimento do mexilhão e dos meios (Aço, Madeira e Corda) sobre o número de Reynolds para os dados de laboratório foi utilizada a Regressão Gama (DOBSON, 1990) e (McCULLAGH P. and NELDER 1989) considerando uma função de ligação identidade.

Para modelar a prevalência de morte dos mexilhões e a prevalência de mexilhões que se soltaram ao abrir em função do comprimento, altura e substratos (Aço, Madeira e Corda), foi utilizada Regressão Logística (AGRESTI 2002).

Para estimar a velocidade e o tempo até o mexilhão se soltar da placa, foi utilizado o estimador Kaplan-Meier, sendo que para comparar as curvas de sobrevivência estimadas pelo Kaplan-Meier entre os fatores comprimento, altura e substratos (Aço, Madeira e Corda), foi usado o teste de Logrank.

Para verificar a influência em conjunto do comprimento, altura e meios (Aço, Madeira e Corda) sobre a velocidade e o tempo até o mexilhão se soltar da placa, foi utilizado à regressão de Cox, após verificar o não ajuste dos modelos paramétricos de Weibull, Exponencial e Log-Normal aos dados pelo teste da Razão da Verossimilhança. Para a adequação do modelo de Cox foi realizado o teste para suposição dos riscos proporcionais (COLOSIMO & GIOLO 2006). O nível de significância adotado no trabalho foi de 5%. O software utilizado na análise foi o R versão 2.15.2.

5 RESULTADOS

5.1 *Dados de campo*

5.1.1 *Análise do Número de Reynolds*

Com base nos resultados para os testes de velocidade obtidos por Simeão, (2011) a partir de ensaios com 34 placas de aço ASTM-A36, submersas por 5 a 13 meses, no período de setembro/2009 a agosto/2010, obteve-se a variável Número (n°) de Reynolds.

Foi modelada a influência do comprimento do mexilhão e do tempo de submersão de cada placa sobre o n° de Reynolds. Assim realizou-se primeiramente uma análise descritiva das variáveis, conforme tabela 5.1 e Figura 5.1.

Tabela 5.1 – Medidas descritivas das variáveis N° de Reynolds, Tempo Submerso e Comprimento (mm).

Variáveis	N	Média	D.P.	Mín.	1ºQ	2ºQ	3ºQ	Máx.
Nº de Reynolds	1115	8694,46	7270,29	535,21	3287,86	6595,14	11455,00	38001,12
Tempo Submerso (meses)	1115	10,11	2,05	7,00	8,00	11,00	12,00	13,00
Comprimento (mm)	1115	11,60	5,69	2,36	6,92	10,40	16,21	26,45

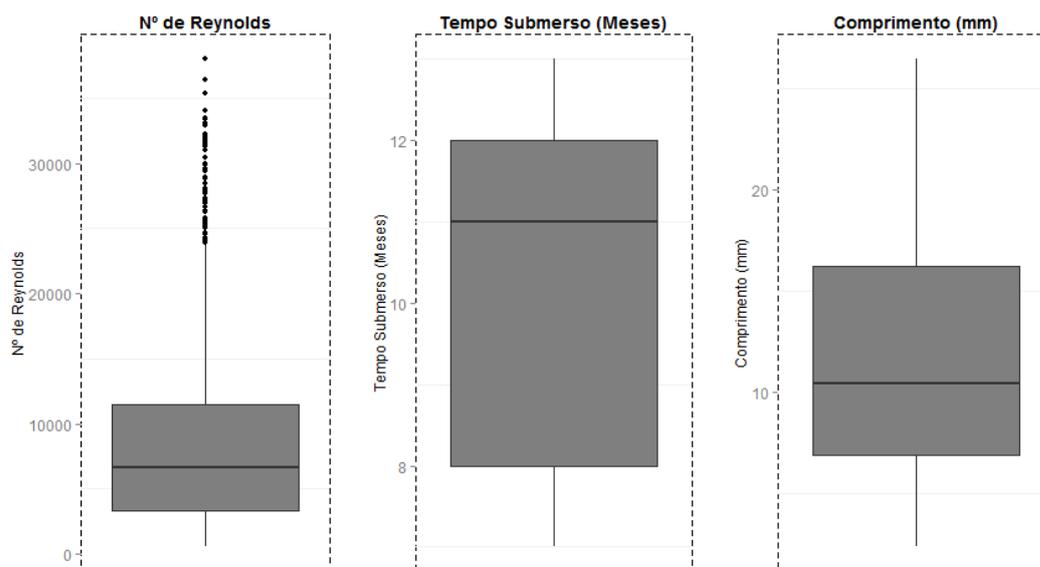


Figura 5.1 - Box-plot das variáveis Nº de Reynolds, Tempo Submerso e Comprimento (mm).

Analisando os resultados acima, pode-se ver que o nº de Reynolds médio foi de “8.694,46”, com um desvio-padrão de “7.270,29” onde o valor mínimo apresentado foi de “535,21” e máximo de “38.001,12”. As placas ficaram submersas em média 10,11 meses, em que pelo menos 75% delas ficaram submersas por até 12 meses. O comprimento médio do mexilhão foi de 11,60 mm, com desvio-padrão de 5,69 mm.

Para verificar a influência do comprimento do mexilhão e do tempo de submersão de cada placa sobre o nº de Reynolds foi realizada uma regressão Gama. Na tabela 5.2 se pode verificar o ajuste do modelo, em que se pode concluir que, controlando pela variável Tempo Submerso, se pode afirmar que para cada mês a mais que a placa fica submersa aumenta em média 134,42 (63,9 - 204,94) o nº de Reynolds. Controlando pela variável Comprimento (mm), se pode afirmar que para cada aumento de 1 mm no comprimento do mexilhão, espera-se um aumento médio de 816,95 (774,52 - 859,38) no nº de Reynolds.

Tabela 5.2 - Regressão Gama para o nº de Reynolds a partir das variáveis Tempo Submerso e Comprimento (mm).

Regressão Gama	β	E.P.(β)	P-Valor	I.C. 95%
Intercepto	-2328,03	355,1	< 0,001	-
Tempo Submerso	134,42	35,98	< 0,001	[63,9 - 204,94]
Comprimento (mm)	816,95	21,65	< 0,001	[774,52 - 859,38]

5.2 Dados de Laboratório

5.2.1 Influência do comprimento, altura, densidade da amostra e substratos na não incrustação dos mexilhões

Com o objetivo de modelar a prevalência de mexilhões que não se fixaram aos substratos e se soltaram ao abrir o saquinho de nylon que os protegia, em função do comprimento, altura, densidade e substratos (Aço, Madeira e Corda), primeiramente se realizou uma análise descritivas das variáveis, conforme tabela 5.3 e figura 5.2.

Tabela 5.3 - Medidas descritivas das variáveis Altura (mm), Comprimento (mm) e Densidade (indivíduos) pela variável Solto ao abrir.

Variável	Solto ao abrir	N	Média	E.P.	1ºQ	2ºQ	3ºQ
Comprimento (mm)	Não	1437	18,83	0,16	14,20	18,91	23,03
	Sim	1563	20,01	0,16	15,13	20,30	24,80
Altura (mm)	Não	1437	8,65	0,07	6,79	8,71	10,42
	Sim	1563	9,22	0,07	7,23	9,31	11,17
Densidade da Amostra	Não	1437	71,32	0,67	60	80	100
	Sim	1563	84,57	0,78	60	80	100

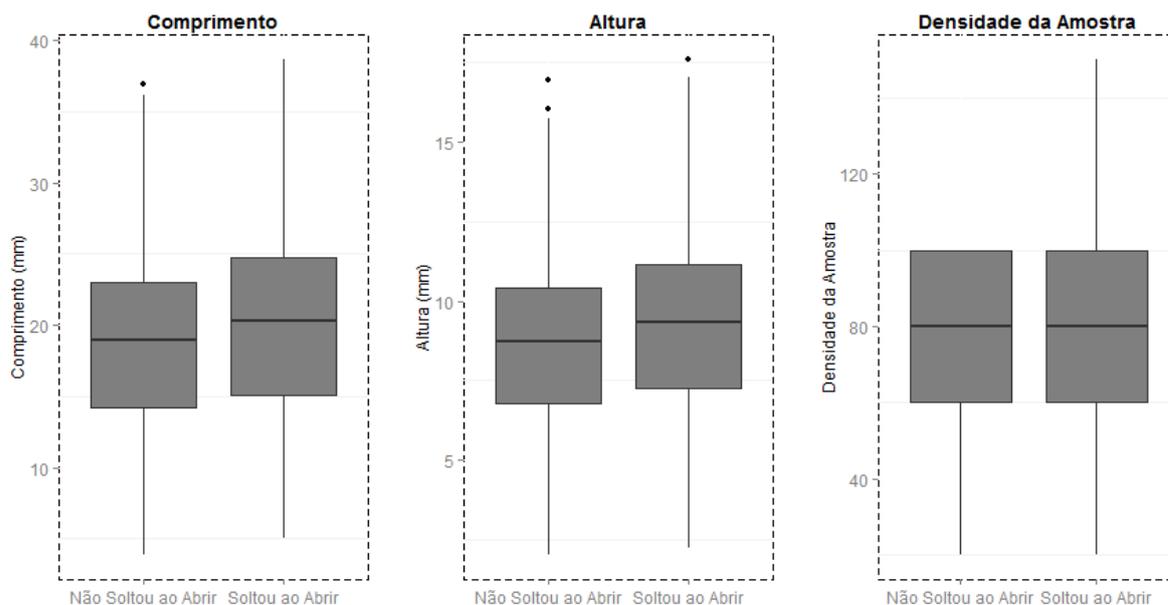


Figura 5.2 - Box-plot das variáveis Altura (mm), Comprimento (mm) e Densidade (indivíduos) pela variável Solto ao abrir.

O comprimento médio dos mexilhões do grupo que não se soltou ao abrir foi de 18,83 mm enquanto para o grupo que se soltou foi de 20,01 mm. A altura média dos mexilhões do grupo que não se soltou ao abrir foi de 8,65 mm enquanto para o grupo que se soltou foi de 9,22 mm. A densidade média das amostras do grupo que não se soltou ao abrir foi de 71,32 indivíduos para a placa de 100 mm x 31 mm (23.330 ind/m²) enquanto para o grupo que se soltou foi de 84,57 para a placa de 100 mm x 31 mm (27.280 ind/m²).

Na tabela 5.4 e figura 5.3 pode-se verificar que, no substrato, Madeira, a prevalência de mexilhões que se soltaram ao abrir foi de 30,7%, enquanto para os substratos, Aço e Corda, a prevalência de mexilhões que se soltaram ao abrir foi de 78,5% e 86,0% respectivamente.

Tabela 5.4 - Tabela de contingência da variável Substrato pela variável Solto ao abrir.

Substrato	Solto ao abrir				Total	Total
	Não		Sim			
Aço	115	21,5%	421	78,5%	536	100,0%
Corda	98	14,0%	601	86,0%	699	100,0%
Madeira	1224	69,3%	541	30,7%	1765	100,0%
Total	1437	47,9%	1563	52,1%	3000	100,0%

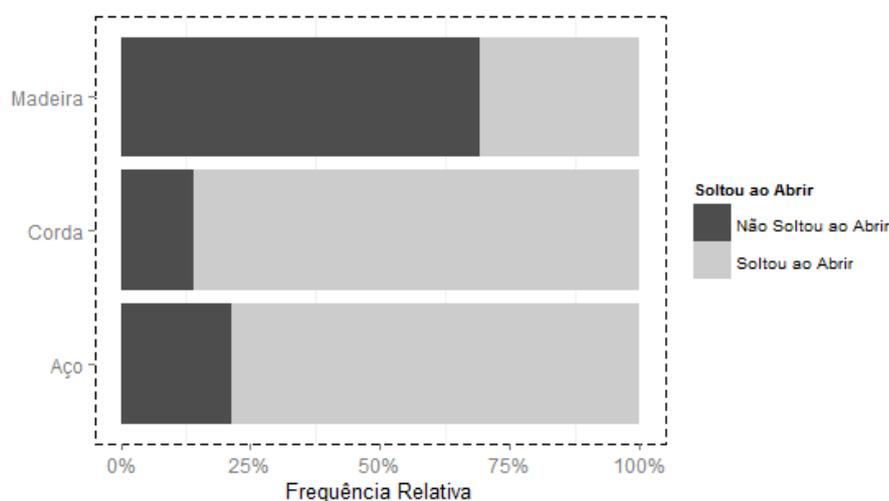


Figura 5.3 - Gráfico de barras da variável substrato pela variável Soltou ao abrir.

Para verificar a influência do comprimento, altura, densidade da amostra e substrato sobre os mexilhões que não se incrustaram e soltaram ao abrir o saquinho, foi ajustado um modelo com as variáveis Comprimento e Substratos. Dessa forma, pode-se verificar na tabela 5.5 os resultados do modelo final.

Tabela 5.5 - Modelo multivariado para a variável Soltou ao Abrir a partir das variáveis Substrato, Altura(mm), Comprimento (mm) e Densidade da amostra.

Modelo Multivariado	Beta	D.P.	P-Valor	O.R.	I.C. 95%
Intercepto	-0,52	0,21	0,014		
Altura (mm)	-0,03	0,05	0,537	0,97	[0,88 - 1,07]
Comprimento (mm)	0,06	0,02	0,008	1,06	[1,01 - 1,10]
Substrato = Corda	0,30	0,16	0,051	1,35	[1,00 - 1,84]
Substrato = Madeira	-2,23	0,12	< 0,001	0,11	[0,08 - 0,14]
Densidade da Amostra (10 unidades)	0,144	0,017	< 0,001	1,16	[1,12 - 1,19]

Devido à multicolinearidade com o comprimento, a variável altura não foi significativa para explicar se os mexilhões estavam soltos ao abrir. Controlando pela altura, densidade da amostra e substratos, a cada milímetro de aumento no comprimento do mexilhão, a chance de ele ser solto ao abrir aumenta em 1,06 (1,01 - 1,10) vezes.

Controlando pela altura, densidade da amostra e comprimento, a chance de mexilhões no substrato madeira serem soltos ao abrir foi de 0,11 (0,08 - 0,14) vezes a chance no substrato aço.

Controlando pela altura, comprimento e substratos, a cada 10 unidades de aumento na densidade da amostra, a chance de ele ser solto ao abrir aumenta em 1,16 (1,12 - 1,19) vezes.

Retirando do modelo a variável altura, verifica-se abaixo na tabela 5.6 o modelo final, em que se pode concluir que: controlando pelos substratos e densidade da amostra, a cada milímetro de aumento no comprimento do mexilhão, a chance de ele ser solto ao abrir aumenta em 1,05 (1,03 - 1,06) vezes. Controlando pelo comprimento e densidade da amostra, a chance de mexilhões no substrato corda serem soltos ao abrir foi de 1,35 (1,00 - 1,83) vezes a chance de mexilhões no substrato aço. Enquanto para mexilhões no substrato madeira serem soltos ao abrir foi de 0,11 (0,09 - 0,14) vezes a chance de mexilhões no substrato aço. Controlando pelo comprimento e substratos, a cada 10 unidades de aumento na densidade da amostra, a chance de ele ser solto ao abrir diminui em 1,15 (1,12 - 1,19) vezes.

Tabela 5.6 - Modelo multivariado para a variável Solto ao abrir a partir das variáveis Substrato e Comprimento (mm).

Modelo Multivariado	Beta	D.P.	P-Valor	O.R.	I.C. 95%
Intercepto	-0,55	0,20	0,007		
Comprimento (mm)	0,04	0,01	< 0,001	1,05	[1,03 - 1,06]
Substrato = Corda	0,30	0,16	0,053	1,35	[1,00 - 1,83]
Substrato = Madeira	-2,23	0,12	< 0,001	0,11	[0,09 - 0,14]
Densidade da Amostra (10 unidades)	0,143	0,017	< 0,001	1,15	[1,12 - 1,19]

5.2.2 Prevalência de morte em função do comprimento, altura, densidade da amostra e substrato (Aço, Madeira e Corda)

Com o objetivo de modelar a prevalência de morte em função do comprimento, altura, densidade da amostra e substratos (Aço, Madeira e Corda), foi realizada primeiramente uma análise descritivas das variáveis. Na tabela 5.7 foram apresentadas algumas das medidas descritivas para as variáveis quantitativas estratificadas pela resposta (Morto ou Vivo).

Tabela 5.7 - Medidas descritivas das variáveis Altura (mm) e Comprimento (mm) pela variável resposta (Vivo / Morto).

Variável	Morto / Vivo	N	Média	E.P.	1ºQ	2ºQ	3ºQ
Comprimento (mm)	Morto	906	21,80	0,20	17,19	22,11	26,45
	Vivo	1906	18,34	0,14	13,73	18,39	22,51
Altura (mm)	Morto	906	9,86	0,09	7,96	9,91	11,85
	Vivo	1906	8,51	0,06	6,60	8,60	10,31
Densidade da Amostra	Não	906	78,951	1,039	60	80	100
	Sim	1906	77,319	0,669	60	80	100

Na figura 5.4 estão representados os box-plots para as duas variáveis descritas acima.

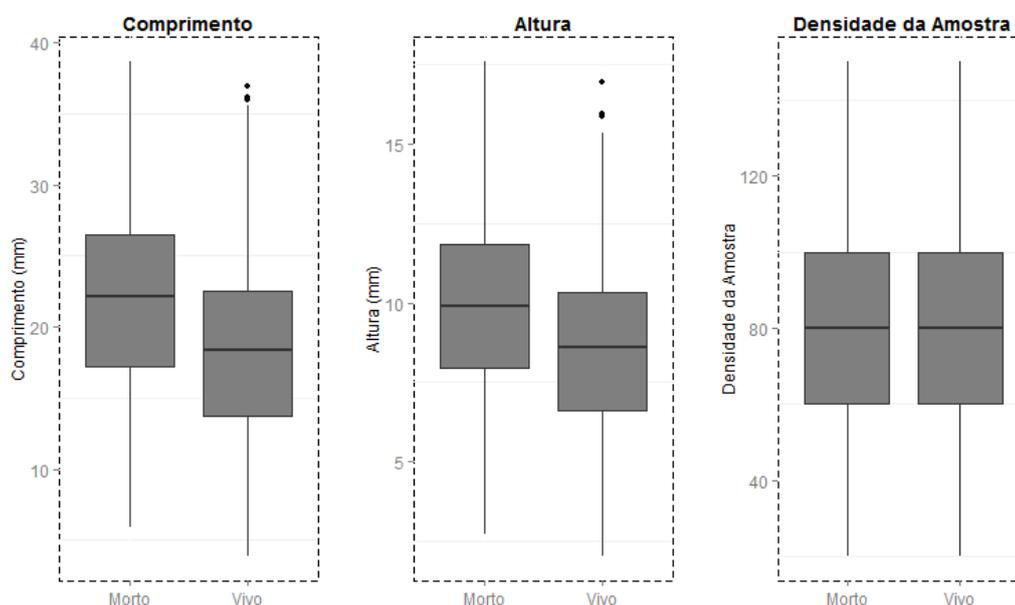


Figura 5.4 - Box-plot das variáveis Altura (mm), Comprimento (mm) e Densidade da amostra (indivíduos) pela variável resposta (Vivo / Morto).

Analisando a tabela e os gráficos percebe-se que o comprimento médio dos mexilhões do grupo morto foi de 21,80 mm, enquanto para o grupo vivo foi de 18,34 mm e altura média dos mexilhões do grupo morto foi de 9,86 mm, enquanto para o grupo vivo foi de 8,51 mm. Isto nos mostra que um mexilhão maior tem uma probabilidade maior de morrer, e que essa pode ser uma variável significativa. A densidade média das amostras do grupo morto foi de 78,95

indivíduos para a placa de 100 mm x 31 mm (25.470 ind/m²), enquanto para o grupo vivo foi de 77,31 indivíduos para a placa de 100 mm x 31 mm (24.940 ind/m²).

Na tabela 5.8 são apresentadas algumas das medidas descritivas para a variável qualitativa estratificada pela resposta (Morto ou Vivo).

Tabela 5.8 - Tabela de contingência da variável substrato pela variável resposta (Vivo/Morto).

Substrato	Morto / Vivo				Total	
	Morto		Vivo			
Aço	279	60,5%	182	39,5%	461	100,0%
Corda	192	27,5%	507	72,5%	699	100,0%
Madeira	435	26,3%	1217	73,7%	1652	100,0%
Total	906	32,2%	1906	67,8%	2812	100,0%

Na figura de 5.5 segue as informações contidas na tabela acima.

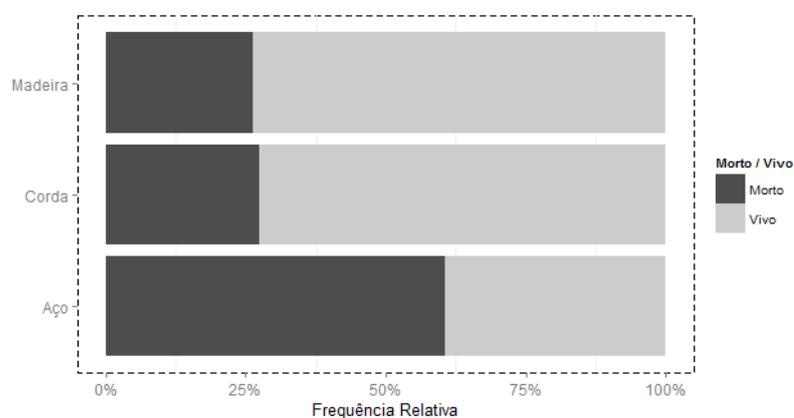


Figura 5.5 - Variável substrato pela variável resposta (Vivo / Morto).

No substrato, Aço, a prevalência de mexilhões mortos foi de 60,5%, enquanto para os substratos, Corda e Madeira a prevalência de mexilhões mortos foi de 27,5% e 26,3% respectivamente. O número maior de mortos no meio aço pode ser em função da corrosão do material, que liberava uma grande quantidade de material em suspensão que pode ter sido filtrado pelos mexilhões. Já os meios corda e madeira não sofrem essa influência.

A fim de verificar a prevalência de morte em função do comprimento, altura, densidade da amostra e substrato (Aço, Madeira e Corda) foi ajustado um modelo completo com as quatro variáveis explicativas que resultou na tabela 5.9.

Tabela 5.9 - Modelo multivariado para a variável Vivo/Morto a partir das variáveis Substratos, Altura(mm) e Comprimento (mm).

Modelo Multivariado	Beta	D.P.	P-Valor	O.R.	I.C. 95%
Intercepto	1,71	0,21	< 0,001		
Altura (mm)	0,06	0,05	0,227	1,06	[0,96 - 1,17]
Comprimento (mm)	-0,13	0,02	< 0,001	0,88	[0,84 - 0,91]
Substrato = Corda	1,75	0,14	< 0,001	5,73	[4,35 - 7,55]
Substrato = Madeira	1,72	0,12	< 0,001	5,60	[4,43 - 7,09]
Densidade da Amostra (10 unidades)	-0,035	0,015	0,023	0,97	[0,94 - 1,00]

Devido à multicolinearidade, analisando a tabela vemos, que com o comprimento, a variável altura não foi significativa para explicar a prevalência de morte. Controlando pela altura, densidade da amostra e substratos, a cada milímetro de aumento no comprimento do mexilhão, a chance de ele ser vivo diminui em 0,88 (0,84 - 0,91) vezes.

Controlando pela altura, densidade da amostra e comprimento, a chance de mexilhões no substrato corda serem vivos foi de 5,73 (4,35 - 7,55) vezes a chance no meio aço. Controlando pela altura, comprimento e substratos, a cada 10 unidades de aumento na densidade da amostra, a chance de ele ser vivo diminui em 0,97 (0,94 - 1,00) vezes.

Retirando do modelo a variável altura, que não foi significativa verifica-se na tabela 10 o modelo final, em que se pode concluir que:

Tabela 5.10 - Modelo multivariado para a variável Vivo/Morto a partir das variáveis Substrato, Densidade da amostra e Comprimento (mm).

Modelo Multivariado	Beta	D.P.	P-Valor	O.R.	I.C. 95%
Intercepto	1,71	0,21	< 0,001		
Comprimento (mm)	-0,13	0,02	< 0,001	0,90	[0,88 - 0,91]
Substrato = Corda	1,75	0,14	< 0,001	5,76	[4,37 - 7,58]
Substrato = Madeira	1,72	0,12	< 0,001	5,55	[4,39 - 7,02]
Densidade da Amostra (10 unidades)	-0,035	0,015	0,023	0,97	[0,94 - 1,00]

Controlando pelos meios e densidade da amostra, a cada milímetro de aumento no comprimento do mexilhão, a chance de ele ser vivo diminui em 0,90 (0,88 - 0,91) vezes.

Controlando pelo comprimento e densidade da amostra, a chance de mexilhões no meio corda serem vivos foi de 5,76 (4,37 - 7,58) vezes a chance de mexilhões no meio aço. Enquanto para mexilhões no meio madeira serem vivos foi de 5,55 (4,39 - 7,02) vezes a chance de mexilhões no meio aço.

Controlando pelo comprimento e meios, a cada 10 unidades de aumento na densidade da amostra, a chance de ele ser vivo diminui em 0,97 (0,94 - 1,00) vezes.

5.2.3 Velocidade de descolamento dos mexilhões em função do comprimento, altura, densidade das amostras e substratos dados de laboratório

As análises descritivas da velocidade de descolamento são apresentadas em forma de gráficos em função de sobrevivência através do estimador de Kaplan-Meier.

A figura 5.6 representa a função de sobrevivência que modela a velocidade até o mexilhão se soltar de acordo com o substrato (Aço, Corda e Madeira).

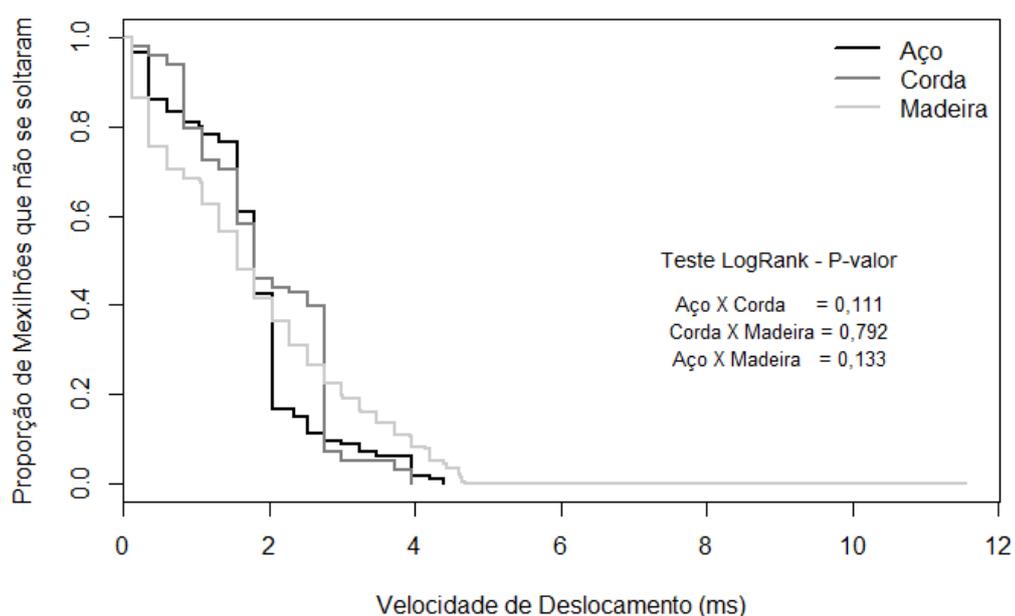


Figura 5.6 - Gráfico de Kaplan-Meier para os tipos de meios

Analisando o gráfico pode-se perceber que através de uma interpolação linear foi obtida a velocidade mediana que apresentou valores de 1,70, 1,72 e 1,50 para os meios Aço, Corda e Madeira respectivamente. Ou seja, para o meio aço, 50% dos mexilhões permaneceram presos a uma velocidade de 1,70 m/s, para o meio corda, 50% dos mexilhões permaneceram presos a uma velocidade de 1,72 m/s e no meio madeira 50% dos mexilhões permaneceram presos a uma velocidade de 1,50 m/s. Nota-se que as maiores velocidades encontradas ocorreram na madeira 4,5 m/s, seguido de 4,3 m/s para o meio corda e 4,1 para o meio aço carbono, já as velocidades mínimas foram iguais a 0,1 m/s em todos os substratos.

Através do teste LogRank, observou-se que nenhum dos três grupos apresentaram diferenças significativas entre si (P-valor > 0,05), portanto, para esta análise podemos dizer que o meio não influenciou de forma significativa.

A figura 5.7 representa a função de sobrevivência que modela a velocidade até o mexilhão se soltarem de acordo com o comprimento. Para esta análise dividimos os mexilhões em três grupos. O primeiro grupo, Baixo Comprimento, foi formado pelos comprimentos abaixo do 1º quartil, o segundo grupo, Médio Comprimento, foi formado pelos comprimentos acima do 1º quartil e abaixo do 3º quartil e finalmente, o terceiro grupo, Alto Comprimento, foi formado pelos comprimentos acima do 3º quartil, conforme tabela 5.11.

Tabela 5.11 - Classificação dos Grupos de acordo com o Comprimento e Altura.

Variável	Solto ao abrir	N	Média	E.P.	1ºQ	2ºQ	3ºQ
Comprimento (mm)	Não	1437	18,83	0,16	14,20	18,91	23,03
	Sim	1563	20,01	0,16	15,13	20,30	24,80
Altura (mm)	Não	1437	8,65	0,07	6,79	8,71	10,42
	Sim	1562	9,22	0,07	7,23	9,31	11,17

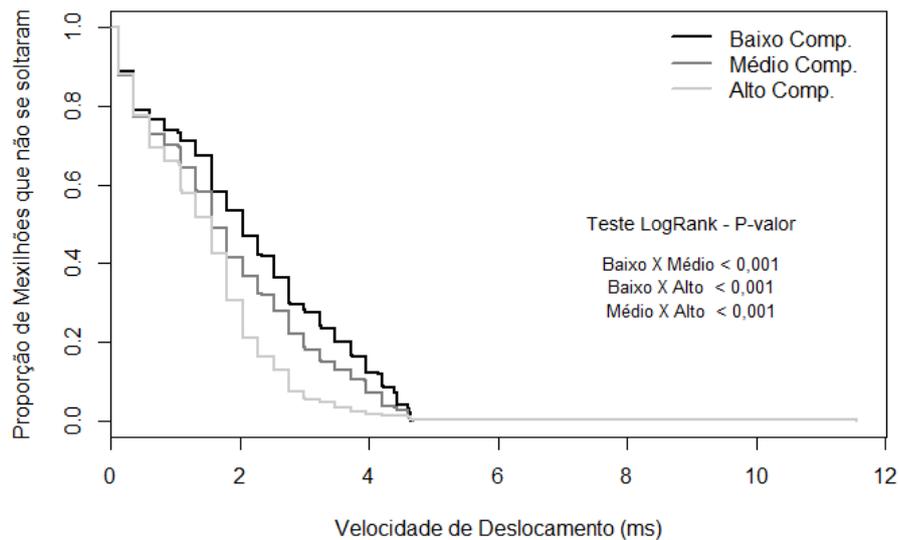


Figura 5.7 - Gráfico de Kaplan-Meier para grupos de comprimento.

Através de uma interpolação linear foi obtida a velocidade mediana para cada um dos grupos que apresentou valores de 1,93, 1,53 e 1,36 para os comprimentos Baixo, Médio e Alto respectivamente. Ou seja, para os mexilhões categorizados como Baixo comprimento, 50% deles permaneceram presos a uma velocidade de 1,93 m/s, enquanto para os categorizados como Alto, 50% deles permaneceram presos a uma velocidade de 1,36 m/s.

Através do teste LogRank, foram encontradas evidências de diferença significativas entre os grupos de comprimento dos mexilhões, onde pode-se afirmar que quanto maior comprimento do mexilhão menor velocidade foi necessária para o mexilhão se soltar.

A figura 5.8 representa a função de sobrevivência que modela a velocidade até o mexilhão se soltar de acordo com a altura, que, da mesma forma do comprimento, foi dividida em três grupos.

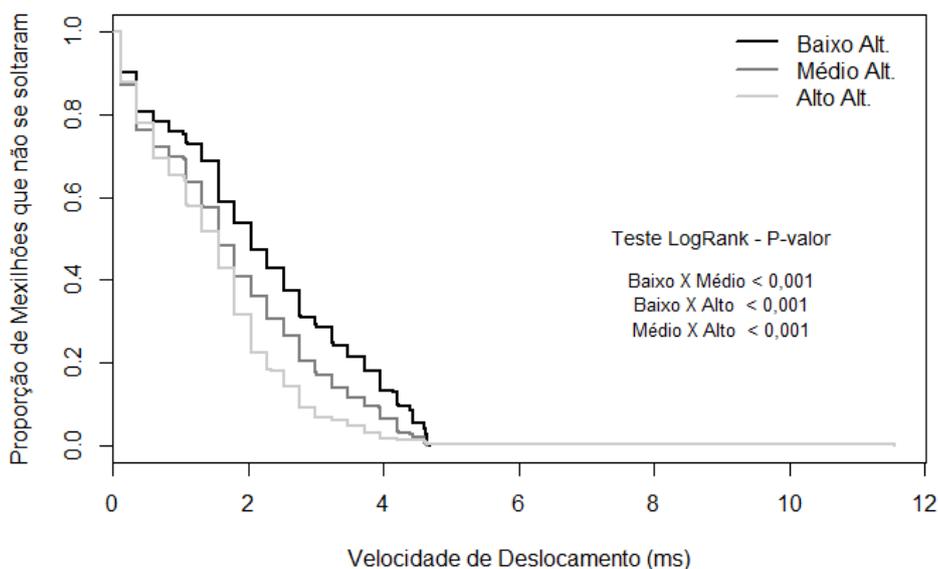


Figura 5.8 - Gráfico de Kaplan-Meier para grupos de altura.

Através de uma interpolação linear foi obtida a velocidade mediana para cada um dos grupos e apresentou valores de 1,94, 1,52 e 1,37 para as alturas Baixo, Médio e Alto respectivamente. Ou seja, para os mexilhões categorizados como Baixo Altura, 50% deles permaneceram presos a uma velocidade de 1,94 m/s, enquanto para os categorizados como Alto, 50% deles permaneceram presos a uma velocidade de 1,37 m/s.

Da mesma forma dos dados de comprimento realizou-se o teste LogRank e através dele, foram encontradas evidências de diferença significativas entre os grupos de altura dos mexilhões, onde pode-se afirmar que quanto maior a altura do mexilhão menor velocidade foi necessária para o mexilhão se soltar.

A figura 5.9 representa a função de sobrevivência que modela a velocidade até o mexilhão se soltar de acordo com a densidade da amostra, que, da mesma forma do comprimento, foi dividida em três grupos, conforme tabela 5.12.

Tabela 5.12 - Classificação dos Grupos de acordo com a densidade.

Variável	Solto ao abrir	N	Média	E.P.	1°Q	2°Q	3°Q
Densidade da Amostra	Não	1437	71,32	0,67	60	80	100
	Sim	1563	84,57	0,78	60	80	100

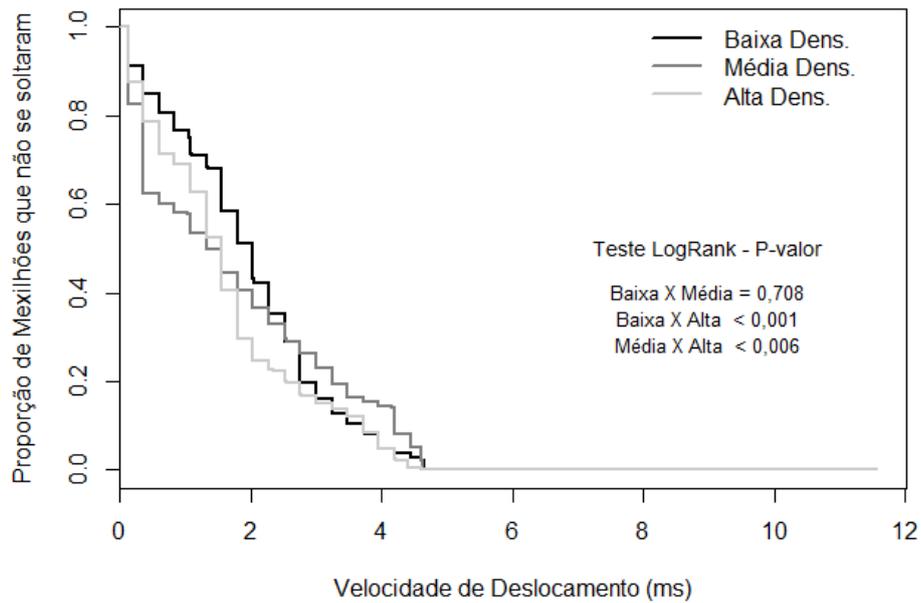


Figura 5.9 - Gráfico de Kaplan-Meier para grupos de Densidade da Amostra.

Através de uma interpolação linear foi obtido a velocidade mediana para cada um dos grupos e apresentou valores de 1,83, 1,31 e 1,36 para as Densidades Baixa, Média e Alta respectivamente. Ou seja, para os mexilhões categorizados como Baixa Densidade da Amostra, 50% deles permaneceram presos a uma velocidade de 1,83 m/s, enquanto para os categorizados como Alta, 50% deles permaneceram presos a uma velocidade de 1,36 m/s. Através do teste LogRank, foram encontradas evidências de diferença significativas entre o grupo de densidade de amostra alta com os outros grupos.

Após verificar a função de sobrevivência para a velocidade até o mexilhão se soltar em cada uma das variáveis de interesse (Substrato, Comprimento, Altura e Densidade da Amostra), iniciou-se a modelagem da função de sobrevivência a partir das distribuições de probabilidade paramétricas Exponencial, Weibull e Log-Normal que estão demonstradas nos gráficos abaixo.

Através da Figura 5.10, que consiste na comparação da função de sobrevivência do modelo proposto com o estimador de Kaplan-Meier, observa-se que os modelos Exponencial e Log-Normal não aparentaram serem adequados para esses dados, uma vez que, os pontos ficaram um tanto afastados da reta $y = x$. Por outro lado, o modelo Weibull acompanha mais de perto a reta $y = x$, indicando que possivelmente foi um modelo adequado para explicar os dados em

estudo. As curvas de sobrevivência estimadas pelos modelos sobre a curva estimada por Kaplan-Meier também evidência que o modelo Weibull foi o mais indicado para os dados.

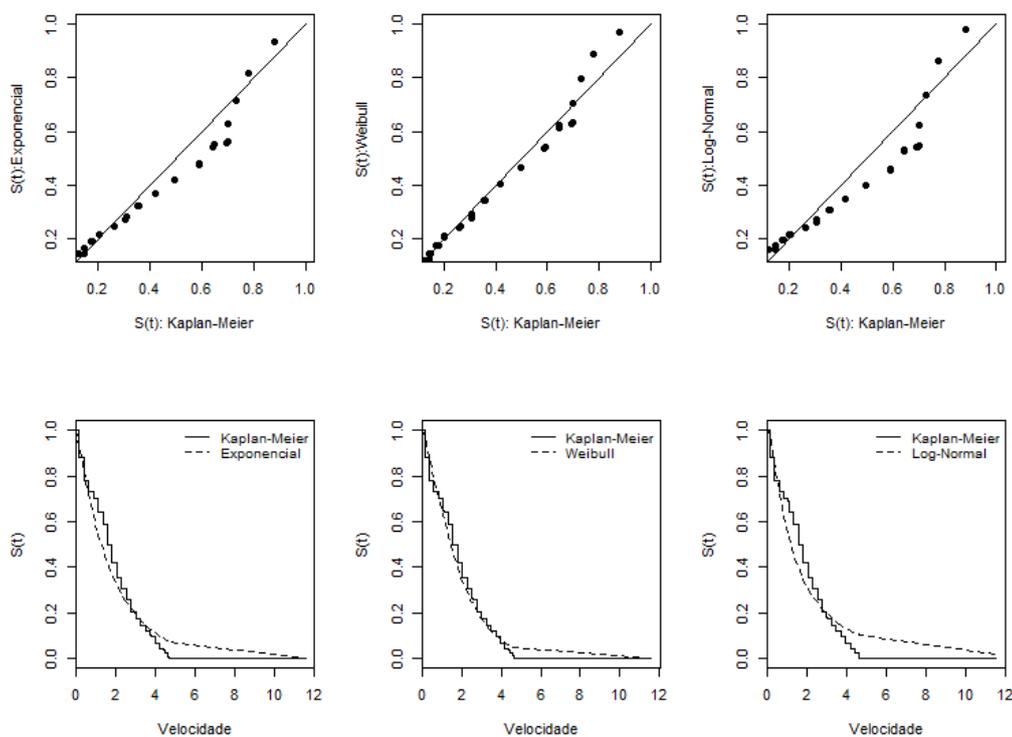


Figura 5.10 - Funções de sobrevivências estimadas por Kaplan-Meier versus as sobrevivências estimadas pelos modelos Exponencial, Weibull e Log-normal.

Apenas a análise gráfica não baliza se o modelo proposto é adequado para os dados, com isso, foi realizado o teste da razão de verossimilhança para verificar adequação dos modelos.

Através da tabela 5.13 se observou que nenhum dos modelos utilizados foram adequados para os dados em estudo (P -valor $< 0,05$).

Tabela 5.13 - Teste de adequação do modelo via teste da razão de verossimilhança.

Modelo	TRV	P-Valor
Gama Generalizado	-	-
Exponencial	205,79	$< 0,001$
Weibull	98,03	$< 0,001$
Log-Normal	465,96	$< 0,001$

Após as tentativas sem sucesso de modelar os dados via modelos paramétricos decidiu-se por utilizar o modelo de Cox. O modelo de Cox é um modelo mais flexível aos dados por conter uma parte não paramétrica no modelo, por isso é comum denomina-lo como um modelo semi-paramétrico. Embora o modelo de Cox seja muito flexível ele exige que não se viole a suposição dos riscos proporcionais, que deve ser testada sempre após o ajuste do modelo.

Na tabela 5.14 se encontram os três modelos construídos a partir da regressão de Cox.

No primeiro modelo foi verificado que o substrato e a altura não exercem influência sobre a velocidade empregada até o mexilhão se soltar.

No segundo modelo, após retirar altura, tem-se que a cada 1mm que se aumenta no comprimento do mexilhão o risco de se soltar da placa aumenta em 4%. Ainda, a cada 10 unidades que se aumenta na densidade da amostra o risco de se soltar da placa aumenta em 4%. Tem-se ainda que não existe diferença entre os substratos.

No terceiro modelo, foi considerada a interação entre comprimento e substrato, ou seja, deseja verificar se a influência do comprimento sobre a velocidade muda de acordo com o substrato. Sendo assim, embora seja marginalmente significativo ($p\text{-valor}=0,052$), tem-se que no substrato aço e corda a cada 1mm que se aumenta no comprimento do mexilhão o risco de se soltar da placa aumenta em 1%, enquanto que na madeira espera-se um aumento de 5%. Logo, pode-se concluir que a influência do comprimento sobre o risco do mexilhão se soltar é maior na madeira que no aço e corda.

Tabela 5.14 - Modelos de Cox ajustados para explicar a velocidade até o mexilhão se soltar.

Modelo	Covariáveis	Beta	E.P.	P.Valor	R.R.	I.C. 95%
1	Substrato = Corda	-0,07	0,14	0,591	0,93	[0,71 - 1,22]
	Substrato = Madeira	-0,13	0,10	0,201	0,88	[0,73 - 1,07]
	Altura (mm)	0,02	0,03	0,488	1,02	[0,96 - 1,08]
	Comprimento (mm)	0,03	0,01	0,044	1,03	[1,00 - 1,05]
	Densidade da Amostra (10 unidades)	0,04	0,01	0,001	1,04	[1,02 - 1,06]
2	Substrato = Corda	-0,08	0,14	0,587	0,93	[0,71 - 1,22]
	Substrato = Madeira	-0,13	0,10	0,179	0,88	[0,72 - 1,06]
	Comprimento (mm)	0,03	0,00	0,000	1,04	[1,03 - 1,04]
	Densidade da Amostra (10 unidades)	0,04	0,01	0,000	1,04	[1,02 - 1,06]
3	Substrato = Corda	-0,14	0,43	0,747	0,87	[0,37 - 2,03]
	Substrato = Madeira	-0,69	0,30	0,020	0,50	[0,28 - 0,90]
	Comprimento (mm)	0,01	0,01	0,434	1,01	[0,98 - 1,04]
	Densidade da Amostra (10 unidades)	0,04	0,01	0,000	1,04	[1,02 - 1,06]
	Substrato = Corda * Comprimento (mm)	0,00	0,02	0,896	1,00	[0,96 - 1,05]
	Substrato = Madeira * Comprimento (mm)	0,03	0,01	0,052	1,03	[1,00 - 1,06]

Através da tabela 5.15 se verifica que não há evidências de que a suposição de riscos proporcionais foi violada para esse modelo.

Tabela 5.15 - Covariáveis

Covariáveis	rho	P-valor
Substrato = Corda	0,015	0,572
Substrato = Madeira	-0,009	0,731
Comprimento (mm)	0,026	0,329
Densidade da Amostra	-0,010	0,220
Substrato = Corda * Comprimento (mm)	-0,013	0,620
Substrato = Madeira * Comprimento (mm)	-0,022	0,416

5.2.4 Tempo até o mexilhão se soltar da placa em função do comprimento, densidade das amostras e substratos (Aço, Madeira e Corda).

As análises do tempo até o mexilhão de soltar da placa em função do comprimento, altura, densidade da amostra e substratos, pode ser observadas de acordo com a Figura 5.11 onde apresentamos as funções de sobrevivência através do estimador de Kaplan-Meier.

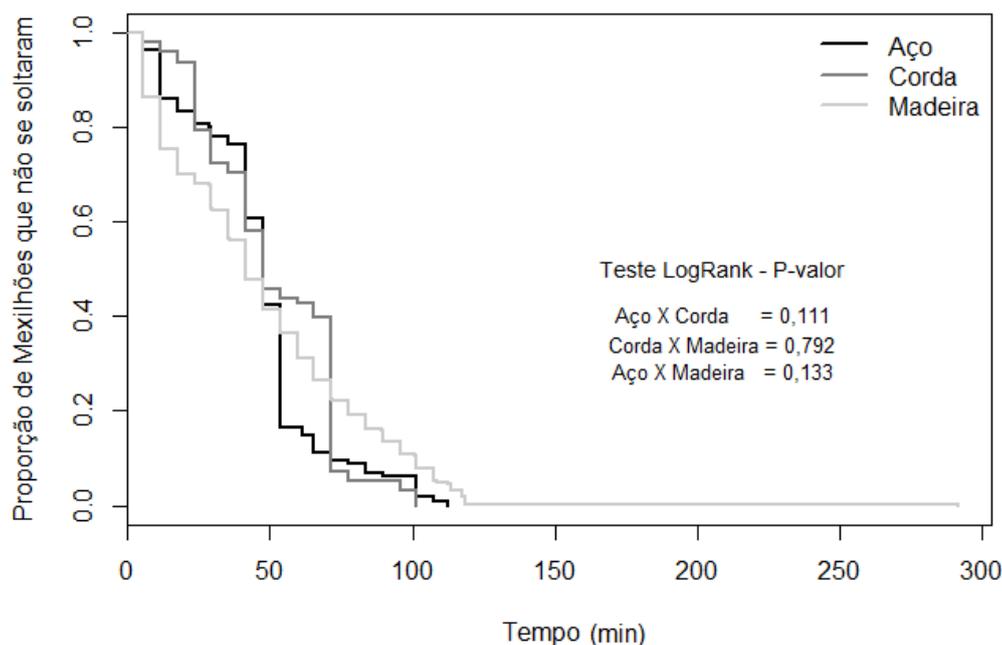


Figura 5.11 - Gráfico de Kaplan-Meier para os tipos de meios.

A Figura 5.12 a seguir representa a função de sobrevivência que modela o tempo até o mexilhão se soltar de acordo com o substrato (Aço, Corda e Madeira), com os comprimentos divididos em três grupos. Através de uma interpolação linear foi obtido o tempo mediano que apresentou valores de 45,07, 45,50 e 34,61 minutos para os meios Aço, Corda e Madeira respectivamente. Ou seja, para o substrato Aço, 50% dos mexilhões permaneceram presos até um tempo de 45,07 minutos, enquanto que no substrato corda 50% dos mexilhões permaneceram presos até o tempo de 45,50 minutos, já no substrato madeira 50% dos mexilhões permaneceram presos até um tempo de 36,41 minutos.

Através do teste LogRank, observou-se que nenhum dos três grupos apresentaram diferenças significativas entre si (P-valor > 0,05).

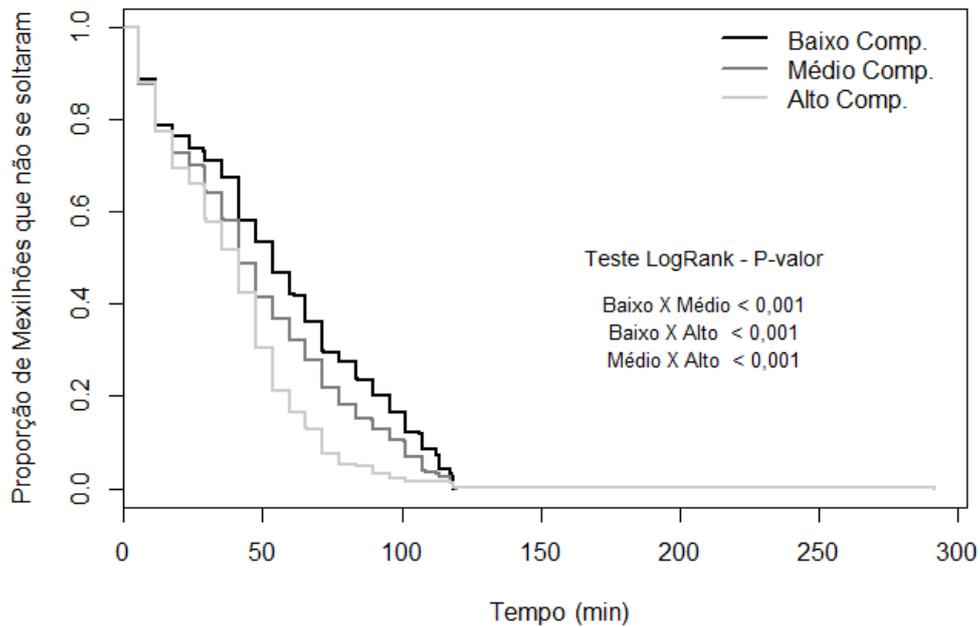


Figura 5.12 - Gráfico de Kaplan-Meier para grupos de comprimento.

Através de uma interpolação linear foi obtido o tempo mediano para cada um dos grupos e apresentou valores de 50,76, 40,80 e 36,68 para os comprimentos Baixo, Médio e Alto respectivamente. Ou seja, para os mexilhões categorizados como Baixo comprimento, 50% deles permaneceram presos até um tempo de 50,76 minutos, enquanto para os categorizados como Alto, 50% deles permaneceram presos até um tempo de 36,68 minutos.

Através do teste LogRank, foram encontradas evidências de diferença significativas entre os grupos de comprimento dos mexilhões, onde pode-se afirmar que quanto maior comprimento do mexilhão menor o tempo necessário para o mexilhão se soltar.

A figura 5.13 representa a função de sobrevivência que modela o tempo até o mexilhão se soltar de acordo com a altura, que, da mesma forma do comprimento, foi dividida em três grupos, já apresentados anteriormente.

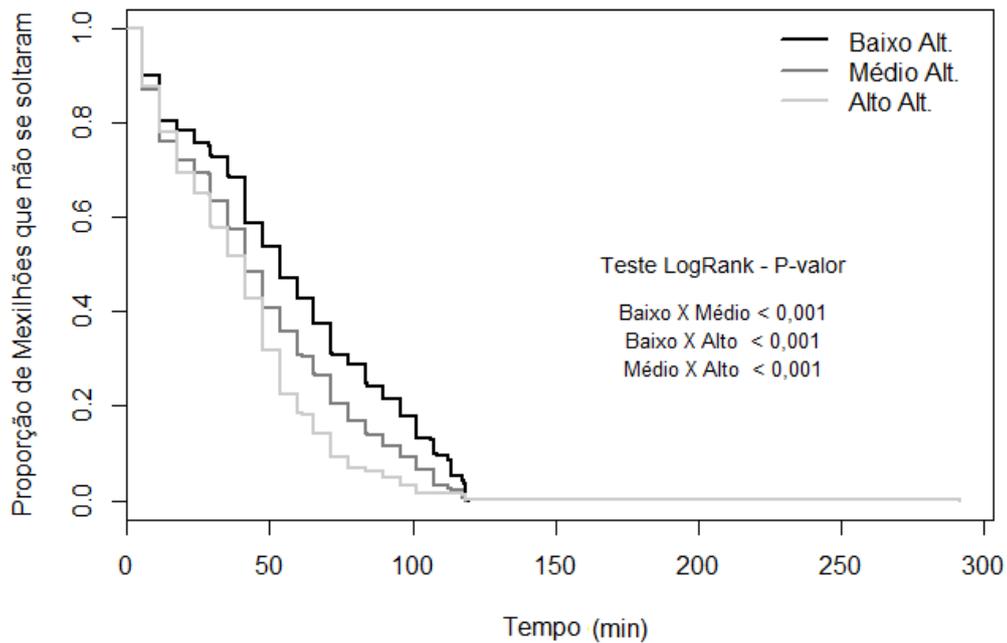


Figura 5.13 - Gráfico de Kaplan-Meier para grupos de altura.

Através de uma interpolação linear foi obtido o tempo mediano para cada um dos grupos e apresentou valores de 51,02, 40,54 e 36,71 para as alturas Baixo, Médio e Alto respectivamente. Ou seja, para os mexilhões categorizados como Baixo Altura, 50% deles permaneceram presos até 51,02 minutos, enquanto para os categorizados como Alto, 50% deles permaneceram presos até um tempo de 36,71 minutos.

Através do teste LogRank, foram encontradas evidências de diferença significativas entre os grupos de altura dos mexilhões, onde pode-se afirmar que quanto maior a altura do mexilhão menor o tempo necessário para o mexilhão se soltar.

A Figura 5.14 representa a função de sobrevivência que modela o tempo até o mexilhão se soltar de acordo com a densidade da amostra, que, da mesma forma do comprimento, foi dividida em três grupos, conforme se observou no item anterior.

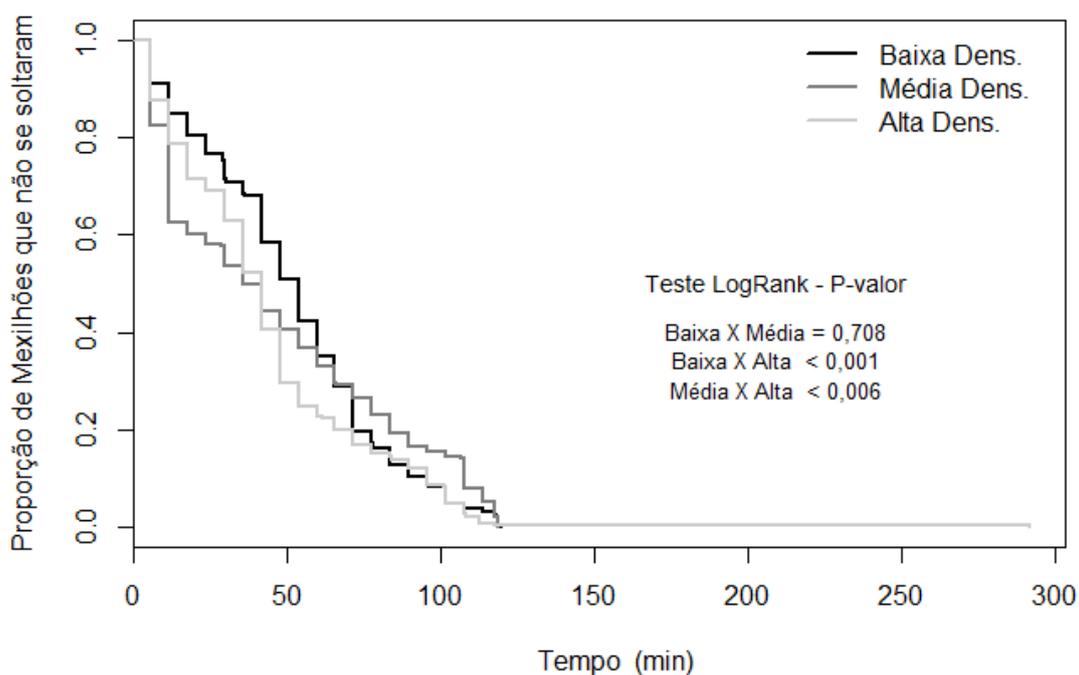


Figura 5.14 - Gráfico de Kaplan-Meier para grupos de Densidade da Amostra.

Através de uma interpolação linear foi obtido o tempo mediano para cada um dos grupos e apresentou valores de 48,26, 35,25 e 36,68 para as Densidades Baixa, Média e Alta respectivamente. Ou seja, para os mexilhões categorizados como Baixa Densidade da Amostra, 50% deles permaneceram presos até 48,26 minutos, enquanto para os categorizados como Alta, 50% deles permaneceram presos até 36,68 minutos.

Através do teste LogRank, foram encontradas evidências de diferença significativas entre o grupo de densidade de amostra alta com os outros grupos.

Após verificar a função de sobrevivência para o tempo até o mexilhão se soltar em cada uma das variáveis de interesse (Substrato, Comprimento, Altura e Densidade da amostra), iniciou-se a modelagem da função de sobrevivência a partir das distribuições de probabilidade paramétricas Exponencial, Weibull e Log-Normal que estão demonstradas na figura 5.15.

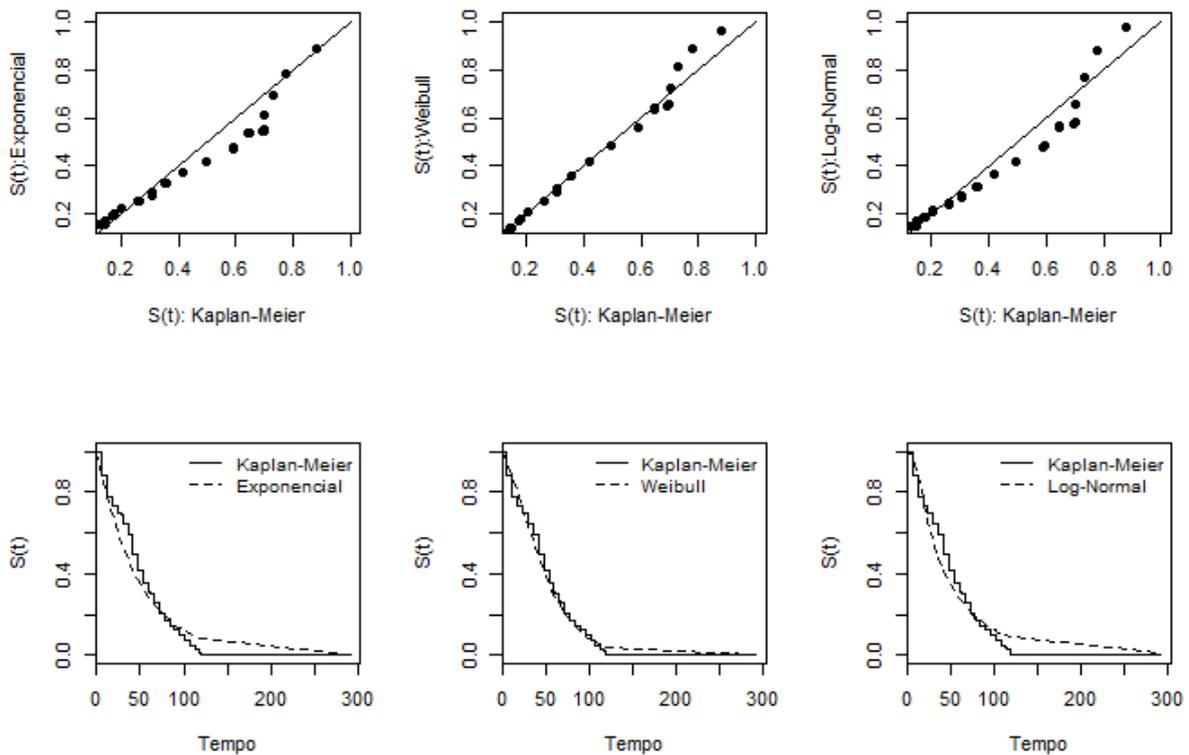


Figura 5.15 - Sobrevivências estimadas por Kaplan-Meier versus as sobrevivências estimadas pelos modelos exponencial, Weibull e Log-normal.

Através do gráfico, que consiste na comparação da função de sobrevivência do modelo proposto com o estimador de Kaplan-Meier, observa-se que os modelos Exponencial e Log-Normal não aparentaram serem adequados para esses dados, uma vez que, os pontos ficaram um tanto afastados da reta $y = x$. Por outro lado, o modelo Weibull acompanha mais de perto a reta $y = x$, indicando que possivelmente foi um modelo adequado para explicar os dados em estudo.

As curvas de sobrevivência estimadas pelos modelos sobre a curva estimada por Kaplan-Meier também evidência que o modelo Weibull foi o mais indicado para os dados.

Apenas a análise gráfica não baliza se o modelo proposto é adequado para os dados, com isso, foi realizado o teste da razão de verossimilhança para verificar adequação dos modelos.

Através da tabela 5.16 se observou que nenhum dos modelos utilizados foram adequados para os dados em estudo ($P\text{-valor} < 0,05$).

Tabela 5.16 - Teste de adequação do modelo via teste da razão de verossimilhança.

Modelo	TRV	P-Valor
Gama Generalizado	-	-
Exponencial	268,95	< 0,001
Weibull	40,44	< 0,001
Log-Normal	303,52	< 0,001

Após as tentativas sem sucesso de modelar os dados via modelos paramétricos decidiu-se por utilizar mais uma vez o modelo de Cox.

Na tabela 5.17 se encontram os três modelos construídos a partir da regressão de Cox.

Tabela 5.17 - Modelos de Cox ajustados para explicar o tempo até o mexilhão se soltar.

Modelo	Covariáveis	Beta	E.P.	P.Valor	R.R.	I.C. 95%
1	Substrato = Corda	-0,07	0,14	0,591	0,93	[0,71 - 1,22]
	Substrato = Madeira	-0,13	0,10	0,201	0,88	[0,73 - 1,07]
	Altura (mm)	0,02	0,03	0,488	1,02	[0,96 - 1,08]
	Comprimento (mm)	0,03	0,01	0,044	1,03	[1,00 - 1,05]
	Densidade da Amostra (10 unidades)	0,04	0,01	0,001	1,04	[1,02 - 1,06]
2	Substrato = Corda	-0,08	0,14	0,587	0,93	[0,71 - 1,22]
	Substrato = Madeira	-0,13	0,10	0,179	0,88	[0,72 - 1,06]
	Comprimento (mm)	0,03	0,00	0,000	1,04	[1,03 - 1,04]
	Densidade da Amostra (10 unidades)	0,04	0,01	0,000	1,04	[1,02 - 1,06]
3	Substrato = Corda	-0,14	0,43	0,747	0,87	[0,37 - 2,03]
	Substrato = Madeira	-0,69	0,30	0,020	0,50	[0,28 - 0,90]
	Comprimento (mm)	0,01	0,01	0,434	1,01	[0,98 - 1,04]
	Densidade da Amostra (10 unidades)	0,04	0,01	0,000	1,04	[1,02 - 1,06]
	Substrato = Corda * Comprimento (mm)	0,00	0,02	0,896	1,00	[0,96 - 1,05]
	Substrato = Madeira * Comprimento (mm)	0,03	0,01	0,052	1,03	[1,00 - 1,06]

No primeiro modelo foi verificado que o meio e a altura não exercem influência sobre o tempo até o mexilhão se soltar.

No segundo modelo, após retirar altura, tem-se que a cada 1mm que se aumenta no comprimento do mexilhão o tempo para se soltar da placa aumenta em 4%. Ainda, a cada 10 unidades que se aumenta na densidade da amostra o tempo para se soltar da placa aumenta em 4%. Tem-se ainda que não existe diferença entre os substratos.

No terceiro modelo, foi considerada a interação entre comprimento e substrato, ou seja, deseja verificar se a influência do comprimento sobre o tempo até o mexilhão se soltar da placa muda de acordo com o substrato. Sendo assim, embora seja marginalmente significativo (p -valor=0,052), tem-se que no substrato madeira, a cada 1mm que se aumenta no comprimento do mexilhão o tempo que o mexilhão leva para se soltar da placa aumenta em 3%. Logo, pode-se concluir que a influência do comprimento sobre o tempo até o mexilhão se soltar é maior na madeira que no aço e corda.

Através da tabela 5.18 se verifica que não há evidências de que a suposição de riscos proporcionais foi violada para esse modelo.

Tabela 5.18 - Covariáveis

Covariáveis	rho	P-valor
Substrato = Corda	0,015	0,572
Substrato = Madeira	-0,009	0,731
Comprimento (mm)	0,026	0,329
Densidade da Amostra	-0,010	0,220
Substrato = Corda * Comprimento (mm)	-0,013	0,620
Substrato = Madeira * Comprimento (mm)	-0,022	0,416

5.2.5 Análise do Número de Reynolds

Com o objetivo de modelar a influência do comprimento do mexilhão, da densidade da amostra e dos meios sobre o nº de Reynolds, foi realizada primeiramente uma análise descritiva das variáveis. Sendo assim, na tabela 5.18 pode-se verificar que o nº de Reynolds médio foi de “32.581,59”, com um desvio-padrão de “24.600,68” onde o valor mínimo

apresentado foi de “896,40” e máximo de “273.162,80” e o comprimento médio do mexilhão foi de 18,82 mm, com desvio-padrão de 6,09 mm.

Tabela 5.19 - Medidas descritivas das variáveis N° de Reynolds e Comprimento (mm).

Variáveis	N	Média	D.P.	Mín.	1°Q	2°Q	3°Q	Máx.
Comprimento (mm)	1438	18,82	6,09	3,86	14,19	18,91	23,03	36,90
N° de Reynolds	1438	32581,59	24600,68	896,40	11406,00	29385,00	48258,00	273162,80
Densidade da Amostra	1438	71,33	25,50	20,00	60,00	80,00	100,00	100,00

Na figura 5.16 estão representados os box-plots para as duas variáveis descritas na tabela 5.19.

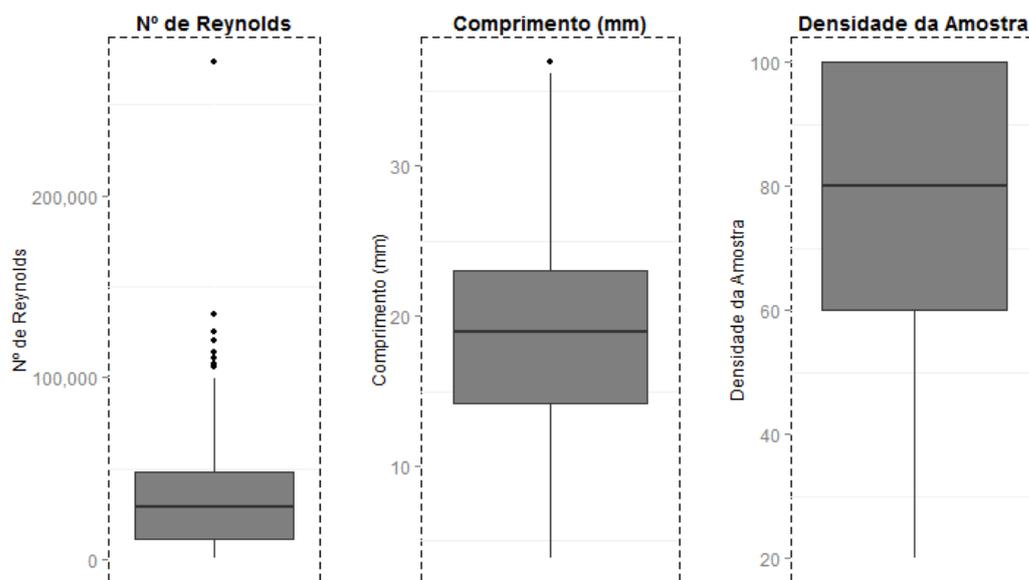


Figura 5.16 - Box-plot das variáveis N° de Reynolds, Comprimento (mm) e Densidade da Amostra.

Na figura 5.18 estão representados os diagramas de dispersão para o número de Reynolds a partir do comprimento do mexilhão. Os diagramas foram realizados com e sem o ponto influente identificado graficamente.

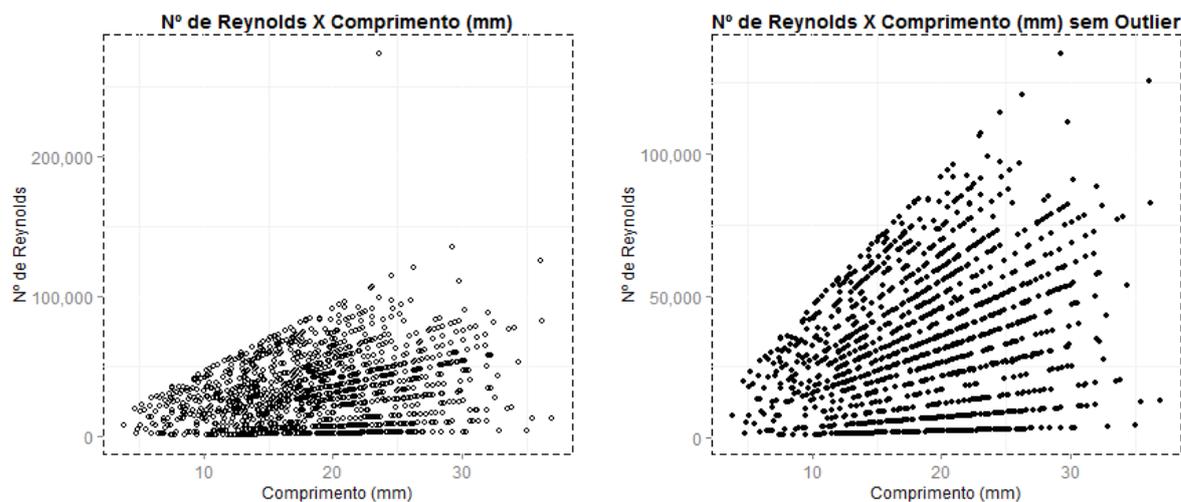


Figura 5.17 - Diagrama de Dispersão entre as variáveis Nº de Reynolds e Comprimento (mm).

Iniciou-se a modelagem realizando a regressão Gama com o comprimento do mexilhão, a densidade da amostra e os meios considerando e não o ponto influente observado. Observa-se que para os dois modelos a variável Meio, não foi significativa para explicar o nº de Reynolds.

Para o modelo com o ponto influente verifica-se na tabela 5.20 e 5.21:

Controlando pelas variáveis, Substrato e Densidade da Amostra, para cada aumento de 1 mm no comprimento do mexilhão, espera-se um aumento médio de “1136,39” (950,4 - 1322,39) no nº de Reynolds.

Controlando pelas variáveis, Substrato e Comprimento, para cada aumento de 10 unidades na densidade da amostra, espera-se uma diminuição média de “89,28” (43,54 - 135,03) no nº de Reynolds.

Controlando pelas variáveis, Substrato e Densidade da Amostra, para cada aumento de 1 mm no comprimento do mexilhão, espera-se um aumento médio de “1105,65” (924,65 - 1286,66) no nº de Reynolds.

Controlando pelas variáveis, Substrato e Comprimento, para cada aumento de 10 unidades na densidade da amostra, espera-se uma diminuição média de “94,90” (50,26 - 139,54) no nº de Reynolds.

Tabela 5.20 - Regressão Gama para o n° de Reynolds a partir das variáveis Meio, Densidade da Amostra e Comprimento (mm).

Modelos	Beta	E.P.	P-Valor	I.C. 95%
Intercepto	16234,64	2987,32	< 0,001	
Comprimento (mm)	1136,39	94,89	< 0,001	[950,4 - 1322,39]
Substrato = Corda	3126,96	3044,17	0,305	[-2839,62 - 9093,54]
Substrato = Madeira	1366,00	2000,90	0,495	[-2555,75 - 5287,76]
Densidade da Amostra	-89,28	23,34	< 0,001	[-135,03 - -43,54]

Tabela 5.21 - Regressão Gama para o n° de Reynolds a partir das variáveis Meio, Densidade da Amostra e Comprimento (mm) – Sem o ponto influente.

Modelos	Beta	E.P.	P-Valor	I.C. 95%
Intercepto	17171,94	2924,53	< 0,001	
Comprimento (mm)	1105,65	92,35	< 0,001	[924,65 - 1286,66]
Substrato = Corda	3094,92	2977,93	0,299	[-2741,83 - 8931,67]
Substrato = Madeira	1212,38	1955,80	0,535	[-2620,99 - 5045,75]
Densidade da Amostra	-94,90	22,77	< 0,001	[-139,54 - -50,26]

5.3 Análise de Resultados de campo

5.3.1 Número de Reynolds

Para verificar a influência do comprimento do mexilhão e do tempo de submersão de cada placa sobre o n° de Reynolds foi realizada uma regressão Gama. Através do modelo final verificou-se que:

- Controlando pela variável Comprimento (mm), se pode afirmar que para cada mês a mais que a placa fica submersa aumenta em média 134,42 (63,9 - 204,94) o n° de Reynolds.

- Controlando pela variável Tempo Submerso, se pode afirmar que para cada aumento de 1 mm no comprimento do mexilhão, espera-se um aumento médio de “816,95” (774,52 - 859,38) no nº de Reynolds.

5.4 Análise de Resultados de laboratório

5.4.1 Influência do comprimento, altura, densidade da amostra e substrato na não incrustação dos mexilhões

Para verificar a influência do comprimento, altura, densidade da amostra e meios sobre os mexilhões serem soltos ao abrir foi realizado uma Regressão Logística. Através do modelo final verificou-se que:

- Controlando pelos meios e densidade da amostra, a cada milímetro de aumento no comprimento do mexilhão, a chance de ele ser solto ao abrir aumenta em 1,05 (1,03 - 1,06) vezes.
- Controlando pelo comprimento e densidade da amostra, a chance de mexilhões no meio corda serem soltos ao abrir foi de 1,35 (1,00 - 1,83) vezes a chance de mexilhões no meio aço. Enquanto para mexilhões no meio madeira serem soltos ao abrir foi de 0,11 (0,09 - 0,14) vezes a chance de mexilhões no meio aço.
- Controlando pelo comprimento e meios, a cada 10 unidades de aumento na densidade da amostra, a chance de ele ser solto ao abrir diminui em 1,15 (1,12 - 1,19) vezes.

5.4.2 Prevalência de morte em função do comprimento, altura, densidade da amostra e substrato (Aço, corda, madeira)

Para verificar a prevalência de morte em função do comprimento, densidade da amostra, altura e meios foi realizado uma Regressão Logística. Através do modelo final verificou-se que:

- Controlando pelos meios e densidade da amostra, a cada milímetro de aumento no comprimento do mexilhão, a chance de ele ser vivo diminui em 0,90 (0,88 - 0,91) vezes.

- Controlando pelo comprimento e densidade da amostra, a chance de mexilhões no meio corda serem vivos foi de 5,76 (4,37 - 7,58) vezes a chance de mexilhões no meio aço. Enquanto para mexilhões no meio madeira serem vivos foi de 5,55 (4,39 - 7,02) vezes a chance de mexilhões no meio aço.
- Controlando pelo comprimento e meios, a cada 10 unidades de aumento na densidade da amostra, a chance de ele ser vivo diminui em 0,97 (0,94 – 1,00) vezes.

5.4.3 Velocidade de descolamento dos mexilhões em função do comprimento, altura, densidade da amostra e substrato (Aço, corda, madeira)

Para modelar a velocidade até o mexilhão se soltar em função do comprimento, altura, densidade da amostra e meios foram construídos 3 modelos a partir da regressão de Cox. Pode-se concluir que:

- No primeiro modelo foi verificado que o meio e a altura não exercem influência sobre a velocidade empregada até o mexilhão se soltar.
- No segundo modelo, após retirar altura, tem-se que a cada 1mm que se aumenta no comprimento do mexilhão o risco de se soltar da placa aumenta em 4%. Ainda, a cada 10 unidades que se aumenta na densidade da amostra o risco de se soltar da placa aumenta em 4%. Tem-se ainda que não existe diferença entre os meios.
- No terceiro modelo, foi considerada a interação entre comprimento e meio, ou seja, deseja verificar se a influência do comprimento sobre a velocidade de acordo com o meio. Sendo assim, embora seja marginalmente significativo (p-valor=0,059), tem-se que no meio aço e corda, a cada 1mm que se aumenta no comprimento do mexilhão, o risco de se soltar da placa aumenta em 1%, enquanto que na madeira espera-se um aumento de 5%.

5.4.4 Tempo até o mexilhão se soltar da placa em função do comprimento, altura, densidade da amostra e substrato (Aço, corda, madeira)

Para modelar o tempo até o mexilhão se soltar em função do comprimento, altura, densidade da amostra e substratos foram construídos 3 modelos a partir da regressão de Cox. Pode-se concluir que:

- No primeiro modelo foi verificado que o meio e a altura não exercem influência sobre o tempo até o mexilhão se soltar.
- No segundo modelo, após retirar altura, tem-se que a cada 1mm que se aumenta no comprimento do mexilhão o tempo para se soltar da placa aumenta em 4%. Ainda, a cada 10 unidades que se aumenta na densidade da amostra o tempo para se soltar da placa aumenta em 4%. Tem-se ainda que não existe diferença entre os substratos.
- No terceiro modelo, foi considerada a interação entre comprimento e substrato, ou seja, deseja verificar se a influência do comprimento sobre o tempo até o mexilhão se soltar da placa muda de acordo com o substrato. Sendo assim, embora seja marginalmente significativo ($p\text{-valor}=0,052$), tem-se que no substrato madeira, a cada 1mm que se aumenta no comprimento do mexilhão o tempo que o mexilhão leva para se soltar da placa aumenta em 3%.

5.4.5 Número de Reynolds

Para verificar a influência do comprimento do mexilhão, densidade da amostra e dos meios sobre o n° de Reynolds foi realizada uma regressão Gama. Através do modelo final verificou-se que:

- Controlando pelas variáveis Meio e Densidade da Amostra, para cada aumento de 1 mm no comprimento do mexilhão, espera-se um aumento médio de “1105,65” (924,65 - 1286,66) no n° de Reynolds.
- Controlando pelas variáveis, Meio e Comprimento, para cada aumento de 10 unidades na densidade da amostra, espera-se uma diminuição média de “94,90” (50,26 - 139,54) no n° de Reynolds.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

6.1 Conclusões

Analisando os resultados obtidos para a análise do n° de Reynolds relativo aos dados de campo, tem-se que para cada mês em que a placa fica submersa aumenta em média 134,42 o

número de Reynolds. Essa afirmação está ligada ao fato que com um tempo maior de submersão mais animais se desenvolveram na placa e aumentaram seu tamanho. Também se observa que para cada 1 mm de aumento na sua dimensão principal (comprimento) tem-se um aumento do número de Reynolds em torno de 816,95.

Ao se tratar os resultados dos testes de laboratório pode-se concluir que o aumento de 1 mm no tamanho do mexilhão implica em 1,05 vezes o aumento da chance do mexilhão não se fixar aos substratos. Levando em consideração o meio, tem-se que no substrato constituído por aço carbono a chance dos mexilhões se fixarem foram maiores que nos substratos, corda e madeira. Nota-se que a cada 10 unidade de aumento na densidade da amostra a chance do mexilhão ser solto diminui em 1,15 vezes.

Quando se analisa o número de mexilhões vivos ou mortos em relação ao substrato a que estavam aderidos, a chance de um mexilhão morrer ao aderir ao substrato aço carbono, foi maior do que em relação ao substrato madeira e corda, este fato está ligado a corrosão que o substrato aço carbono apresentou. Nota-se nesta análise que a chance de o mexilhão sobreviver diminui com o aumento da densidade de infestação.

As velocidades medianas para o descolamento do mexilhão dourado foram de 1,70, 1,72 e 1,50 m/s para os meios aço carbono, corda e madeira respectivamente. A maior velocidade para o descolamento ocorreu no meio madeira que foi de 4,5 m/s, seguido de 4,3 m/s para o meio corda e 4,1 para o meio aço carbono. Apesar de a velocidade máxima para o descolamento ter sido encontrada no meio madeira, tem-se que o risco do mexilhão se soltar é maior na madeira que no aço e na corda. O mesmo é constatado quando trata-se da variável tempo, a influência do comprimento sobre o tempo até mexilhão se soltar também é maior na madeira que no aço e corda.

Observa-se que o aumento do comprimento do mexilhão eleva o risco do mesmo se soltar dos substratos, esse fato pode estar diretamente relacionado à força de arrasto sofrida pela superfície do mexilhão. Pois o aumento da superfície resulta em uma elevação de forças tangenciais, gerando essa maior força de arrasto.

A influência do comprimento do mexilhão em relação ao número de Reynolds, com os dados de laboratório, foi maior se comparada com os dados de campo. Assim, no laboratório, para cada 1 mm de aumento no comprimento do mexilhão obteve-se um aumento de 1.105,65 no

nº de Reynolds. No caso de campo o valor de número de Reynolds é de 816,95, como afirmado anteriormente.

Com o aumento da densidade da amostra, observou-se uma diminuição do nº de Reynolds, provavelmente devido ao deslocamento da camada viscosa e conseqüentemente da camada limite. Assim as colônias do mexilhão dourado criam um ambiente propício ao seu desenvolvimento.

6.2 *Recomendações para trabalhos futuros*

As recomendações para trabalhos futuros são:

- Ampliação dos estudos sobre incrustação de MD de forma a se avaliar qual a real influência do tempo de incrustação na capacidade de fixação desse molusco;
- Verificação da influência da camada limite sobre o desenvolvimento de jovens de MD;
- Verificação da força de adesão do MD;
- Verificação da resistência do bisco do MD;
- Verificação do tipo de escoamento no entorno do MD.

7 REFERÊNCIAS

AGRESTI A., Categorical data analysis. Nova York: Willey, 2002.

AVELAR, W. E. P.; MARTIM, S. L.; VIANNA, M. P. A new occurrence of *Limnoperna fortunei* (Dunker 1856) (Bivalvia, Mytilidae) in the state of São Paulo, Brazil. Braz. J. Biol., v. 64, n. 4, p. 739 – 742, 2004.

BAPTISTA, M. B. & COELHO, M. L. P. *Fundamentos da Engenharia Hidráulica*, 3ªed. Ver. E ampl. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2010.

BELZ, C.E. Análise de risco de bioinvasão por *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857): um modelo para a bacia do Rio Iguaçu, Paraná. 2006. 102f. Tese (Doutorado em Zoologia), Universidade Federal do Paraná, 2006.

BONAFÉ, R.A.; UEDA, R.R.; LÓPEZ, L.E.U.; MUSTAFÁ, A.L.; MACHADO, C. Efeitos da utilização de revestimento antiincrustante no controle do mexilhão dourado na confiabilidade de equipamentos e redução de custos de manutenção. In: XIX SNPTEE - Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, Rio de Janeiro, 14 a 17 de Outubro, 2007.

BOLTOVSKOY, D. & CATALDO, D. H. Population dynamics of *Limnoperna fortunei*, an invasive fouling mollusc, in the lower Parana river (Argentina). *Biofouling* v. 14, n. 3, p. 255-263, 1999.

BOLTOVSKOY, D.; CORREA, N.; CATALDO, D.; SYLVESTER, F. 2006. Dispersion and ecological impact of the invasive freshwater bivalve *Limnoperna fortunei* in the Río de la Plata watershed and beyond. *Biological Invasions* 8(4):947-963.

BRUGNOLI, E.; CLEMENTE, J.; BOCCARDI, L.; BORTHAGARAY, A.; SCARABINO, F. Golden mussel *Limnoperna fortunei* (Bivalvia: Mytilidae) distribution in the main hydrographical basins of Uruguay: update and predictions. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 77, n. 2, p. 235 – 244, 2005.

CALIL C.T., et al., A gametogênese em *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) In: Mansur, M.C.D., et al. Moluscos límnicos invasores no Brasil : biologia, prevenção e controle, Porto Alegre : Redes Editora, 2012. P. 61 – 74.

CAPRARI, J. J.; LECOT, C. J. El control de bivalvos invasores *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) em la central hidroeléctrica Yaciretá mediante pinturas. in: Seminário Internacional sobre Gestão Ambiental e Hidroelectricidade, 2001, Camplejo Hidroeléctrico de Salto Grande. Actas. Salto Grande: 2001.

CARLTON, J.; GELLER, J. Ecological Roulette: the global transport of nonindigenous marine organisms. *Science*, v. 261, p. 78 – 82, 1993.

CARNEIRO, P. C. F. & URBINATI, E. C., Salt as a stress response mitigator os matrinxa, *Brycon cephalus* (Guenther), during transport, *Aquaculture Research*, v. 32, p. 297-304, 2001.

CATALDO, D.; BOLTOVSKOY, D.; POSE, M. Toxicity of chlorine and three nonoxidizing molluscicides to the pest mussel *Limnoperna fortunei*. *Journal AWWA*, 95:1, Janeiro, 2003.

CHU, S. P. The Influence of the Mineral Composition of the Medium on the Growth of Planktonic Algae:Part I. Methods and Culture Media. *Journal of Ecology*, v. 30, n. 2, p. 284 – 325, 1942.

COIMBRA, A.G. Distribuição de metais pesados em moluscos e sedimentos nos manguezais de Coroa Grande e Enseada das Garças, Baía do Sepetiba, RJ. 2003. 72 f. Dissertação (Mestrado em Geoquímica Ambiental) – Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2003.

COLARES, E. R. C.; SUMINSKY, M.; BENDATI, M. M. A. Diagnóstico e controle do mexilhão-dourado, *Limnoperna fortunei*, em sistemas de tratamento de água em Porto Alegre (RS/Brasil). In: Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, VI, 2002, Vitória. Artigos. Vitória: 2002.

COLOSIMO, E. A., & GIOLO, S. R., *Análise de Sobrevida Aplicada*, São Paulo, 2006.

DARRIGRAN, G. A.; COPPOLA, A. Los bivalves invasores del Rio de La Plata. Su potencial uso como bioindicadores ambientales. *Tankay*, v. 1, p. 150 – 152, 1994.

DARRIGRAN, G.; PASTORINO, G. The recent introduction of a fresh-water asiatic bivalve, *Limnoperna fortunei* (Mytilidae) into South-America. *The Veliger*, v. 38, n. 2, p. 171-175, 1995.

DARRIGRAN, G. A.; MARTIN, S. M.; GULLO, B.; ARMENDARIZ, L. Macroinvertebrates associated with *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) (Bivalvia, Mytilidae) in Rio de La Plata, Argentina. *Hidrobiologia*, v. 367, p. 223 – 230, 1998.

DARRIGRAN, G. A.; MAROÑAS, M. E.; COLAUTTI, D. C. (2001) “Primeras estimaciones de concentraciones letales de um biocida para el molusco invasor *Limnoperna fortunei* (Mytilidae). In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE GESTIÓN AMBIENTAL E HIDROELECTRICIDADE, 2001, Camplejo Hidroelétrico de Salto Grande. Actas...Salto Grande: 2001.

DARRIGRAN, G.A. Potential impact of filter-feeding invaders on temperate inland freshwater environments. *Biological Invasions* v. 4, p. 145-156, 2002.

DARRIGRAN, G, DAMBORENEA, C. A bioinvasion history in South América. *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857), the gold mussel. *American Malacologia Bullentin*. V.20, p.105, 2005

DARRIGRAN, G.; MANSUR, M.C.D. 2006. Distribución, abundancia y dispersión, PP. 93-110. IN: DARRIGRAN, G.; DAMBORENEA, C. (EDS.). Bio-invasión del mejillón dorado en el continenteamericano. EDULP, LA PLATA. 220p.

DARRIGRAN, G.; DAMBORENEA, C. Bio-invasión del mejillón dorado em el continente americano. La Plata: Universidade Nacional de La Plata, 2006. 226 p.

DARRIGRAN, G. A.; DAMBORENEA, C.; GREC, N. An evaluation pattern for antimicrofouling procedures: *Limnoperna fortunei* larvae study in a hydroelectric power plant in South America. *Ambio*, v. 36, n. 7, p. 575-579, 2007.

DARRIGRAN, G.A.; DAMBORENEA, C., Introdução a Biologia das Invasões: biologia, dispersão, impacto, prevenção e controle. São Carlos, SP: Cubo Multimídia Ltda., 2009. 245p.

DARRIGRAN, G.; MANSUR, M.C.D. 2009. Introdução e dispersão do *limnoperna fortunei*. p.89-109 IN:DARRIGRAN, G.; DAMBORENEA, C. (EDS). Introdução à biologia das invasões. O mexilhão dourado na américa do sul: biologia, dispersão, impacto, prevenção e controle. CUBO EDITORA. SÃO CARLOS, 246P.

DARRIGRAN, G.; DAMBORENEA, C. 2011. Ecosystem Engineering Impact of *Limnoperna fortunei* in South America. *Zoological Science* 28(1):1-7.

DINIZ, D. M. A.; SIMEÃO, C. M. G.; MAGALHÃES, V. P. F.; GANDOLFI, S. M.; RESENDE, M. F.; MARTINEZ, C. B. Estimativa da redução do potencial energético decorrente da infestação de mexilhão dourado em plantas hidrelétricas. In: VII Congresso latino-americano em geração e transmissão de energia elétrica, 2009, Ubatuba, Guaratinguetá: FDCT, 2009.

DINIZ, D. M. A. & MARTINEZ, C.B. Avaliação do Percentual de aumento da força de arrasto em grades de tomada d'água de usinas hidrelétricas pela infestação do mexilhão dourado. XXVI Congresso Latino-americano de hidráulica, Punta del Leste. Uruguay, novembro, 2010.

DOBSON, A.J., *An introduction to Generalized Linear Models*, London: Chapman and Hall, 1990.

FERNANDEZ D. R. Engenheiro na Itaipu Binacional, entrevista concedida em Ouro Preto - MG, 2012.

ESPINOLA, L.A.; FERREIRA JULIO JUNIOR, H. 2007. Invader species: concepts, models and attributes. *Interciencia*, v.32, n. 9, p. 580-585, 2007.

FREITAS, S.M.F.; KAPUSTA, S.C.; WÜRDIG, N.L. 2009. Invertebrados bentônicos das lagoas da planície Costeira do Rio Grande do Sul. p.120-141. In: Würdig, N.L.; Freitas, S.M.F. et al., (Org.) *Ecosystemas e Biodiversidade do Litoral Norte do RS*. Porto Alegre, Nova Prova, 288p.

FOX, ROBERT W.; MCDONALD, ALAN T. *Introdução à mecânica dos fluidos*. 6ª. ed. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos, 2006, 798 p.

GIBBONS, W.N., MUNN, M.D.; PAINE, M.D. 1993. Guidelines for monitoring benthos in freshwater environments. Report prepared for Environment Canada, North Vancouver, BC. EVS Consultants, North Vancouver, British Columbia. 81p.

GIORDANI, S.; NEVES, P. S.; ANDRELI, C. V. *Limnoperna fortunei* ou mexilhão dourado: impactos causados, métodos de controle passíveis de serem utilizados e a importância do

controle de sua disseminação. In: 23o CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 2005.

GREENBERG M. J.; SUBHEDAR N. K. Osmotic and ionic regulation in *Limnoperna fortunei*, a genuinely fresh-water mytilid bivalve from Southeast-Asia. *American Zoologist*, v.22, n. 4, p. 979-979,1982.

HARRINGTON, D. K.; BENSCHOTEN, J. E. V.; JENSEN, JAMES, N.; LEWIS, D. P.; NEUHAUSER, E. F. Combined use of heat and oxidants for controlling adult zebra mussels. *Wat. Res.*, v. 31, n. 11, p. 2783 – 2791, 1997.

HICKS, G. 2004. Turning the Tide: Is aquatic bioinvasers research heading in the right direction? *Aquatic Invaders* 15(1):9–20.

IBAMA. Espécies exóticas invasoras: situação brasileira/Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Biodiversidade e Florestas. – Brasília: MMA, p. 24. 2006.

KOLAR, C. S.; LODGE, D. M. Progress in invasion biology: predicting invaders. *Ecology & Evolution*, v.16, n. 4, p.199 – 204, 2001.

LACTEC – Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento & GIA – Grupo Integrado de Aqüicultura e Estudos Ambientais da Universidade Federal do Paraná. 2005. In.: Projeto Aneel/Copel CGER-023 “Desenvolvimento de sistema de detecção de organismos invasores, por meio de marcador molecular, estudo de riscos operacionais/ambientais e sistemas de controle utilizando como modelo *Limnoperna fortunei*”. Relatório Final. Curitiba, Paraná.

MMA – Ministério do Meio Ambiente. Programa Global de Gerenciamento de Água de Lastro. <http://www.mma.gov.br/port/sqa/projeto/lastro/capa/index.html>, consulta em dezembro, 2012.

MACHADO, C.J.S.; OLIVEIRA, A.E.S. Espécies exóticas invasoras: problema nacional ainda pouco conhecido. *Ciência e Cultura*, v. 61, n. 1, p. 22-23, 2009.

MAGARA, Y.; MATSUI, Y; GOTO, Y.; YUASA, A. Invasion of non-indigenous nuisance mussel, *Limnoperna fortunei*, into water supply facilities in Japan. *Journal of Water supply research and technology – AQUA*,50(3): p. 113-124, 2001.

MACKIE, G. L.; CLAUDI, R. Monitoring and control of macrofouling mollusks in fresh water systems. 2 ed. Boca Raton: CRC Press, 2010. 508 p.

MANSUR, M.C.D.; PEREIRA, D.; SANTOS, C.P.; BERGONCI, P.E.A.; THORMANN, B.M.; TAKEDA, A.M. 2009. Colonização de substrato artificial de madeira pelo mexilhão dourado, *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) (Bivalvia, Mytiloidea, Mytilidae), no Delta do Rio Jacuí (RS, Brasil). Biotemas 22(1):75-80.

MANSUR, M.C.D; Bivalves invasores límnicos: morfologia comparada de *Limnoperna fortunei* e espécies de *Corbicula* spp. In: Mansur, M.C.D., et al. Moluscos límnicos invasores no Brasil : biologia, prevenção e controle, Porto Alegre : Redes Editora, 2012. p.61 – 74.

MARCHANTE, H. S. D. C. Invasão dos ecossistemas dunares portugueses por Acacia: uma ameaça para a biodiversidade nativa 2001. 165 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia) – Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Coimbra, 2001.

MARTINEZ, C. B.; CASTRO, A. L. P.; VIANNA, E. M. F.; RESENDE, M. F.; O custo energético para garantir a desinfestação de mexilhão dourados em sistemas hidráulicos, SEREA 2012.

McCULLAGH, P. & NELDER, J. A., Generalized Linear Models, London: Chapman and Hall, 1989.

MORTON, B. S.; AU, C. S.; LAM, W. W. The efficacy of chlorine in the control of *Limnoperna fortunei* (Dunker 1857) (Bivalvia: Mytilidae) colonizing parts of Hong Kong's raw water supply system. Journal of the Institution of Water Engineers and Scientists, v. 30, p. 147 – 155, 1973.

MONTRESOR, L.C., VIDIGAL, T. H. D., SIMEÃO, C. M. G., COSCARELLI, D., LUZ, D.M.R, GERHARD, L., MARTINEZ, C.B., Manutenção de populações viáveis de mexilhão dourado em laboratórios visando estudos de impacto em usinas hidrelétricas, 9th Latin-American Congress on Electricity and Generation and Transmission, Clagtee, 2011.

NUNES, E. G; Avaliação do comportamento do mexilhão dourado (*limnoperna fortunei*) em telas de tanques-rede no reservatório de Itaipu, Faculdade Dinâmica de Cataratas, Foz do Iguaçu – PR, 2010

OLIVEIRA, M.D. Ocorrência e impactos do mexilhão-dourado (*Limnoperna fortunei*) (Dunker 1857) no Pantanal Mato-Grossense, Circular Técnica 38, Embrapa, Brasil, 2003.

OLIVEIRA, M. D.; PELLEGRIN, L. A.; BARRETO, R. R.; SANTOS, C. L.; XAVIER, I. G. Área de ocorrência do mexilhão-dourado na bacia do alto Paraguai, entre os anos de 1998 e 2004. Documento 64 – Embrapa, 2004.

OLIVEIRA, L. D. & LOPES, A. G. Mecânica dos Fluidos, 3ª ed. Lisboa: Lidel, 2010.

OLIVEIRA, M.D.; CALHEIROS, D.F.; JACOBI, C.M.; HAMILTON, S.K. Abiotic factors controlling the establishment and abundance of the invasive golden mussel *Limnoperna fortunei*. *Biological Invasions* 13: 717-729, 2011.

OLIVEIRA, M.D. & CALHEIROS, D.F., *Limnoperna fortunei* na bacia do rio Paraguai, Mato Grosso do Sul, In: Mansur, M.C.D., et al. Moluscos límnicos invasores no Brasil : biologia, prevenção e controle, Porto Alegre : Redes Editora, 2012. p.61 – 74.

PASTORINO, G.; DARRIGRAN, G.; MARTIN, S.; LUNASCHI, L. *Limnoperna fortunei* (Dunker 1857) (Mytilidae), nuevo bivalvo invasor en aguas Del Rio de La Plata. *Neotropica*, v. 39, n. 101-102, p. 171 – 175, 1993.

PATELLA, L.; BOEGER, W.; TORRES, R. A. Diferenciação das larvas de *Limnoperna fortunei* e *Corbicula fluminea* utilizando técnicas de RFLP. In: XXV CONGRESSO BRASILEIRO DE ZOOLOGIA, XXV, 2004, Universidade de Brasília. Resumos... Brasília, 2004.

PEREIRA, D.; MANSUR, M.C.D.; VOLKMER-RIBEIRO, C.; OLIVEIRA, M.D.; SANTOS, C.P.; BERGONCI, P.E.A. 2010. Colonização de substrato artificial por macroinvertebrados límnicos, no delta do Rio Jacuí (RS, Brasil). *Biotemas* 23(1):101-110.

PORTO, R. M. *Hidráulica Básica*, 4ª ed. São Carlos: EESC-USP, 2006.

QUEIROZ, J.F.; SILVEIRA, M.P.; SITTON, M.; MARIGO, A.L.S.; ZAMBON, G.V.; SILVA, J.R.; CARVALHO, M.P.; RIBACINKO, D.B. 2007. Coletor de macroinvertebrados bentônicos com substrato artificial para monitoramento da qualidade de água em viveiros de produção de tilápia. Circular Técnica 16 EMBRAPA. p. 1-5.

RESENDE, M. R. Variação das características hidráulicas em condutos forçados devido à infestação pelo *Limnoperna fortunei*. 2007. 102 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

RICCIARDI, A. & RASMUSSEN, J. Predicting the identity and impact of future biological invaders: a priority for aquatic resource management. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 55: 1759-1765, 1988.

RICCIARDI, A. Global range expansion of the asian mussel *Limnoperna fortunei* (Mytilidae): another fouling threat to freshwater systems. *Biofouling*, v. 13(2), p. 97-106, 1998.

RIVERA, I. N. G., LIPP, E. K., GIL, A., CHOOPUN, N., HUQ, A. & COLWELL, R.R. Method of DNA extraction and application of multiplex polymerase chain reaction to detect toxigenic *Vibrio cholerae* O1 and O139 from aquatic ecosystems. *Environ. Microbiol.* V. 5, n. 7, p. 599–606, 2003.

ROLLA, M. E.; MOTA, H. R. Response of a major Brazilian utility to the golden mussel invasion. In: MACKIE, G. L.; CLAUDI, R. Monitoring and control of macrofouling mollusks in fresh water systems. Boca Raton: CRC Press, 2010. cap. 10, p. 396 – 403.

SANTOS, J.G.A.S., LAMONICA, M.N. Água de lastro e bioinvasão: introdução de espécies exóticas associada ao processo de mundialização, *Vértices*, v. 10, n. 1 p. 141-152, 2008.

SANTOS, S. B.; THIENGO, S. C.; FERNANDEZ, M. A.; MIYAHIRA, I. C.; GONÇALVES, I. C. B.; XIMENES, R. F; MANSUR, M. C. D.; PEREIRA, D. Espécies de moluscos límnicos no Brasil, In: Mansur, M.C.D., et al. Moluscos límnicos invasores no Brasil : biologia, prevenção e controle, Porto Alegre : Redes Editora, 2012. p.61 – 74.

SCARABINO, F. & VERDE, M. *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) em la costa Uruguaya del río de la Plata (Bivalvia, Mytilidae). *Comunicaciones Sociedade Malacológica do Uruguay*. V. 7, p. 374-375, 1994.

SCHREIBER, G. P. Usinas Hidrelétricas. São Paulo: Edgard Blucher, 1977. 238 p.

SILVA, J.S.V.; FERNANDES, F. C.; LARSEN, K. T. S.; SOUZA, R. C. C. L. Água de Lastro, *Ciência Hoje* v.32, n. 188, p. 38-43, 2002.

SILVA, J.S.V.; SOUZA, R. C. C. L. Água de Lastro e Bioinvasão. Rio de Janeiro: Interciência, 2004. 224p.

SILVA, J. S. V.; FERNANDES, F. C.; SOUZA, R. C. C. L.; LARSEN, K. T. S.; DANELON, O. M. Água de lastro e bioinvasão. In: SILVA, J. S. V.; SOUZA, R. C. C. L. Água de Lastro e Bioinvasão. Rio de Janeiro: Interciência, p. 1 – 10. 2004.

SIMEÃO, C. M. G. Influência da variação de velocidade e pressão sobre *limnoperna fortunei* (Dunker,1857) (bivalvia, mytilidae) e verificação dos efeitos da toxicidade do látex de *Euphorbia splendens* var. *Hislopian* n. E. B.(euphorbiaceae) para esta espécie, Tese (Doutorado Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, 2011.

SYLVESTER, F.; DORADO, J.; BOLTOVSKOY, D.; JUARÉZ, A.; CATALDO, D. Filtration rates of the invasive pest bivalve *Limnoperna fortunei* as a function of size and temperature. *Hydrobiologia*, v. 534, p. 71 – 80, 2005.

SOUZA, R.C.C.L., FERNANDES, F.C. & SILVA, E.P. A study on the occurrence of the brown mussel *Perna perna* on the sambaquis of the Brazilian coast. *Revista do Museu de Arqueologia e Etnologia*. n.13, p. 3–24, 2003.

SOUZA, R.C.C.L., SILVA, E.P. & FERNANDES, F.C. Sambaqui: um baú de preciosas informações. *Ciência Hoje*. v. 36, n.214, p.72–74, 2005.

SOUZA, R.C.C.L.; CALAZANS, S.H.; SILVA, E.P. Impacto das espécies invasoras no ambiente aquático. *Ciência e Cultura*. v. 51, n.1, p. 35-41, 2009.

TAKEDA, A. M.; MANSUR, M. C. D.; FUJITA, D. S. Ocorrência de moluscos bivalves em diferentes reservatórios. In: RODRIGUES, L.; THOMAZ, S. M.; AGOSTINHO, A. A.; GOMES, L. C. Biocenose em Reservatórios: padrões espaciais e temporais. São Carlos: RiMa, 2005. cap. 13. p. 161 – 167.

VIANNA, M. R. *Mecânica dos Fluidos para Engenheiros*, 4^a ed. Belo Horizonte: Imprimatur, 2001.

VOLKMER-RIBEIRO, C.; GUADAGNIN, D.L.; de ROSA-BARBOSA, R.; SILVA, M.M.; DRÜGG-HANH, S.; LOPES-PITONI, V.L.; GASTAL, H.A.O.; BARROS, M.P.;

DEMAMAN, L.V. A polyethylenetherephthalate (PET) device for sampling freshwater benthic macroinvertebrates. *Brazilian Journal of Biology* 64(3A):531-541. 2004

WILLIAMSON, M. *Invasions*. *Ecography* . n.22, p. 5-12, 1999

ZANELLA, O.; MARENDA, L.D. Ocorrência de *Limnoperla fortunei* na Central Hidrelétrica de Itaipu, p. 41. In: V Congresso Latinoamericano de Malacologia. São Paulo, Instituto Butantan/ Instituto de Biociências – USP. 2002.

ANEXOS

Anexo 1

PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO	Nº: Data emissão: Revisão n: Data revisão:
	
SETOR: LELF	
Tarefa: Coleta no campo e transporte do mexilhão dourado – Coleta novembro de 2012	
Executante: Técnicos e estudantes de Pós-graduação	
Resultados esperados: Recebimento dos mexilhões do campo, preparo quarentena	
Recursos necessários: Acondicionamento dos mexilhões nos aquários de manutenção	
Atividades em Itaipu: Os animais serão colocados em aquários para o procedimento de depuração. Os mesmos permanecerão nos aquários até o dia de serem embalados para viagem ou seja do dia 12 ao dia 14/11. Data 12/11/12 Manhã/Tarde - Pedir ao Domingo para deixar os aquários cheios de água do reservatório (3 aquários com 200 L de água) até a minha chegada por volta das 14 horas 1 – Ao chegar no laboratório e verificar os aquários ir coletar os animais com o Sr . Pedro. 2 - Após o preparo dos aquários seguir para os locais de coleta 3 - As coletas serão realizadas no reservatório de Itaipu nos locais onde os mexilhões estiverem com menor acúmulo de sedimentos (trapiche). 4 – Medir e anotar a temperatura da água dos locais de coleta. 5 _ No final da coleta, os mexilhões devem ser lavados com água do próprio ambiente (lavar os mexilhões com água do reservatório – mangueira - e não na água que cai do teto (evitar o stress no animais). Os mexilhões deveram ser deixados no balde dentro do laboratório. 6 – Depois dos animais coletados e lavados deixa-los aguardando no balde 7 – Inserir aeração em cada aquário e medir a temperatura da água. 8 – Estimar a quantidade de animais por aquário (serão 5 kg por aquário) . 9 – Os animais coletados serão acondicionados nos aquários para a depuração. Estes permanecerão nos aquários sem alimento até o dia da embalagem e transporte. 7 – Após 1 hora do acondicionamento dos animais nos aquários a temperatura da água será medida e a amônia serão medidas. 8 – Ao final da tarde antes de deixar o laboratório e após uma inspeção visual no aquário será feita uma troca parcial desta (ou total caso seja necessário). A temperatura será novamente verificada.	

Data 13/11/12

Manhã/Tarde

1 – Ao chegar no laboratório na manhã do dia 13/11 será feita a inspeção visual do aquário, a temperatura e a concentração de amônia será medida e será feita a troca parcial da mesma se necessário

2 – Procedimento de coleta de larvas.

3 – No final da tarde será feita nova inspeção visual nos aquários e troca de água parcial, a temperatura será medida antes e depois da troca.

Data 14/05/12

Manhã/Tarde

1- Preparo dos mexilhões para viagem –

O processo devera ser iniciado as 9:00 horas da manha com a medida da temperatura. A partir deste momento será adicionado gelo de modo que a temperatura caia 2 graus .

Será feita a avaliação da temperatura da água dos aquários e diminuição desta para até 15°C através da adição de gelo na água. Este procedimento deve ser feito lentamente e a redução de temperatura alcançada também lentamente.

- Após um período de 1 hora na temperatura de 15°C os mexilhões estão prontos para o procedimento de embalagem.

O procedimento será finalizado as 13:00 e os mexilhões devem estar embalados ate as 13:30 horas.

Os mexilhões serão acondicionados em 3 caixas de um forma únicas

- No final do processo de adequação da temperatura da água as caixas deverão estar com o gelo em gel e já geladas (ver a temperatura) para o acondicionamento dos mexilhões. As caixas devem ser preparadas da seguinte forma:

Cada caixa receberá aproximadamente 4 kilos de animais

Preparo das caixas - Os mexilhões serão acondicionados em sacos plásticos Ao final será injetado ar neste saco e este será fechado. Será colocado um pano úmido e o gelo em gel ficara encima da caixa sob o pano úmido de modo a não ficar em contato direto com os animais. Um termômetro será colocado na lateral da caixa e na tampa por dentro e neste momento será medida a temperatura. A caixa será fechada. Este termômetro será utilizado para a verificação da temperatura que os moluscos estarão no momento da desembalagem.

Transporte do material até o laboratório

Cuidados:

• Na área de coleta: material de segurança pessoal (luvas, chapéu, protetor solar) e material de coleta, embalagem e dissecação (pinças, tesouras, espátulas, caixas térmicas, panos, sacos plásticos, gelo em gel (3 por caixa), fita crepe para fechar os sacos, termômetros para as 3 caixas, redinha para retirar os animais do fundo do aquário). Bombinhas de ar para oxigenar os aquários, mangueirinhas, extensão longa e adaptadores, licença de coleta.

Aprovação:

PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO (POP)	Nº: Data emissão: Revisão n: Data revisão:
Setor: Laboratório de Estudos de <i>Limnoperna fortunei</i> - LELF	
Tarefa: Pedilúvio	
Executante: Técnicos e estudantes de Pós-graduação	
Resultados esperados: DESINFECÇÃO. Evitar que as pessoas levem para dentro do laboratório microrganismos que provocam contaminações no ambiente e levem para fora do laboratório formas larvais do <i>Limnoperna fortunei</i> .	
Recursos necessários: Amônia quaternária, água, balança, papel alumínio, béquer 5L, bastão de vidro, EPI'S: (macacão, óculos transparentes vedantes, luvas descartáveis e máscara facial para gases), bancada de fluxo laminar.	
PROCEDIMENTOS:	
1- Colocar todos os equipamentos de segurança (macacão, óculos transparentes vedantes, luvas descartáveis e máscara facial para gases);	
2- Desligar o ar condicionado;	
3- Levar a amônia quaternária para a bancada da balança e pesar 1g /L? 0,1%???? (anotação no meu caderno 28/06/2010)(um grama por um litro de água) sobre um pedaço de papel alumínio ou placa de petri. Obs: É usualmente preparado 5L de solução. Para isso, pesar 5g de amônia quaternária na balança.	
4- Fechar o frasco com a amônia quaternária imediatamente após pesagem;	
5- Levar para bancada de fluxo laminar 1 béquer de plástico com marcação de 5L e identificado como "Amônia" (localizado abaixo da pia da bancada), preenchido com 2L de água de torneira;	
6- Transferir a amônia quaternária já pesada para a bancada de fluxo laminar e diluí-la no béquer com água de torneira fazendo o uso de um bastão de vidro;	
7- Após misturar a solução na bancada de fluxo laminar, ela pode ser retirada e transferida para a bancada de experimentos. Lá, será adicionado mais água de torneira até completar 5L, fazendo-se uso de uma proveta. Obs: Despejar a água lentamente e com cuidado para evitar a formação de espumas.	

8- Transferir a solução para o galão próprio intitulado “Solução para pedilúvio” de 5L.

9- O pedilúvio deverá ser colocado em uma bandeja plástica com espuma sólida na porta de entrada do laboratório e da sala molhada para desinfecção dos calçados das pessoas. É muito importante no caso de visitas ao laboratório, pois microrganismos podem ser introduzidos no ambiente pela sola do sapato e podem também ser levadas formas larvais para fora do laboratório.

CUIDADOS:

1-No momento da pesagem da amônia quaternária, devemos seguir todas as instruções para evitar inalação do pó do produto, por ser muito fino e tóxico;

2- AR CONDICIONADO DESLIGADO;

3- O uso dos EPI'S é indispensável. (Macacão, óculos transparentes vedantes, luvas descartáveis nas duas mãos e máscara facial para gases com dois filtros);

4- Após pesagem fechar frasco imediatamente.

APROVAÇÃO:
