



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA MECÂNICA

**“DETERMINAÇÃO DA VARIAÇÃO DO FATOR DE PERDA
DE CARGA EM SISTEMAS FLUIDO MECÂNICOS POR
AÇÃO DE BIO INCRUSTANTES, O CASO DO *LIMNOPERNA*
FORTUNEI:**

**UMA CORRELAÇÃO COM O TEMPO DE OPERAÇÃO DESSES
SISTEMAS”**

TÂMARA RITA COSTA DE SOUZA

BELO HORIZONTE, SETEMBRO DE 2016

Tâmara Rita Costa de Souza

**“DETERMINAÇÃO DA VARIAÇÃO DO FATOR DE PERDA
DE CARGA EM SISTEMAS FLUIDO MECÂNICOS POR
AÇÃO DE BIO INCRUSTANTES, O CASO DO *LIMNOPERNA
FORTUNEI*:**

**UMA CORRELAÇÃO COM O TEMPO DE OPERAÇÃO DESSES
SISTEMAS”**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica.

Área de concentração: Energia e Sustentabilidade

Orientador (a): Prof. Carlos Barreira Martinez (UFMG)

Co-orientador (a): Profa. Edna Maria de Faria Viana (UFMG)

Belo Horizonte

Escola de Engenharia da UFMG

2016

S729d	<p>Souza, Tâmara Rita Costa de. Determinação da variação do fator de perda de carga em sistemas fluido mecânicos por ação de bio incrustantes, o caso do <i>Limnoperna fortunei</i>. [manuscrito]: uma correlação com o tempo de operações desses sistemas / Tâmara Rita Costa de Souza. – 2016. 77 f., enc.: il.</p> <p>Orientador: Carlos Barreira Martinez. Coorientadora: Edna Maria Faria Viana.</p> <p>Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia.</p> <p>Inclui anexos.</p> <p>Bibliografia: f. 69-76.</p> <p>1. Engenharia mecânica - Teses. 2. Mexilhão - Teses. 3. Incrustações - Teses. 4. Usinas hidrelétricas - Teses. I. Martinez, Carlos Barreira. II. Viana, Edna Maria de Faria. III. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. IV. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDU: 621(043)</p>
-------	--

À minha família,

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus por ter me levado pelos melhores caminhos, pelos quais tive a oportunidade de conhecer pessoas maravilhosas que acrescentaram muito à minha vida. Agradeço aos meus pais e irmãos pela paciência ao longo deste trabalho e por tornarem ele mais ameno. Ao meu amado marido, agradeço o carinho, a bondade e a compreensão, sem ele não teria conseguido. Ao meu filho, a benção mais grandiosa da minha vida, agradeço por me ensinar a lutar, a não desistir e por dar ânimo à minha busca por algo maior que de todas as formas envolve ele. Agradeço ao Martinez, pelos momentos de troca, de ensinamento e de carinho. A você Edna, agradeço pelas conversas, acalentos e inúmeras dicas. Agradeço também os momentos de descontração aos colegas do CPH que me ajudaram sempre e quando precisei.

SUMÁRIO

NOMENCLATURA.....	I
LISTA DE FIGURAS	II
LISTA DE TABELAS	III
RESUMO	IV
ABSTRACT	V
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Objetivo	5
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	6
2.1 Mexilhão dourado.....	6
2.1.1 Características da espécie	9
2.1.1.1 Ciclo de vida.....	12
2.1.1.2 Reprodução.....	15
2.1.1.3 Idade e crescimento	17
2.2 Perda de carga.....	18
2.2.1 Perda de carga contínua.....	19
2.2.1.1 Expressões para determinação do coeficiente de perda de carga	20
2.3 Infestação de <i>L. fortunei</i> em sistemas hidráulicos.....	24
2.3.1 Tipos de controle de infestação	26
2.3.1.1 Controle químico	26
2.3.1.2 Controle por choque térmico	27
2.3.1.3 Controle por privação de oxigênio	27
2.3.1.4 Controle por filtração.....	28
2.3.1.5 Controle por ultravioleta.....	28

2.1.3.6 Controle por corrente elétrica e acústica	28
2.1.3.7 Controle por velocidade da água	29
2.1.3.8 Controle por campo magnético	29
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	31
3.1 Taxa de crescimento do <i>L. fortunei</i> (Dunker, 1857).....	31
3.2 Espessura da camada	32
3.3 Ângulo de incrustação (θ).....	34
3.4 Reynolds	36
3.5 Rugosidade	38
3.6 Cálculo do fator de perda de carga (f)	40
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	44
5 CONCLUSÕES.....	65
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69

NOMENCLATURA

Ind – indivíduos

Re – Reynolds

e/D – Rugosidade Relativa

UV – Ultravioleta

Gs – Gauss

\emptyset - Diâmetro

LISTA DE FIGURAS

FIGURA1 – Exemplos de mexilhões dourados.....	1
FIGURA 2 – Rota de invasão da América do sul.....	2
FIGURA 3 – Incrustação mexilhão dourado dentro de tubulações.....	3
FIGURA 4 – <i>L. fortunei</i> . Esquema da anatomia com detalhe das correntes ciliares	10
FIGURA 5 – Fases larvais do <i>Limnoperna Fortunei</i> , praia do veludo, Porto Alegre, Rio Grande do Sul. (1) Mórula Ciliada; (2) Larva Trocófora Fase 1; (3) Larva Trocófora Fase 2; (4) Larva Trocófora Fase 3; (5) Larva Trocófora Fase 4; (6) Larva “D”; (7) Veliger de Charneira Reta; (8) Larva VeligerUmbonado; (9) Larva Pediveliger; (10) Pós-larva.	14
FIGURA 6 – Grades incrustadas com a carcaça do mexilhão dourado	32
FIGURA 7 – Reprodução da superfície da grade sete.....	33
FIGURA 8 – 1ª Amostra de mexilhões contendo 100 gr de carcaça contendo indivíduos de (a) 0-5 mm; (b) 5-10 mm; (c) 10-15 mm; (d) 15-20 mm; (e) 20-25 mm; (f) 25-30 mm.	34
FIGURA 9 - Orientação para medição de indivíduos adultos de mexilhões.....	35
FIGURA10 – Tamanhos de mexilhões variando de 2,5 a 30 mm.....	35
FIGURA 11 – Forma como a rugosidade média é determinada na superfície.....	39
FIGURA 12 – Medição da rugosidade da superfície com incrustação de mexilhão dourado para uma mesma classe e localidade (Usina Itaipu)	39
FIGURA 13 – Evolução da perda de carga em tubos com infestação de 1,0 i/cm ²	42
FIGURA 14 – Planilha para cálculo de f no Excel ©.....	43
FIGURA 15 – Taxa de crescimento do <i>L. fortunei</i> em função do tempo.....	45
FIGURA 16 – Gráficos Tempo de vida x Espessura da camada para (a) Uma Camada; (b) Duas Camadas; (c) Três Camadas; (d) Quatro Camadas	46
FIGURA 17 – Gráfico de Diâmetro x f para diferentes camadas de incrustação.....	62

LISTA DE TABELAS

TABELA1 - Principais estudos vinculados ao <i>Limnoperna fortunei</i> (DUNKER, 1857)	7
TABELA 2 - Resumo dos resultados encontrados no Thomson Insitute for Scientific Information <i>Web of Science</i>	8
TABELA 3 - Tabela do crescimento SANTOS, 2004 e DARRIGRAN E MAROÑAS, 2002.	18
Tabela4 - Valores médios das espessuras das 9 grades estudadas	33
TABELA5 – Dimensão das amostras de mexilhão dourado coletados na Usina de Itaipu.....	35
TABELA 6 – Valores dos ângulos de incrustação calculados a partir da altura e comprimento valvar	36
TABELA 7 – Valores da rugosidade de cada linha das grades e a rugosidade média final.....	40
Tabela 8 – Taxa de crescimento adaptado SANTOS (2004) e DARRIGRAN & MAROÑAS (2002)	44
TABELA 9 – Valores de f para uma camada de incrustação de 50,8 a 300 mm	48
TABELA 10 – Valores de f para uma camada de incrustação de 350 a 500 mm	49
TABELA 11 – Valores de f para uma camada de incrustação de 550 a 700 mm	50
TABELA 12 - Valores de f para duas camadas de incrustação de 50,8 a 300 mm.....	51
TABELA 13 - Valores de f para duas camadas de incrustaçãode 350 a 500 mm.....	52
TABELA 14 - Valores de f para duas camadas de incrustação de 550 a 700 mm.....	53
TABELA 15 - Valores de f para três camadas de incrustação de 50,8 a 300 mm.....	54
TABELA 16 - Valores de f para três camadas de incrustação de 350 a 500 mm.....	55
TABELA 17 - Valores de f para três camadas de incrustação de 550 a 700 mm.....	56
TABELA 18 - Valores de f para quatro camadas de incrustação de 50,8 a 300 mm	57
TABELA 19 - Valores de f para quatro camadas de incrustação de 350 a 500 mm	58
TABELA 20 - Valores de f para quatro camadas de incrustação de a 550 a 700 mm	59
TABELA 21 – Valores de f para diâmetros de 2 e 4” com variação de tempo.....	60
TABELA 22 – Valore de f para variações de diâmetro em função das camadas 200 a 700 mm.	60
Tabela 23 – Dados de Perda de Carga para 2 e 4” em função da equação de Darcy	63
Tabela 24 – Dados de Perda de Carga para 2 e 4” em função da equação de RESENDE.....	63

RESUMO

O Brasil tem na sua matriz energética uma grande parcela de geração hidrelétrica, parcela esta que há algum tempo vem sofrendo com os impactos provocados pela infestação do *Limnoperna fortunei*, popularmente conhecido como mexilhão dourado. Este molusco é uma espécie invasora vinda do sul da Ásia, detectada na América do Sul em 1991 no Rio de La Plata e desde então seus vestígios estão sendo encontrados ao longo de toda costa assim como portos e rios por todo território brasileiro. Este tipo de mexilhão, além de afetar a fauna e flora local vem causando problemas através de sua incrustação nas tubulações e condutos de toda rede hidrelétrica e também doméstica. Sua fixação causa muitas vezes o entupimento das tubulações com menores diâmetros e em outros casos a diminuição do diâmetro interno das tubulações, o que acarreta um aumento de perda de carga. Existem diversos estudos sobre como controlar a infestação da espécie, porém, até o momento ainda não se tem relatos de qualquer processo que tenha erradicado ou contido tal infestação. Este trabalho apresenta uma avaliação do efeito da incrustação em tubulações de diversos diâmetros sendo possível determinar a evolução do fator de perda de carga em função da infestação, variando-a de acordo com o número de camadas de incrustação. Os resultados obtidos mostram que quanto menores as tubulações, maiores são os impactos relacionados às perdas e eficiência, ambos, se comparados a sistemas sem nenhum tipo de incrustação. Em muitos casos pode-se ter problema de oclusão das tubulações, causando entupimento do sistema. Para maiores diâmetros, o impacto é proporcionalmente menor. Entretanto, conforme o número de camadas de incrustação aumenta existe um aumento da perda de carga no sistema. É importante ressaltar que o molusco em estudo, apresenta altas proporções de infestação e consegue sobreviver, se desenvolver e crescer em diversas condições, sendo necessárias novas e constantes observações a respeito de seu avanço sobre as bacias hidrográficas no Brasil.

Palavras-chave: Mexilhão dourado, Incrustação, Hidrelétrica

ABSTRACT

Brazil has in its energy matrix a large share of hydroelectric generation, this portion that for some time been suffering from the impacts caused by the infestation of *Limnoperna fortunei*, popularly known as golden mussel. This mollusk is an invasive species coming from South Asia, detected in South America in 1991 in Rio de La Plata and since then its traces are found along the entire coast as well as ports and rivers throughout Brazil. This type of mussel, and affect the fauna and local flora has been causing problems through its scale in pipes and conduits of the entire hydroelectric network and also domestic. Its clamping often causes clogging of pipes with smaller diameters and in other cases a reduction of the internal diameter of the pipe, which carries a pressure loss increases. There are several studies on how to control the infestation of the species, but until now there is still no reports of any process eradicated or contained such infestation. This paper presents an assessment of the effect on fouling of pipes with different diameters being possible to determine the evolution of the pressure loss factor due to the infestation, varying according to the number of layers of fouling. The results show that the smaller the pipe, the greater the impacts related to losses and efficiency, both compared to systems without any fouling. In many cases you can have problem of occlusion of the pipes, causing system clogging. For larger diameters, the impact is correspondingly smaller. However, as the number of scaling layers increases there is an increased pressure drop in the system. Importantly, the mollusk study presents high rates of infestation and can survive, develop and grow under different conditions, requiring new and constant comments about their progress on the watersheds in Brazil.

Keywords: Golden Mussel, Inlay, Hydro

1 INTRODUÇÃO

Ao longo dos anos a distribuição das espécies invasoras vem aumentando em grande escala e sofrendo mudanças através das atividades desenvolvidas pelo homem, que podem ou não ser intencionais (RICCIARDI & MACISSAC, 2000). Essa distribuição pode acontecer através das vias de invasão, água do lastro dos navios, por exemplo, ou mudanças globais, oferecendo às espécies, ambientes favoráveis à sua proliferação (DUKES & MOONEY, 1999).

A liberação das espécies através das vias de invasão pode se dar de forma acidental, considerada quando há uma introdução deliberada não autorizada, ou intencional, quando é estimulada para determinados fins, como no Brasil no século XIX, para fins alimentícios, estéticos e de controle.

Dentre essas espécies invasoras, encontra-se o mexilhão dourado, *Limnoperna fortunei* (DUNKER, 1857), molusco bivalve pertencente à família dos mexilhões marinhos (Mytilidae), ordem Mytiloidea e subclasse Pteriomorpha, originária do sudeste asiático, especialmente à China. Estudos comprovam que esta espécie foi trazida para a América do Sul através da “água do lastro” dos navios, sendo registrada na desembocadura do Rio de La Plata, na costa Argentina, em 1991. Nos anos seguintes, até os dias atuais a espécie vem se expandindo através da bacia do Rio de La Plata, segunda maior bacia fluvial da América do Sul formada também pelos rios Paraguai e Paraná (OLIVEIRA, 2003). A Figura 1 mostra exemplos de mexilhões dourados em diversos tamanhos.



FIGURA1 – Exemplos de mexilhões dourados

FONTE – (a) Próprio autor, (b) CATALDO *et al*, 2011

Além do Brasil e Argentina, os países mais afetados são Uruguai, Paraguai e Bolívia. No Brasil, a dispersão já atinge os estados do Rio Grande do Sul, Paraná, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso, São Paulo e Minas Gerias (DARRIGRAN *et al*, 2009), com uma taxa de dispersão de 240 km/ano (DARRIGRAN *et al*, 2007). A Figura 2 mostra a rota de dispersão do mexilhão dourado ao longo do território brasileiro e quais as usinas contaminadas.

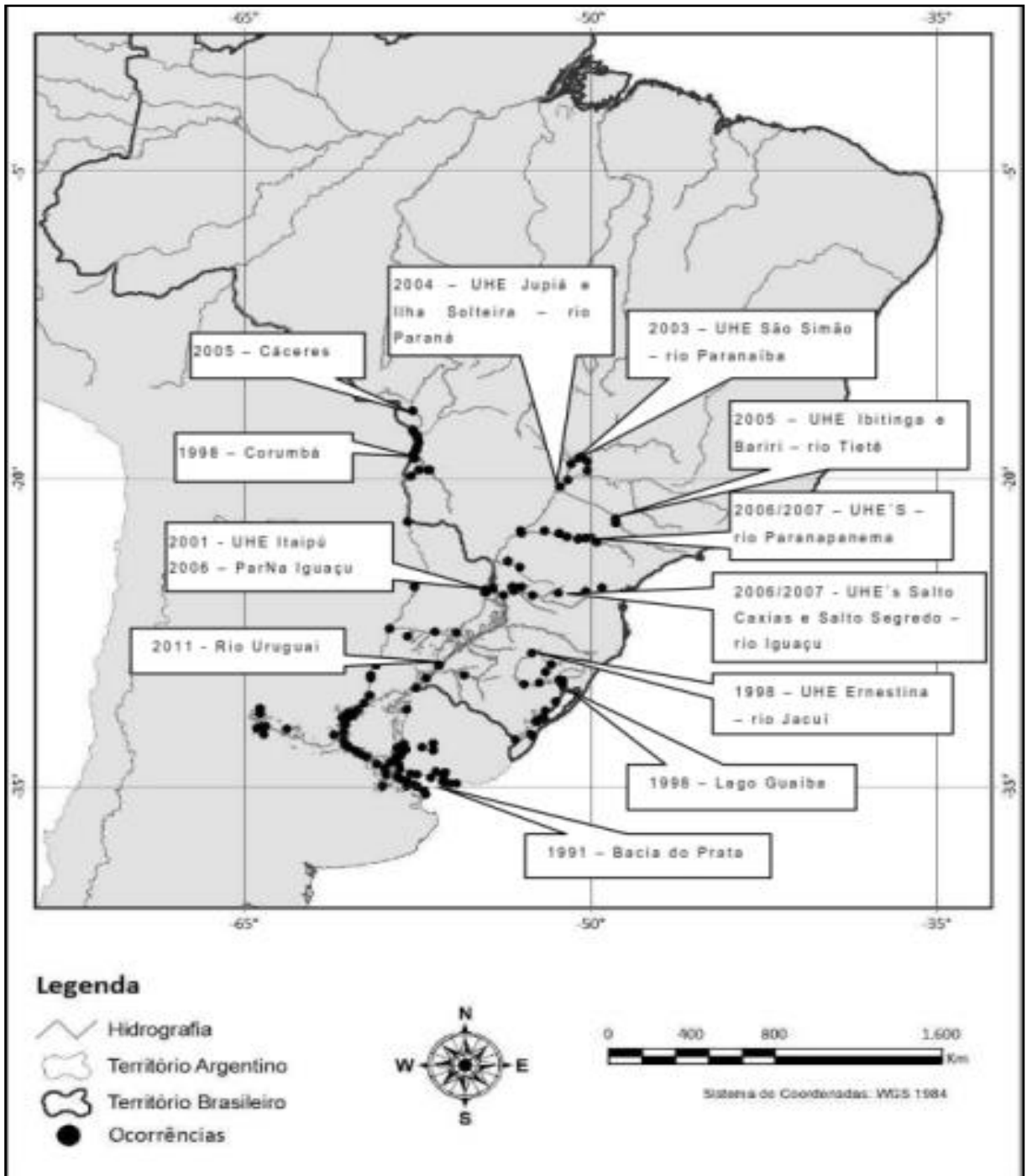


FIGURA 2 – Rota de invasão da América do sul

FONTE – MADER NETTO, 2011

Após a invasão, os ambientes começam a apresentar impactos na fauna e flora, gerando problemas econômicos, pois, como não há competição, predadores ou doenças, o crescimento da espécie se dá de forma acelerada, alcançando densidades superiores a 150.000 ind/m² (DARRIGRAN, 2002), configurando o efeito conhecido como *macrofouling*. A seguir a Figura 3, visão da forma de incrustação, dentro de uma tubulação, do mexilhão dourado.



FIGURA 3 – Incrustação mexilhão dourado dentro de tubulações
FONTE – (a) e (b) OLIVEIRA *et al* 2004 e (c) CORSAN (2008)

O mexilhão se fixa a qualquer tipo de substrato e consegue filtrar totalmente a água, o que gera problemas como redução da turbidez da água e alterações na cadeia alimentar (SYLVESTER *et al*, 2005). Ele consegue se alimentar e reproduzir de forma acelerada, tornando-se um potente competidor com fácil dispersão, grande colonização e estabilidade em diferentes ambientes. O mexilhão é capaz de se fixar com facilidade a tubulações e filtros, assim como em sistemas de resfriamento e grades, ocasionando o aumento de problemas já existentes como perda de carga e corrosão, além de não ser possível evitar um maior número de manutenções, evidentemente aumentando os custos das usinas (BONAFÉ *et al*, 2007).

É constatado que a reprodução do mexilhão dourado acontece diversas vezes ao longo do ano, porém, existem condições de contorno que fazem dessa afirmação verdadeira ou falsa, sendo esta reprodução favorável a temperaturas mais elevadas onde os ciclos reprodutivos duram mais tempo. Suas larvas, apesar de não possuírem função natatória, podem atingir lugares diferentes dos já infestados através do movimento da água ou até mesmo por transportes, como no caso do lastro dos navios, conseguindo sobreviver por um período pré-estabelecido de até 15 a 20 dias (OLIVEIRA, 2003), onde, por sua vez, ocorrerá a fixação através dos fios do bisso e continuação do desenvolvimento do mexilhão, que podem atingir até 49 mm de

comprimento valvar. Há, porém, ressalvas a serem feitas a respeito deste comprimento, uma vez que, a título de pesquisa existem fatores que são melhores analisados para uma menor faixa de comprimento, que para este trabalho será limitada a 23 mm, assim como DARRIGRAN *et al* (2009).

Em contrapartida à enorme evolução e desenvolvimento da espécie, têm-se atualmente inúmeros projetos voltados para a prevenção da espécie, seguindo uma análise de avaliação de risco, detecção precoce, rápida resposta e educação pública (DARRIGRAN & DAMBORENEA, 2009) e segundo DARRIGRAN (1995), pode-se fazer o controle desta espécie através de descargas elétricas, venenos, eletromagnetismo, altas temperaturas e ultrassom, porém, todos estes métodos se tornam inviáveis pela dificuldade de operação e elevados custos, além de, no caso dos venenos, poder erradicar também toda fauna e flora local e do meio a que entrar em contato com tal toxicidade, mais a frente serão levados em consideração os melhores e mais eficientes meios de controle da espécie.

Atualmente vê-se a possibilidade de alteração genética a fim de modificar os genes reprodutivos do mexilhão, para que não possam mais se reproduzir, diminuindo então, gradativamente a espécie ao colocá-la em contato com as que já então infestadas no meio ambiente. Isso geraria um recuo na proliferação da espécie, uma vez que não seriam liberados gametas suficientes para uma alta reprodução e ao longo da inserção da nova espécie os organismos não conseguiriam se manter em equilíbrio, desacelerando então o processo de infestação ao longo dos rios. Este é um estudo recente que procura fomentos para sua continuação e sob análise de variáveis que podem interferir e invalidar a pesquisa (ULIANO, 2014).

Além de causar todos os danos já mencionados, a incrustação do mexilhão está diretamente relacionada à perda de carga hidráulica, uma vez que através da formação do *macrofouling*, esta infestação reduz a área útil de passagem de água no interior das tubulações e aumenta a rugosidade relativa, que nada mais é do que uma simulação da aspereza e grau de irregularidade da superfície interna das tubulações (NIKURADSE, 1933).

Com o passar do tempo essa infestação, que já causa vários problemas, pode gerar a impossibilidade do fluxo nas tubulações, uma vez que as mesmas estarão totalmente tomadas

pelo mexilhão, o que também levará a um decréscimo de nutrientes e oxigênio, deteriorando em larga escala os organismos presentes neste ambiente.

Por fim, além de causar um aumento de perda de carga nas tubulações, o mexilhão também acarreta uma perda de carga no sistema ao se fixar nas grades de tomada d'água em usinas hidrelétricas, diminuindo o rendimento da usina e aumentando a força do fluxo de água sobre a grade, podendo ao limiar, romper as grades.

O manuseio dessa espécie requer cuidados especiais uma vez que as pesquisas podem causar a disseminação da espécie gerando além de um desequilíbrio para o ambiente que o recebe.

1.1 Objetivo

Determinação do fator de perda de carga para tubulações infestadas com mexilhão dourado, com densidades de 1 e 3 ind/cm², em função do número de Reynolds e dos diâmetros 50,8 (2") e 101,4 (4") comerciais e de 150 a 700 mm.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Mexilhão dourado

Este presente estudo visa determinar a taxa de crescimento do *Limnoperna fortunei* (DUNKER, 1857), vulgo mexilhão dourado, assim como a taxa de deterioração dos sistemas fluido mecânicos, avaliando o tempo de operação destes sistemas, uma vez afetado pela incrustação deste molusco.

A linha de pesquisa segue inúmeras referências no assunto, que vem deste MORTON (1977) (biologia e reprodução) a estudos mais recentes, como MANSUR *et al* (2012) (bioinvasões). O assunto é vasto e possui infinitas referências, que tratam desde a infestação, ocorrência do bivalve em vários ambientes até os estragos causados por sua proliferação.

Atualmente o assunto da infestação do mexilhão dourado é discutido principalmente por atingir o sistema hidrelétrico, causando não só o desequilíbrio da fauna e flora local, como a incrustação nas tubulações, fazendo com que estas sofram uma degradação, implicando em uma maior perda de carga e manutenções mais recorrentes.

Baseado na literatura encontrada e nas pesquisas sobre o assunto foi possível apresentar as ocorrências de infestações do mexilhão dourado, o início das mesmas e os autores mais citados em todas as referências (Tabela 1). Dessa forma, após análise dos textos apresentou-se na Tabela 2 os principais autores, focando na taxa de crescimento do mexilhão dourado. É possível através da Tabela 2 mostrar que a pesquisa se baseou no banco de dados do Thomson Insitute for Scientific Information ou plataforma virtual *Web of Science*, no período de 1945 até 2016, utilizando como principal palavra-chave *Limnoperna fortunei* (Mexilhão Dourado) e outras relacionadas com o tema de pesquisa tais como impactos, tubulações, usinas hidrelétricas e perda de carga.

TABELA1 - Principais estudos vinculados ao *Limnoperna fortunei* (DUNKER, 1857)

País	Autor	Tipo Publicação	Ano Publicação
Argentina	BOLTOVSKOY, D. & CATALDO, D.H.	Artigo	1999
	CATALDO, D.H.	Artigo	2005
	CATALDO, D.H. & BOLTOVSKOY, D.	Artigo	2000
	DARRIGRAN, G.	Artigo	1998, 1999, 2002, 2003
	DARRIGRAN, G.	Livro	2009
	DARRIGRAN, G. & DRAGO, I.E.	Artigo	2000
	DARRIGRAN, G. & MAROÑAS, M.	Artigo	1995
	DARRIGRAN, G. & PASTORINO, G.	Artigo	2002
	MAROÑAS, M.	Artigo	2003
	PASTORINO, G.	Artigo	1993
	PELICHOTTI, C.	Artigo	2002
Brasil	BARBOSA, F.G. & MELO, A.S.	Artigo	2009
	EILERS, V.	Dis. Mestrado	2006
	MANSUR, M.C.D.	Artigo	2004
	MANSUR, M.C.D.	Livro	2012
	MATA, F.A.R	Artigo	2004
	MATA, F.A.R	Dis. Mestrado	2011
	SANTOS, C.P.	Artigo	2005
	SANTOS, C.P.	Dis. Mestrado	2004
	SILVA, J.S.V.	Artigo	2004
OLIVEIRA, M.D.	Artigo	2003	
China	MORTON, B.S.	Artigo	1977, 1982
Coréia	CHOI, S.S. & SHIN, C.N.	Artigo	1985
Japão	IWASAKI, K. & URYU, Y.	Artigo	1998
	MAGARA, Y	Artigo	2001

TABELA 2 - Resumo dos resultados encontrados no Thomson Insitute for Scientific Information *Web of Science*

Web of Science		Mundo	Brasil	Argentina	Estados Unidos/ Canadá
Com as palavras Limnoperna fortunei	Número de trabalhos	213	63	94	30
	Data da mais antiga e da mais nova publicação	1945-2016	2013-2016	1995-2016	1982-2016
Com as palavras Limnoperna, Impacts	Número de trabalhos	65	1	10	3
	Data da mais antiga e da mais nova publicação	---	2012	2006-2016	2007-2015
Com as palavras Limnoperna, Pipes	Número de trabalhos	3	1	1	---
	Data da mais antiga e da mais nova publicação	---	2006	2015	---
Com as palavras Limnoperna, Hydropower plants	Número de trabalhos	0	---	---	---
	Data da mais antiga e da mais nova publicação	---	---	---	---
Com as palavras Limnoperna, Head loss	Número de trabalhos	0	---	---	---
	Data da mais antiga e da mais nova publicação	---	---	---	---
Com as palavras Limnoperna, Free channels	Número de trabalhos	0	---	---	---
	Data da mais antiga e da mais nova publicação	---	---	---	---

FONTE: WEB OF SCIENCE, 2016

É possível observar que o maior número de publicações é pertencente à Argentina. Os estudos são focados no Rio de La Plata, talvez pelo fato de o primeiro registro do *Limnoperna fortunei* (DUNKER, 1857) na América do Sul ter ocorrido neste rio, mais especificamente em Bagliardi, próximo a La Plata, em 1991 (PASTORINO *et al*, 1993) e também pelas consequências causadas pela infestação do mexilhão. Segundo CATALDO & BOLTOVSKOY (2000), na Argentina, o mexilhão dourado tornou-se rapidamente um sério problema para as plantas de abastecimento de água, as estações geradoras de energia elétrica (térmica e nuclear) e demais indústrias que utilizam a água de rios para seus processos. As densidades na região citada chegaram a 31.222 ind/m² em 1992 e 82.151 id/m² em 1993 (DARRIGRAN & PASTORINO, 1995 e PASTORINO *et al*, 1993).

Em seguida tem-se o Brasil, com numerosos estudos e pesquisas voltadas para tal assunto, uma vez que este bivalve vem causando inúmeros prejuízos às principais instalações hidrelétricas do país. Segundo DARRIGRAN & DRAGO (2000), como a espécie se reproduz rapidamente e não existem inimigos ativos na natureza, são encontradas inúmeras formações de grandes aglomerados que reduzem a passagem do fluxo no interior das tubulações, com decréscimo da velocidade da água por fricção. Esta espécie ainda causa inúmeros problemas como entupimentos nos sistemas coletores de água pelo acúmulo de conchas vazias e também a contaminação da água pela mortandade e deterioração em massa. Estes problemas acarretam então o entupimento de bombas, filtros e sistemas de refrigeração de indústrias. Atualmente no Brasil, existem ocorrências registradas do mexilhão dourado nos rios Paraná, Paraguai, Uruguai e Lago Guaíba.

Os demais países, como China, Japão e Coreia, também dispõem de muitas informações a respeito do ciclo de vida deste tipo de mexilhão, principalmente por se desenvolverem em larga escala nestes países sendo principalmente uma espécie de bivalve de água doce nativa dos rios da China e Sudeste da Ásia (DARRIGRAN *et al*, 1998).

Todos os trabalhos encontrados deram base para a formação do presente estudo de caso, sendo avaliadas inicialmente as informações para aperfeiçoamento da curva da taxa de crescimento (comprimento (mm) x período (ano)) do *Limnoperna fortunei* (DUNKER, 1857). Dessa forma, as informações encontradas foram divididas em alguns tópicos para melhor compreensão sobre a vida e o desenvolvimento do mexilhão dourado.

2.1.1 Características da espécie

Basicamente a morfologia do mexilhão dourado, representada pela Figura 4, se caracteriza por pertencer ao Phylum Mollusca e, dentro deste, à Classe Bivalvia, Família Mytilidae, a qual inclui os mexilhões e “mejillines” marinhos, que são formas bissadas de valvas iguais e com dois músculos adutores desiguais. A valva do *Limnoperna fortunei* é distintiva. O nome mexilhão dourado, se deve à leve coloração dourada adquirida pela sobrevivência nas águas claras da América do Sul. Porém, a coloração e o aspecto geral podem variar assim como a espessura das valvas de acordo com o ambiente específico em que vivem (DARRIGRAN &

DAMBORENEA, 2009). Dentre os estudos em questão, o maior comprimento observado foi de 49 mm, para populações do Rio Santa Lucia, República Oriental do Uruguai (DARRIGRAN & EZCURRA DE DRAGO, 2000), porém, para análises gerais, e foco no presente estudo, o maior valor representado será de 23 mm, valor observado em comunidades estudadas no Rio de La Plata (DARRIGRAN & MAROÑAS, 2002).

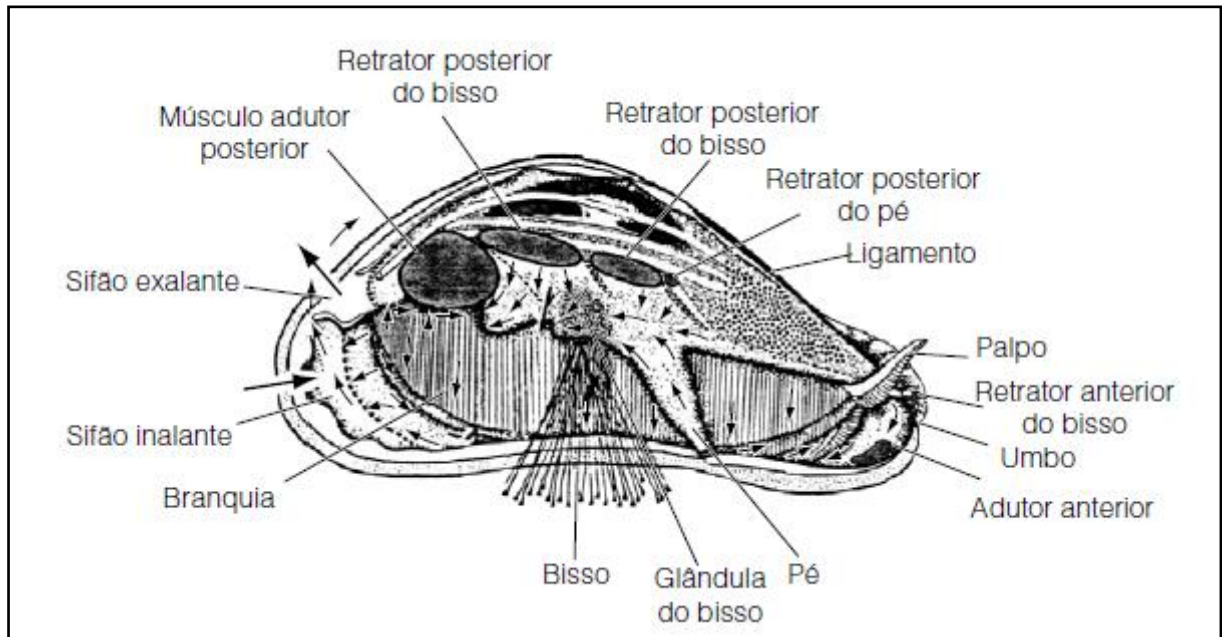


FIGURA 4 – *L. fortunei*. Esquema da anatomia com detalhe das correntes ciliares
 FONTE – Modificado de MORTON, 1973

Apesar de já terem sido encontrados em todo tipo de substrato, os bivalves nativos são infaunais e vivem enterrados em substrato macio. As náides, ou bivalves, projetam fora do substrato apenas o terço posterior de sua concha, para a circulação de água. Esta parte posterior oferece um substrato adequado para o assentamento do mexilhão dourado, ocasionando problemas na circulação (DARRIGRAN & DAMBORENEA, 2009). Os bivalves característicos de água doce, são uma espécie que vive fixa a substratos rígidos (epifaunal), e tem a concha em forma de “gota”, com seu ápice em direção ao substrato, fixo através do bisso, muito parecido aos bivalves de água salgada. Esta espécie pode se alojar a rochas, troncos, caules de plantas aquáticas, carapaças de outros animais, ou ainda a estruturas artificiais como cascos de embarcações e pilares de pontes, enfim, todo tipo de substrato duro (ISHIKAWA, 2015).

Assim como a fixação, os mexilhões dourados possuem uma grande facilidade de se adaptarem a ambientes, podendo ser eles lóticos, lênticos e semi-lóticos, entre 500 mm a 10 m de profundidade com fixação em qualquer tipo de substrato (OLIVEIRA, 2003). A forma como eles vão se agrupando e formando as comunidades é facilitada porque a larva se fixa em substratos duros incluindo superfícies internas de canos, peneiras, aquecedores e condensadores, podendo alcançar densidades aonde os mexilhões chegam a ter de 30 a 40 mm de comprimento valvar e obstruem o fluxo da água (BOLTOVSKOY & CATALDO, 1999).

A faixa de temperatura para seu desenvolvimento e reprodução é bem larga, possibilitando a proliferação em vários pontos diferenciados. Assim como a temperatura, fatores como Ph, salinidade, oxigênio dissolvido, clorofila-a, cálcio e tantos outros, fazem com que seja possível entender um pouco melhor as condições de reprodução do mexilhão. Todos esses fatores influenciam na maturação e desova dos gametas, assim como na sobrevivência das pós-larvas e a longevidade do indivíduo adulto. Existem estudos que buscam aprimorar os limites já estabelecidos para cada fator. Segundo BARBOSA & MELO (2009), a salinidade alta, diminui a sobrevivência do mexilhão dourado, DARRIGRAN *et al* (2009), afirmam que este bivalve não suporta salinidade acima de 3. Segundo OLIVEIRA (2003), nos rios com água ácida, ou seja, Ph abaixo de 5,0, o mexilhão tem baixo potencial de se estabelecer, já Ph acima de 6,0, é uma excelente condição para seu desenvolvimento. Para os valores de cálcio entre 2 a 10,0 mg/l, com média de 4,6 mg/l, o mexilhão consegue se desenvolver sem restrições (OLIVEIRA, 2003). Todos estes fatores somados estabelecem uma permanência ou não do mexilhão ao local onde ocorrem as incrustações, porém, dentre todos os parâmetros mencionados, a temperatura é a que mais influencia em todo o ciclo reprodutivo e desenvolvimento, e somada à taxa de oxigênio dissolvido da água faz com que seu ciclo seja interrompido ou sua comunidade dizimada. Estudos comprovam que a maior causa de mortalidade desses moluscos são as enchentes, uma vez que causam déficit de oxigênio na água, que também pode se dar quando as águas recuam (seca), e os ambientes colonizados ficam expostos e os indivíduos morrem (OLIVEIRA, 2003).

Depois de formada a comunidade, o mexilhão passa por ciclos reprodutivos que vão desde a maturação dos gametas a sua liberação para fecundação externa. Após a fecundação o ovo se transforma em larva em um período que a frente será mencionado e chega a condição de o *Limnoperna fortunei* poder se dispersar através das águas juntamente com a correnteza ou até

mesmo com auxílio de peixes migratórios, fazendo com que ocupem lugares que ainda não possuem comunidades formadas. Estas larvas podem chegar a sobreviver de 15 a 20 dias sem estarem fixas a qualquer substrato (OLIVEIRA, 2003). Depois da água do lastro, esta seria a segunda forma de dispersão mais comumente conhecida nos dias atuais. Algumas pesquisas indicam que alguns aquários são adeptos do uso de mexilhões para filtração da água, e muitas vezes acabam por disseminar ainda mais a comunidade, sendo que as larvas no período de fixação, podem se fixar até mesmo nas mãos dos tratadores e serem liberadas em água corrente e se fixarem nas tubulações domésticas e até mesmo esgoto, uma vez que já mencionado, este bivalve consegue se desenvolver em águas sujas, desde que possuam oxigênio dissolvido. Esta não é uma prática a ser desenvolvida, pois, este animal, assim como qualquer outro depende de alimentação e substrato para se desenvolver e neste caso causariam mais danos do que os já existentes.

Contudo, o mexilhão dourado causa impactos negativos no ambiente em que ocupa causando danos à fauna bentônica e peixes nativos (MAROÑAS *et al*, 2003). No ambiente natural, *L. fortunei* altera a composição das comunidades bentônicas, favorecendo o aparecimento de certas espécies em detrimento de outras (MANSUR *et al*, 2003).

2.1.1.1 Ciclo de vida

O *L. Fortunei* possui um ciclo de vida conhecido que vai desde o ovo até a fase adulta. Alguns autores criaram uma nomenclatura bastante adotada nos meios de pesquisa sobre este tema, que auxiliaram nos tópicos seguintes. CHOI & SHIN (1985), descreveram a espécie como gonocórica (dióica), cujo desenvolvimento seria por meio de uma larva muito semelhante à de outras espécies de bivalves marinhos, os estágios de desenvolvimento são apresentados a seguir:

- Estágios larvais não valvados: desde o ovo a trocófora.
 - Ovo: Segundo os autores CHOI & SHIN (1985) este é esférico, compacto, circundado por material viscoso, medindo em torno de 80µm de diâmetro;
 - Larva ciliada (Figura 5; 1): Formato circular, diâmetro em torno de 80µm, com a presença de cílios esparsos sobre toda a superfície externa.

- Trocófora – Fase 1 (Figura 5; 2): A trocófora, fase 1, possui um comprimento máximo que varia de 80 μ m a 100 μ m. Constitui-se numa estrutura compacta de células, sem ser translúcida.
 - Trocófora - Fase 2 (Figura 5; 3): Ao lado da extremidade oral, abaixo da prototroca, observa-se uma leve reentrância que constitui a boca primitiva. Este estágio mede em torno 110 μ m de comprimento.
 - Trocófora – Fase 3 (Figura 5; 4) : A larva aumenta visivelmente de tamanho, atingindo 125 μ m de comprimento, torna-se levemente translúcida e o polo aboral, mais deprimido e largo.
 - Trocófora - Fase 4 (Figura 5; 5): Com primórdios de concha a larva se desenvolve sem aumentar de tamanho (125 μ m de comprimento), no entanto muda sua forma devido ao crescimento da concha junto ao pequeno achatamento lateral. Este representa a área da charneira da concha em formação.
- Estágios larvais valvados: Da larva “D” ao Pediveliger.
 - Larva “D” (Figura 5; 6): Cuja concha, em forma de “D” envolve totalmente a larva, a charneira apresenta-se reta, a estrutura interna pouco definida. O comprimento variou de 100 μ m a 130 μ m.
 - Veliger de charneira reta (Figura 5; 7): Possui concha de contorno mais arredondado. Comprimento variando de 140 μ m a 180 μ m.
 - Veliger umbonado (Figura 5; 8): A concha apresenta umbos centrados distintos, ou seja, levemente elevados, tornando o contorno dorsal das valvas abaulado. O comprimento varia de 190 μ m a 230 μ m.
 - Pediveliger (Figura 5; 9): Neste estágio a larva alcança seu tamanho máximo que varia de 240 μ m a 270 μ m, tendo como característica um pé funcional com o qual pode rastejar.
 - Estágio de pós-Larva ou Plantígrada (Figura 5; 10): com um comprimento em torno de 300 μ m, costumam rastejar ativamente o pé, fixando-se ao substrato com o auxílio do bisso.
 - Juvenil: A concha passa gradativamente a uma forma mitilóide alongada, com os umbos direcionados para frente, ou seja, o crescimento torna-se mais reduzido na

região anterior e proporcionalmente mais acentuado na região pós-umbonal, tanto em altura como comprimento.

- Adulto: A região anterior é tão diminuta que reduz ao limite anterior dos umbos.

Nomenclatura baseada em SANTOS (2004). Então, na Figura 5, é possível visualizar as etapas citadas anteriormente.

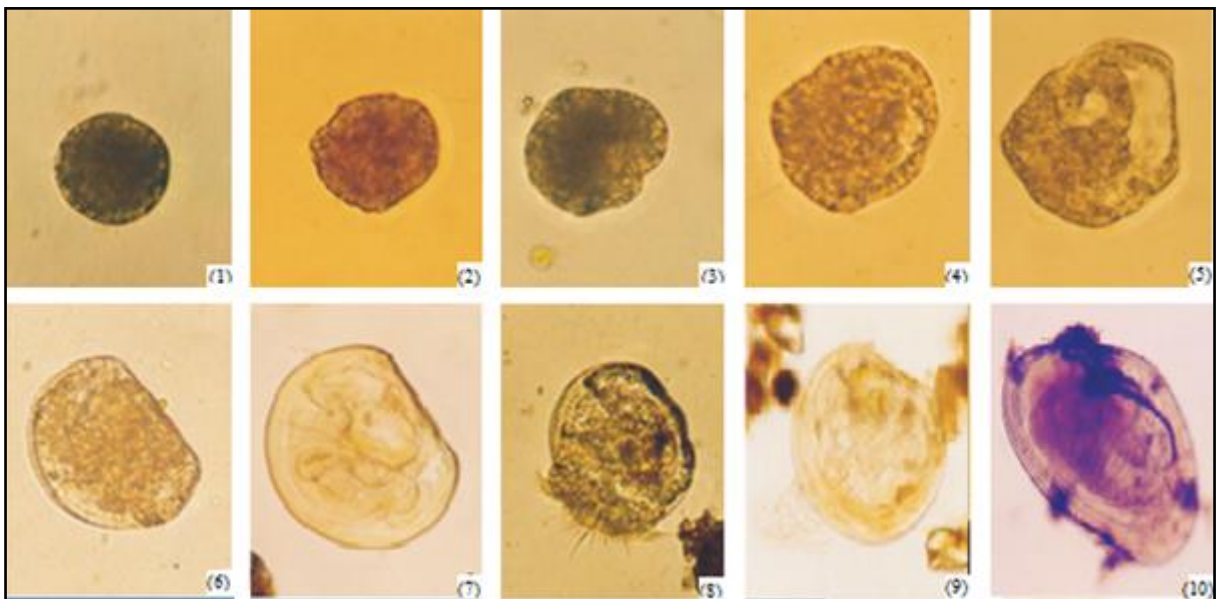


FIGURA 5 – Faz/es larvais do *Limnoperna fortunei*, praia do veludo, Porto Alegre, Rio Grande do Sul. (1) Mórula Ciliada; (2) Larva Trocófora Fase 1; (3) Larva Trocófora Fase 2; (4) Larva Trocófora Fase 3; (5) Larva Trocófora Fase 4; (6) Larva “D”; (7) Veliger de Charneira Retá; (8) Larva Veliger Umbonado; (9) Larva Pediveliger; (10) Pós-larva.

FONTE – Modificado SANTOS, 2004

Cada estágio, ou cada mudança de fase, possui um período de desenvolvimento que segundo CHOI & SHIN (1985) funcionaria da seguinte forma: logo após a fecundação do ovo, o embrião passa por alguns estágios de segmentação e em três horas e trinta minutos atinge o estágio de trocófora ciliada e depois de mais cinco horas aproximadamente, transforma-se na dita larva D. Depois destes estágios, contando mais ou menos cinco dias, esta larva passa a ser considerado um veliger que possui um véu, capaz de nadar e consumir inúmeros nutrientes. Por fim, o último estágio de desenvolvimento é chamado de larva umbonada ou juvenil, pois, possui um pé bem desenvolvido capaz já de se fixar aos substratos. Existem pesquisas citadas neste trabalho que ainda buscam a compreensão de como se dá a duração da transformação da larva em juvenil e assim em indivíduo adulto. São conhecidos alguns dados de MAROÑAS (2003), que dão uma estimativa geral da taxa de crescimento do mexilhão. De acordo com

CHOI & KIM (1985), são gastos de 15 a 20 dias para que o mexilhão se desenvolva de ovo até a fase descrita como pediveliger. Esta mesma informação é encontrada em BONETTO & EZCURRA DE DRAGO (1963), porém com uma pequena alteração para 21 dias completos.

Após a fase pediveliger o mexilhão passa a pós-larva, juvenil e adulto, sucessivamente, gerando novamente ciclos reprodutivos e comunidades em cima de comunidades. É importante destacar que a duração do ciclo de vida pode levar várias semanas, e que a disponibilidade de larvas está vinculada com a densidade das populações locais, assim como também pelas características químicas (pH, níveis de cálcio), físicas (temperatura, velocidade de corrente) e biológicas do ambiente (produtividade primária) (DARRIGRAN & DAMBORENEA, 2009).

2.1.1.2 Reprodução

O ciclo reprodutivo do mexilhão dourado acompanha a fase natural de desenvolvimento de um bivalve, ou seja, precisa de uma comunidade ativamente incrustada, com condições de reprodução instaladas e propriedades específicas da água que auxiliem nesta nova formação, além de nutrientes, para ser garantida a sobrevivência da espécie, mesmo que já comprovadamente ela consiga sobreviver durante um determinado período sem nenhum tipo de alimento.

Os indivíduos atingem o potencial de reprodução aos 6 mm de comprimento, assim afirma DARRIGRAN *et al* (2009), e dessa forma estão preparados para entrarem no primeiro ciclo da reprodução que seria o da maturação dos gametas. Esta fase se dá imediatamente antes da eliminação dos gametas para o meio externo, que por sua vez é causada pelos altos e baixos picos de temperatura. Espera-se que a variação cíclica da temperatura não esteja diretamente relacionada ao ciclo gametogênico, mas sim, às oscilações repentinas de temperatura (MORTON, 1982), que seriam o gatilho que dispara a desova (FERREIRA & MAGALHÃES, 2002). Segundo DARRIGRAN *et al* (2009), os gametas são liberados quando a temperatura alcança 16°C, em estudos de campo, sendo que a reprodução depende da densidade local e levando-se em consideração que a extensão do ciclo reprodutivo é maior

em zonas mais quentes. Já para OLIVEIRA (2003), temperaturas entre 13 e 17°C fazem cessar a reprodução, assim como temperaturas acima de 30°C são prejudiciais à reprodução.

Segundo MORTON (1982), a espécie é dióica, sem ocorrência de hermafroditismo, com desova bianual – uma desova ocorre no verão, quando há um aumento de temperatura e diminuição de oxigênio dissolvido e outra no inverno quando as temperaturas abaixam e há uma elevação de oxigênio dissolvido, lembrando que a gametogênese e a desova são influenciadas pelas variações de temperatura da água. Porém, apesar desta informação é extremamente difícil se estabelecer algum padrão de desova. Para IWASAKI & URYU (1998), a reprodução ocorre uma vez ao ano no Rio Uji, Japão. CATALDO & BOLTOVSKOY (2000), concluíram que o *Limnoperna fortunei* se reproduz continuamente de agosto a abril, em La Plata, mas a presença de larvas decresce entre maio e julho quando a temperatura da água abaixa, enquanto que EILERS (2006), afirma que a liberação de larvas acontece principalmente entre julho e março, nos rios Paraguai e Miranda.

São escassas as informações sobre a proporção de sexos nas distintas populações, porém, em uma população da represa de Plover Cove, em Hong Kong, se consignou uns 34% de machos (MORTON, 1982), enquanto que na população do Balneário Bagliardi (34° 55' S; 57° 49' W) - primeira localidade aonde se registrou a espécie na América do Sul (PASTORINO *et al*, 1993) -, Río de La Plata, Argentina, foi de 45% de machos, 40% de fêmeas e 15% de indiferenciados. A partir de 1993, foi possível reconhecer dois períodos de desova por ano (DARRIGRAN *et al*, 1999). DARRIGRAN *et al* (1998), afirmam ter encontrado 0,55% de hermafroditas no rio de La Plata.

Com liberação dos gametas na água e uma vez fecundados, as larvas colonizam novos lugares por possuírem a característica livre-natantes (CATALDO & BOLTOVSKOY, 2000). DARRIGRAN (2002), e CATALDO & BOLTOVSKOY (2000), afirmam que por ser livre-natante, a larva consegue se deslocar para novos ambientes dentro de um período de até quinze dias, para então se fixar a algum substrato. Este seria o período de sobrevivência da larva, fase caracterizada por ser mais prolongada no plâncton favorecendo a dispersão do *Limnoperna fortunei*

Por último, após a fixação em algum substrato o mexilhão se desenvolve passando por um estágio juvenil, até atingir a fase adulta e começa novamente o ciclo reprodutivo e o aumento das comunidades. Foi possível detectar, através de rastreamento ao longo dos anos, que dez anos após a invasão do mexilhão dourado, observou-se uma estabilização de sua reprodução (DARRIGRAN *et al*, 2003).

2.1.1.3 Idade e crescimento

Segundo HICKS (2004), a crescente população do mexilhão dourado, se deve a três fases, distinguidas entre uma duração indeterminada, ou variável, um crescimento excessivamente rápido e por fim um decréscimo do crescimento exponencial. Estes estágios são caracterizados pelo comportamento da espécie, sendo que o primeiro deles determina que a população se encontra dentro do limite de capacidade de carga do ambiente, já o segundo se limita à rápida expansão da espécie, excedendo temporalmente a capacidade de carga do ambiente invadido, avaliada pelo autor como período de “pânico”, por último a terceira fase se caracteriza pela redução do crescimento exponencial, criando um freio no crescimento da espécie e diminuindo a densidade local, passando então para um estágio de equilíbrio das comunidades (MATA, 2011).

Ao contrário da maioria dos mitilídeos o *L. fortunei* é de água doce podendo atingir em média 35 mm de comprimento (BOLTOVSKOY & CATALDO, 1999), tendo a sua longevidade variando conforme a localização geográfica (MAGARA *et al*, 2001).

A maior estimativa de sobrevivência foi encontrada na região do Rio da Prata, sendo que BOLTOVSKOY & CATALDO (1999) encontraram animais com 3 anos e MAROÑAS (2003) detectou animais que atingiram 3,2 anos. O mexilhão dourado é uma espécie epifaunal, logo, apresenta a capacidade de secreção de proteínas capazes de fixação, denominada bisso, que se adere a qualquer tipo de substrato (natural ou artificial) (DARRIGRAN, 2009).

Neste trabalho foram adotadas três referências para comparação em relação à idade e crescimento do mexilhão, sendo elas: IWASAKI & URYU (1998): destacam uma faixa de

temperatura de 23,5°C para o Rio Uji, Japão, um comprimento máximo de 35 mm e 2 anos de longevidade para o mexilhão; BOLTOVSKOY & CATALDO (1999): avaliaram uma temperatura média de 21,5°C para a Planta Nuclear no Rio Paraná, com crescimento máximo do mexilhão de também 35 mm e 3 anos de longevidade; DARRIGRAN & MAROÑAS (2002): temperatura média de 19°C no Balneário de Bagliardi, o mexilhão dourado atingiu o pico de 36 mm de comprimento e 3,5 anos de sobrevivência.

O crescimento do *L. Fortunei* pode ser avaliado através da Tabela 3.

TABELA 3 - Tabela do crescimento SANTOS, 2004 e DARRIGRAN E MAROÑAS, 2002.

FASE	TAMANHO (mm)	IDADE	
Ovo	0,080	3h e 30m	15 a 20 dias (SANTOS, 2004)
Larva Ciliada	0,080		
Trocófora Fase 1	0,090		
Trocófora Fase 2	0,110	5 a 6 dias	
Trocófora Fase 3	0,125		
Trocófora Fase 4	0,125		
Larva "D"	0,155	5 dias completos	
Veliger Charneira Reta	0,155		
Veliger Umbonado	0,208	--	
Pediveliger	0,243		
Pós-Larva	0,320		
Juvenil / Adulto	4,500	183 dias (DARRIGRAN & MAROÑAS, 2002)	
Juvenil / Adulto	9,500	1º Ano (DARRIGRAN & MAROÑAS, 2002)	
Juvenil / Adulto	17,000	2º Ano (DARRIGRAN & MAROÑAS, 2002)	
Juvenil / Adulto	23,000	3º Ano (DARRIGRAN & MAROÑAS, 2002)	

Todas as análises são feitas baseadas no Rio de La Plata, mediação Balneário Bagliardi, DARRIGRAN & MAROÑAS (2002) e Lago Guaíba, Porto Alegre, SANTOS (2004).

2.2 Perda de carga

Energia perdida pela unidade de peso do fluido quando este escoar. Quando ocorre em tubo ou canal a perda de energia dinâmica do fluido é devida à fricção das partículas do fluido entre si e contra as paredes da tubulação que os contenha. Essas perdas podem ser contínuas, ao longo dos condutos regulares, acidental ou localizada, devido a circunstâncias particulares, como um estreitamento, uma alteração de direção, a presença de uma válvula, etc.

Para o presente estudo a perda de carga a ser analisada será a contínua, que ocorre ao longo de tubulações, foco das infestações do mexilhão e das análises de vida útil após a ocorrência deste bivalve, conseqüentemente o cálculo do fator de perda de carga, mencionado logo abaixo.

2.2.1 Perda de carga contínua

Para este tipo específico de perda, têm-se que, esta se deve ao atrito interno entre as partículas se movimentando em velocidades variáveis (BAPTISTA & LARA, 2002), porém, o fato de ser contínua, é estabelecido por ocorrer ao longo de tubulações. Várias experiências comprovam que esta perda é proporcional ao comprimento da tubulação que possui diâmetros constantes (GUEDES, 2013). Desta forma é importante destacar a forma como se é encontrado este valor, uma vez que, através deste, é possível dimensionar a eficiência final dos sistemas formados.

Através da Equação (1) de Darcy Weisbach é possível chegar-se a valores específicos para a perda de carga.

$$J = \frac{8fQ^2}{\pi^2 gD^5} \quad (1)$$

Onde:

J = perda de carga unitária (m/m);

f= fator de perda de carga;

Q= vazão (m³/s);

g= gravidade (m/s²);

D= diâmetro interno da tubulação (m).

Para o presente estudo, é o fator de perda de carga o item mais importante da equação, pois, todos os outros são de conhecimento, uma vez determinado o conduto a ser analisado. Abaixo, seguem modelos matemáticos utilizados para compreensão e determinação deste fator.

2.2.1.1 Expressões para determinação do coeficiente de perda de carga

Existem diversas expressões que sintetizam a forma para se determinar o fator de perda de carga. A expressão a seguir possibilita a determinação desse fator de forma direta, Equação (2) de Colebrook & White.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \frac{e/D}{3,7} + \frac{2,51}{\text{Re} \sqrt{f}} \quad (2)$$

Onde:

f = fator de perda de carga, ou atrito;

e = rugosidade (m);

D = diâmetro de escoamento (m).

A equação de Colebrook & White possui duas incógnitas, uma de cada lado da igualdade, fazendo com que sua resolução dependa de diversas iterações para se chegar a resultados consistentes. Desta forma, foram utilizadas equações derivativas, mais simples e seguras possibilitando assim o cálculo do fator de perda de carga. Seguindo, têm-se a primeira equação derivativa, de Eck, sendo uma equação direta, sem uso de raízes e em função apenas da rugosidade, número de Reynolds e diâmetro de escoamento, ambos parâmetros conhecidos. Para utilização desta equação, é necessário que se leve em consideração um percentual de erro nos resultados a serem obtidos, erro este considerado como máximo para a expressão tendo o valor de $\text{Erro}_{\text{máx}}=8,20\%$. Tem-se também um limite de trabalho para a rugosidade relativa e o número de Reynolds, ou seja, para se poder trabalhar com a Equação (3) derivativa de Eck, a máxima rugosidade relativa será de $e/D=10^{-6}$ e o maior número de Reynolds a se poder trabalhar é de $\text{Re}=5.10^6$.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left(\frac{e}{3,715D} + \frac{15}{\text{Re}} \right) \quad (3)$$

No ano de 1980, Round chegou a segunda equação derivativa da equação de Colebrook & White. Assim como na equação anterior, existe um erro de aproximação dos resultados, que

para esta equação é de $\text{Erro}_{\text{máx}}=10,92\%$, e o limite de rugosidade relativa a se poder trabalhar é de $e/D=7,5 \cdot 10^{-2}$ assim como o maior número de Reynolds aceitável é de $\text{Re}=10^8$. Vê-se que, se comparada à equação de Eck, a equação de Round, Equação (4), apresenta maior erro, mas também uma maior faixa de trabalho tanto para a rugosidade relativa como para o número de Reynolds.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 1,8 \log \left(\frac{\text{Re}}{0,135 \text{Re} \left(\frac{e}{D} \right) + 6,5} \right) \quad (4)$$

A próxima equação derivativa pertence a Zigrand & Sylvester, Equação (5), com uma faixa de trabalho onde o erro de aproximação dos resultados é de $\text{Erro}_{\text{máx}}= -0,1385\%$ a rugosidade relativa não pode ultrapassar $e/D=7,5 \cdot 10^{-2}$ e o maior número de Reynolds com que se pode trabalhar é de $\text{Re}= 10^8$. Comparando a faixa de aplicação das equações, têm-se os mesmos limites de aplicação para rugosidade relativa e número de Reynolds, porém, com um erro bem menor.

$$\frac{1}{f} = -2 \log_{10} \left(\frac{e}{3,7D} - \frac{5,02}{\text{Re}} \log_{10} \left(\frac{e}{3,7D} - \frac{5,02}{\text{Re}} \log_{10} \left(\frac{e}{3,7D} - \frac{5,02}{\text{Re}} \right) \right) \right) \quad (5)$$

Serghides, desenvolveu duas equações, Equação (6) e Equação (7), tendo a primeira um erro de aproximação de $\text{Erro}_{\text{máx}}=-0,1385\%$, limite de trabalho da rugosidade relativa de $e/D=7,5 \cdot 10^{-2}$ máximo número de Reynolds de $\text{Re}=10^8$ e a segunda um erro de $\text{Erro}_{\text{máx}}=-0,3544\%$, rugosidade relativa de $e/D=10^{-6}$ e número de Reynolds de $\text{Re}=2 \cdot 10^6$.

$$f = \left(S_1 - \frac{S_2 - S_1}{(S_3 - (2S_2) + S_1)} \right) \quad (6)$$

Onde:

$$S_1 = -2 \log_{10} \left(\frac{e}{3,7D} + \frac{12}{\text{Re}} \right)$$

$$S_2 = -2 \log_{10} \left(\frac{e}{3,7D} + \frac{2,51S_1}{\text{Re}} \right)$$

$$S_3 = -2 \log_{10} \left(\frac{e}{3,7D} + \frac{2,51S_2}{\text{Re}} \right)$$

$$f = \left(4,781 - \frac{(S_1 - 4,781)^2}{S_2 - (2S_1) + 4,781} \right) \quad (7)$$

Onde:

$$S_1 = -2 \log_{10} \left(\frac{e}{3,7D} + \frac{12}{\text{Re}} \right)$$

$$S_2 = -2 \log_{10} \left(\frac{e}{3,7D} + \frac{2,51S_1}{\text{Re}} \right)$$

A equação (8), conhecida como equação de Buzzelli, tem o número de Reynolds, rugosidade e o diâmetro da tubulação como os únicos parâmetros para determinação do fator de perda de carga, com erro máximo de $\text{Erro}_{\text{máx}} = -0,1345\%$, rugosidade relativa de $e/D = 7,5 \cdot 10^{-2}$ e número de Reynolds de $\text{Re} = 10^8$.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = B_1 - \left(\frac{B_1 + 2 \log_{10} \left(\frac{B_2}{\text{Re}} \right)}{1 + \frac{2,18}{B_2}} \right) \quad (8)$$

Onde:

$$B_1 = \frac{(0,777 \ln(\text{Re})) - 1,41}{1 + 1,32 \sqrt{e/D}}$$

$$B_2 = \frac{e}{3,7D} \text{Re} + 2,51B_1$$

Também, Vatankhah e Kouchakzadeh, deram sua contribuição para se chegar aos valores do fator de perda de carga, tendo então a Equação (9) as seguintes características: erro_{máx}=0,1472%, e/D=7,5.10⁻² e Re=10⁸.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -0,8686 \ln \left(\frac{0,4587 \text{ Re}}{(G - 0,31) \left(\frac{G}{G + 0,9633} \right)} \right) \quad (9)$$

Onde:

$$G = 0,124 \text{ Re} \frac{e}{D} + \ln(0,4587 \text{ Re})$$

A Equação (10), de Avzi & Karagoz, permanece na linha da equação anterior, sendo: erro_{máx}=8,20%, e/D=10⁻⁶ e Re=5.10⁶

$$f = \frac{6,4}{\left(\ln(\text{Re}) - \ln \left(1 + 0,01 \text{ Re} \frac{e}{D} \left(1 + 10 \sqrt{\frac{e}{D}} \right) \right) \right)^{2,4}} \quad (10)$$

Papaevangelm *et al*, desenvolveram a Equação (11), com um erro maior e positivo. As características são, erro_{máx}=1,0074%, e/D=7,5.10⁻² e Re=10⁸.

$$f = \frac{0,2479 - 0,0000947(7 - \log_{10}(\text{Re}))^4}{\left(\log_{10} \left(\frac{e}{3,615D} + \frac{7,366}{\text{Re}^{0,142}} \right) \right)^2} \quad (11)$$

É importante destacar que não existe equação melhor ou pior. Para cada condição, existe uma equação. Neste caso, a equação escolhida, por ter a faixa de trabalho que melhor de adequou, foi a de Buzzelli. Para escolha da equação, foram feitos cálculos com esta equação, utilizando dados de tubulações sem incrustação para avaliar a faixa de trabalho. Os resultados obtidos foram comparados ao Ábaco de Moody, vide Anexo 1, para validarem a escolha da equação.

2.3 Infestação de *L. fortunei* em sistemas hidráulicos

O problema da infestação vem sendo discutido e tratado sob diversas formas e diversos aspectos, principalmente nas estruturas construídas pelo homem. Começou a ocorrer em 1965 (TCHANG *et al*, 1965), mas só foi constatado em relatórios em 1973 (GPS (Pipeline Study Group) 1973).

As primeiras pesquisas e publicações feitas a cerca do mexilhão dourado, com relação ao controle nas tubulações começaram em MORTON *et al* (1976). Nos anos 80 tornou-se um problema generalizado afetando instalações de transporte de água, como foi o caso de Handan, província de Hebei (XIANG, 1985). Problemas de entupimento das tubulações também já foram relatados em Sushou (LUO, 2006).

Em busca de desenvolvimento, industrialização e modernização, a China melhorou a distribuição de água no país através de desvio de bacias hidrográficas, aumentando também a disseminação do mexilhão por estes canais (XU *et al*, 2009). Um desses casos ocorreu no Rio das Pérolas em Hong Kong, na parte ocidental de Shenzhen. Todos os reservatórios, lagos e sistemas já foram colonizados pelo molusco, o que requer manutenção e limpeza mais constantes com gastos estimados em US\$1 milhão de dólares, para toda a manutenção, sendo a construção girando em torno de US\$12,4 bilhões de dólares (BOLTOVSKOY *et al*, 2015).

Nos últimos anos, várias hidrelétricas apresentaram problemas com a infestação do mexilhão. A de Guangxu, em Canton Province, precisou de ajuda no controle do mexilhão, por ele atingir 100 mm de espessura e aumentar a resistência do fluxo, aumentando a corrosão, obstruindo os tubos e apresentando riscos graves de segurança individual na planta (LI & SU, 2007, YAO & XU, 2013).

Em 2013 foram lançados severos controles à infestação que obtiveram sucesso, sendo alguns deles: filtração, controle de velocidade de fluxo, dissecação, ozonização, peróxido de hidrogênio, cloração e controle biológico, usado em tubulações e revestimento anti-incrustante usado em usinas no geral.

Algumas medidas para eliminação já são comumente usadas nas estações de tratamento de água, como tratamento de água com cloro, adição de filtros para contenção de larvas e duplicação de componentes para facilitar limpeza e não precisar ocorrer paradas. Nas hidrelétricas, o mexilhão atinge principalmente telas de admissão, adutoras e grades de tomada d'água.

Uma área também afetada é o sistema de irrigação na agricultura (KATAYAMA, 2005, AKEHOSHI, 2011), sendo a principal forma de prevenção a renovação mecânica e manual (MINISTRY OF AGRICULTURE FORESTY AND FISHERIES OF JAPAN, 2012).

Na América do sul, os casos registrados começaram a ser datados em 1994 (DARRIGRAN, 1995). O maior impacto é visto ao longo do Rio de La Plata, Argentina. Os problemas são os mesmos detectados e são propostas novas formas de redução da densidade de larvas com o tratamento de água.

Qualquer área com substrato pode ser afetada pelo *Limnoperna fortunei*. Na Ásia e na América do Sul, as instalações que mais apresentam problemas associados à incrustação são: plantas de processamento de água e esgoto, centrais nucleares, usinas hidrelétricas, termoelétricas, embarcações, dentre outras (BOLTOVSKOY *et al*, 2015).

Os componentes mais afetados pela incrustação são: trocador de calor e condensador, tubos, filtros, telas, comportas, bombas, etc. Dentre os principais problemas estão: entupimento, perda de pressão, superaquecimento, corrosão, erosão e abrasão.

Não são relatados, porém, informações a cerca dos custos ao se lidar com o *L. fortunei*, porém, sabe-se que há um aumento no número de horas de mão-de-obra para limpeza e manutenção de problemas de entupimento das tubulações. Por exemplo, em Salto Grande (Argentina/Uruguai), ocorre uma parada a cada sete anos com duração de dois dias para manutenção. Após aparecimento do mexilhão, as paradas duram dez dias (GLASER, 2011).

Os controles ensaiados são principalmente: materiais e revestimentos anti-incrustantes, tratamentos químicos, ultrassom, ultravioleta e controle biológico, dentre outros e os mais utilizados serão citados na próxima seção.

2.3.1 Tipos de controle de infestação

Segue alguns tipos de controle para mediar a infestação do mexilhão dourado, tendo como foco a forma de tratamento e agressão ao ambiente.

2.3.1.1 Controle químico

Alguns controles estão sendo discutidos e avaliados. Dentre eles encontra-se o químico. Este vem sendo bastante discutido e sua aplicação vem se tornando uma saída altamente utilizada no combate da colonização do mexilhão dourado, principalmente em tubulações. Porém, a espécie requer mais estudos a cerca das condições de sobrevivência, uma vez que, ainda se comparada a outras espécies muito próximas, como a *Dreissena*, sobrevive por mais tempo nas mesmas condições (PERPELIZIN & BOLTOVSKOY, 2011).

A vantagem do controle químico é a capacidade estratégica de proteger todo o sistema, a partir do ponto de injeção para o ponto de descarga de água. Ele pode ser aplicado de forma contínua ou semi-contínua, eliminando as larvas na fase de assentamento ou periodicamente para eliminação de adultos. A adição de produtos químicos é rápida e pode ser implementada sem maiores despesas no capital geral, por ter um custo moderado. No entanto, em muitas partes da América do Norte e Europa, controles químicos para macrofouling são cada vez mais difíceis de serem adotados devido a limites regulatórios rigorosos sobre a presença de produtos químicos na água de descarga. (BOLTOVSKOY *et al*, 2015)

Muitos produtos químicos causam a morte dos mexilhões dourados, porém, a segurança do trabalhador fica comprometida e o custo da proteção do ambiente muito elevada. Como os requisitos e condições variam entre as instalações, os métodos de controle devem variar também para cada instalação. Instalações que lidam com altos níveis de infestação são mais propensos a tratamento periódicos ou frequentes para manter os componentes mais sensíveis livres de falhas. Durante os tratamentos periódicos, é essencial aplicar o produto químico continuamente até que a mortalidade de adultos seja atingida. Qualquer interrupção na aplicação de produtos permitirá que os adultos se recuperem e a duração total do tratamento deverá ser aumentada (CLAUDI & OLIVEIRA, 2015).

2.3.1.2 Controle por choque térmico

Outro controle utilizado é o choque térmico, possuindo algumas vantagens importantes sobre outros métodos de controle, especialmente em áreas tropicais e subtropicais, onde as temperaturas de água ambiente já estão mais perto do limite superior de tolerância da espécie. Ele pode ser rentável, especialmente quando há aumento na temperatura da água alcançada por meio de lavagem de recirculação térmica ou de liberação de calor. Por outro lado, também existem limitações e inconvenientes. Regulamentos governamentais, muitas vezes limitam a temperatura da água de descarga, podendo exigir instalações adicionais para reduzir a temperatura do efluente, porém, nem sempre estas modificações são possíveis, por serem muito caras. Mesmo quando este método é aplicável, ele geralmente envolve paradas ou operações de plantas no nível de potência reduzida durante o período de tratamento, o que pode aumentar significativamente os custos, especialmente considerando que, para qualquer temperatura de tratamento, o tempo de operação requerido é maior do que os derivados a partir de experiências de laboratório porque este último não inclui o tempo necessário para atingir a temperatura necessária (PERPELIZIN & BOLTOVSKOY, 2015).

2.3.1.3 Controle por privação de oxigênio

O controle por privação de oxigênio, como a maioria dos outros métodos de controle, também tem desvantagens. Vedar a passagem de oxigênio por um período prolongado exige que a planta esteja montada com tubos de admissão dupla, o que nem sempre é o caso, e a adaptação para montagem dessas entradas, de modo a proporcionar esta alternativa pode ser cara e complicada. Em temperaturas elevadas, a resposta do *Limnoperna f.* à falta de oxigênio é relativamente rápida (cerca de 2 semanas para uma mortalidade de 100% a 27°C), mas a temperaturas mais baixas tempos de resposta aumentam significativamente. Dependendo das condições do projeto da planta as possibilidades de desligar uma seção importante durante semanas ou meses podem ser limitadas. Além disso, a falta de oxigênio aumenta frequentemente à abundância de bactérias redutoras de sulfato, que são responsáveis pela corrosão induzida microbiologicamente (PERPELIZIN & BOLTOVSKOY, 2015).

2.3.1.4 Controle por filtração

A filtração é uma boa opção para eliminação de organismos na água do lastro de navios, o que resulta em uma série de filtros auto-limpantes disponíveis no mercado. Porém, existem estudos a respeito da eficiência dos filtros, CLAUDI *et al*, 2014, testaram filtros com malhas de 57 a 120 μm e perceberam que a malha permitiu a passagem de partículas um pouco maiores que o tamanho dos poros indicados pelo fabricante e chegaram a conclusão de que é necessário que o tamanho do poro seja menor do que o menor tamanho de veliger. No caso do mexilhão dourado com poro no tamanho de 150 μm é suficiente para garantir que nenhum veliger pronto a se fixar passará pelo filtro. Os valores dos poros podem se alterar devido a necessidade ou conhecimento de um veliger menor.

2.3.1.5 Controle por ultravioleta

A luz ultravioleta emite irradiação UV, possuindo um alto potencial no controle dos sistemas devido à boa transmissibilidade na água bruta. Entregando uma quantidade suficiente de raios UV. Na América do Sul, por sua vez, se torna improvável este uso, pois, as águas apresentam muitos sedimentos sólidos em suspensão (PERPELIZIN & BOLTOVSKOY, 2014). A redução da taxa de fluxo ou a espessura da camada d'água poderiam melhorar a eficiência, mas a turbidez da água ainda tornaria economicamente inviável, porém, o alto desenvolvimento da tecnologia, leva a crer que será uma grande promessa.

2.1.3.6 Controle por corrente elétrica e acústica

A corrente elétrica, ainda é um controle inutilizável, pois não possui controle das tensões necessárias nem da quantidade de energia necessária para controle da espécie (CLAUDI & OLIVEIRA, 2015).

A acústica, assim como a corrente elétrica, também não é utilizada no momento, pois, não apresenta um bom controle, apesar de parecer viável (CLAUDI & OLIVEIRA, 2015).

2.1.3.7 Controle por velocidade da água

A velocidade da água se torna uma boa estratégia em situações onde podem ser variáveis. De acordo com MATSUI *et al* (2002), a velocidade da água em que o Mexilhão dourado ainda se encontra fixo é de 1,2 a 1,3 m/s e alinhado com os resultados de XU *et al* (2012) de que as maiores densidades de mexilhão ocorrem de 0 a 1 km da entrada das tubulações, é possível determinar que para remover mexilhões adultos ligados a substratos, a água precisa estar pelo menos a uma velocidade de 2,2 m/s para que ocorra arrancamento. Porém, quando há diversas paradas, o mexilhão desprendido tende a voltar a se fixar estando dentro da tubulação, continuando a crescer e se reproduzir.

2.1.3.8 Controle por campo magnético

Campos magnéticos também são utilizados para controle de infestação. Segundo SMYTHE *et al* (1997), após aplicação de um campo de 3000-Gs, não houve nenhuma inibição de mortalidade dos mexilhões na água e após 99 dias não se notou nenhuma diferença nos mexilhões. Por sua vez, a Companhia Rio Grandense de Saneamento (CORSAN, Brasil, DENGO & CARRARO, 2013) considera o campo magnético como uma das tecnologias mais eficazes para controle de mexilhão na ingestão da água. Segundo RATKIEWICZ (2006), três meses após operação com campo magnético, houve uma redução da infestação na tubulação e aumento da eficiência da bomba.

2.1.3.9 Controle por turbulência

A turbulência vem sendo estudada a fim de se tornar um processo de controle seja pelas larvas ou mexilhões adultos. Ela poderá atuar benéficamente, aumentando as possibilidades de contato entre os organismos e sua fonte de alimento, aumentando o contato entre os gametas e facilitando a fertilização. Por outro lado, pode afastar os elementos uns dos outros causando danos físicos aos gametas e organismos. JESSOPP (2007) observou que como os veliger são camadas finas e ao se chocarem com os substratos suspensos ocorre um choque, causando danos ao escudo dos veliger. XU *et al* (2013) relataram que quando colocado à disposição a um fluxo turbulento, forçando a água através de placas perfuradas durante mais de cinco

minutos, ocorreu uma mortalidade de 80 % e passa-se a 100% com um tempo de exposição de mais de dez minutos, comprovando a morte dos mexilhões em baixas e altas turbulências.

Assim como os controles aqui citados, existem muitos estudos a respeito do tema, um exemplo é XU (2013), que sugere bambu e pano para atrair os veliger e em seguida remover o substrato colonizado antes de chegarem à idade reprodutiva.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A avaliação do fator de atrito para se chegar à perda de carga unitária para tubulações incrustadas de mexilhão dourado, *Limnoperna fortunei*, foi realizada a partir de estudos experimentais já realizados. Foram relacionados estudos e experimentos sobre a taxa de crescimento, espessura da camada, ângulo de incrustação, número de Reynolds e rugosidade. Abaixo, segue roteiro de como as informações foram interligadas para que fosse possível alcançar o objetivo geral do trabalho.

3.1 Taxa de crescimento do *L. fortunei* (Dunker, 1857)

Para determinação da taxa de crescimento do mexilhão dourado foi necessário a identificação das etapas da vida e ciclos de reprodução deste bivalve, uma vez que em situações diferentes podem se desenvolver mais rapidamente do que em outros ambientes, sendo todo tipo de característica do ambiente uma possível condição para um ciclo reprodutivo mais rápido. Desta forma, foram identificadas as principais etapas, analisando-as em condições gerais, para que os tamanhos pudessem ser dimensionados. Neste caso, os estudos abordados para coleta de informações deixam claras as etapas de desenvolvimento, assim sendo possível coletar os dados para adaptação do gráfico de taxa de crescimento. A última fase de desenvolvimento, descrita por DARRIGRAN & MAROÑAS (2002), é um estudo baseado na coleta de mexilhões em períodos distintos, no mesmo ambiente, para determinação do tamanho final para cada período estipulado, avaliados apenas os que apresentavam comprimento valvar até 23 mm. A primeira fase, voltada para a fecundação e liberação dos ovos, assim como as primeiras etapas do ciclo de vida, foram retiradas de SANTOS (2004). Os valores citados para cada ciclo são estimados de forma geral para o mexilhão dourado.

O conhecimento do ciclo de vida do mexilhão dourado em função do seu comprimento valvar é de grande importância para este trabalho, pois, através destes valores é que será possível o conhecimento do tempo de vida de cada camada de incrustação. É importante ressaltar que os trabalhos citados analisaram mexilhões da região do Rio de La Plata, Balneário Bagliardi, e os aqui mencionados em estudo, foram retirados da usina de Itaipu.

De forma geral, a taxa de crescimento traz uma visão a respeito da longevidade do *L. fortunei* (DUNKER, 1857), podendo estabelecer também períodos de desova, através do conhecimento de quando o ciclo reprodutivo começa, e dando o ponto de partida para se conhecer ou estabelecer quando uma comunidade se forma, sendo o tamanho de 6 mm determinado como o seu tamanho ideal para início de reprodução (DARRIGRAN & DAMBORENEA, 2009).

3.2 Espessura da camada

Para o presente estudo a espessura da camada de incrustação será associada ao tempo de vida do mexilhão dourado. Foram analisadas nove grades de tomadas d'água incrustadas com a carcaça do mexilhão dourado com 3 ind/cm², em sua maioria com apenas uma camada de incrustação (DINIZ, 2010), e através destas grades foram feitas fotos, onde foi possível realizar a medição das espessuras a partir da base de cada linha da grade. A Figura 6 mostra como estas grades foram incrustadas e a Figura 7 como as medidas de rugosidade foram feitas na grade g.

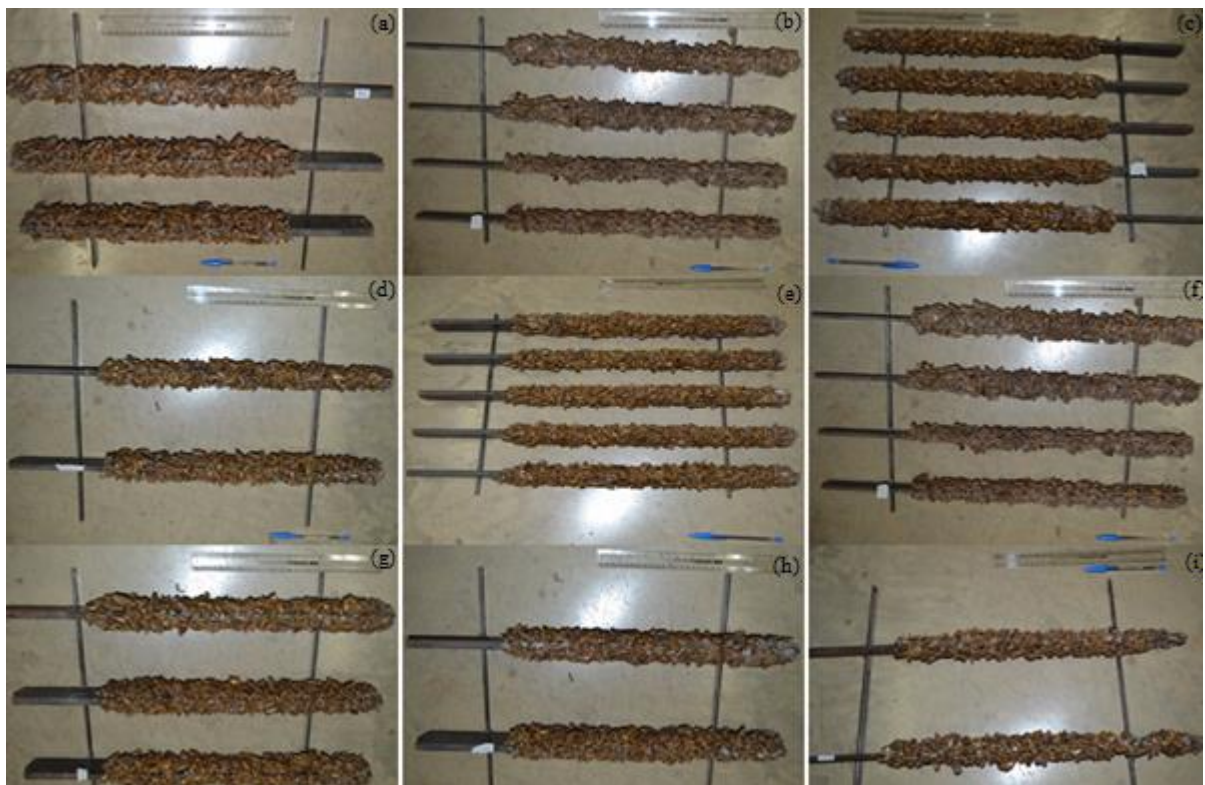


FIGURA 6 – Grades incrustadas com a carcaça do mexilhão dourado

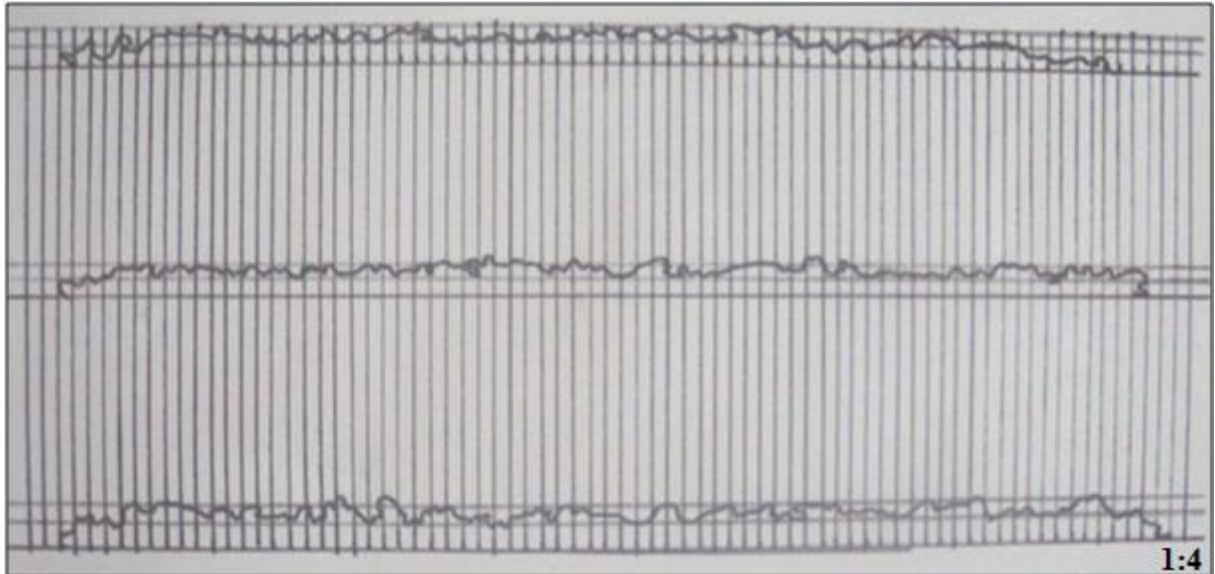


FIGURA 7 – Reprodução da superfície da grade g

Para cálculo da espessura da camada, foram tiradas as fotos mostradas na Figura 6 e através das mesmas, utilizando papel vegetal, foram traçadas linhas verticais de orientação, separadas de 2 em 2 mm, para que fosse possível medir a espessura média da camada.

Através da Tabela 4 é possível verificar o valor médio das espessuras medidas em cada superfície das grades analisadas.

Tabela4 - Valores médios das espessuras das 9 grades estudadas

	Placa 1	Placa 2	Placa 3	Placa 4	Placa 5	Placa 6	Placa 7	Placa 8	Placa 9
Média (mm)	14,2	13,0	14,0	14,0	10,0	13,0	15,0	15,0	13,0
	14,6	13,6	14,0	14,0	13,0	12,0	14,0	15,0	15,0
	14,4	14,1	15,0	---	13,0	13,0	15,0	---	---
	---	13,6	15,0	---	13,0	12,0	---	---	---
	---	---	14,0	---	11,0	---	---	---	---

Os valores encontrados nestas grades serviram como base para montagem de gráficos, pois, para se chegar ao valor real do comprimento valvar do mexilhão, foi feita uma análise a partir da carcaça dos mexilhões para que fosse possível medir o seu ângulo de fixação no substrato. A partir deste ângulo e sabendo a altura da espessura da camada é possível saber ao certo o tempo de infestação que aquela espessura de camada apresenta.

3.3 Ângulo de incrustação (θ)

Para determinação do ângulo de incrustação, foram separadas três amostras, contendo 100 gr de carcaça de mexilhão cada uma delas, através do método de quarteamento de amostra, obtendo a amostra separada por tamanhos como mostra Figura 8. Essas carcaças foram medidas, com paquímetro digital, e separadas em grupos de tamanhos, tendo eles variação de 5 mm cada, ou seja, foram separadas as carcaças medindo de 0 a 5 mm, 5 a 10 mm, 10 a 15 mm, 15 a 20 mm, 20 a 25 mm, 25 a 30 mm e >30 mm, em seu comprimento valvar, como determinado pela US Army Corps of Engineers, ver Figura 9, exceto grupo medindo >30 mm, descritos na Tabela 5 em suas percentagens. Após as medições foram selecionadas cinco carcaças pertencente a cada intervalo estipulado e medidas suas alturas a fim de que, através das leis dos senos e cossenos fosse possível o dimensionamento do ângulo de incrustação, como mostrado na Figura 10. O resultado desta medição assim como do próprio ângulo consta na Tabela 6.



FIGURA 8 – 1ª Amostra de mexilhões contendo 100 gr de carcaça contendo indivíduos de (a) 0-5 mm; (b) 5-10 mm; (c) 10-15 mm; (d) 15-20 mm; (e) 20-25 mm; (f) 25-30 mm.

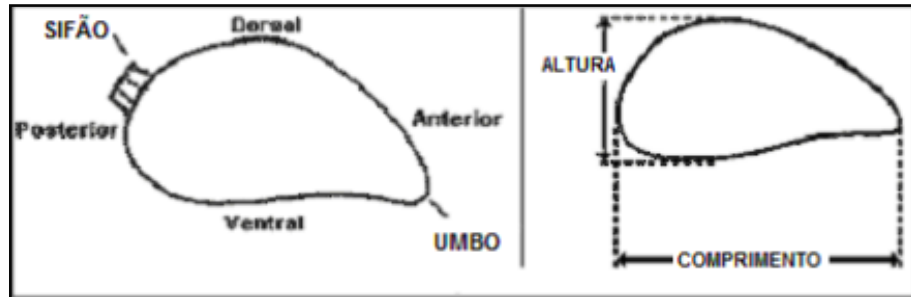


FIGURA 9 - Orientação para medição de indivíduos adultos de mexilhões

TABELA5 – Dimensão das amostras de mexilhão dourado coletados na Usina de Itaipu

Dimensão [mm]	% Total	1ª Amostra	2ª Amostra	3ª Amostra
0--5	2,6	12	23	13
5--10	16,7	87	107	119
10--15	18	61	109	168
15--20	22,1	147	144	124
20--25	28,6	262	158	117
25--30	12,1	83	66	79
>30	2,4	14	19	13

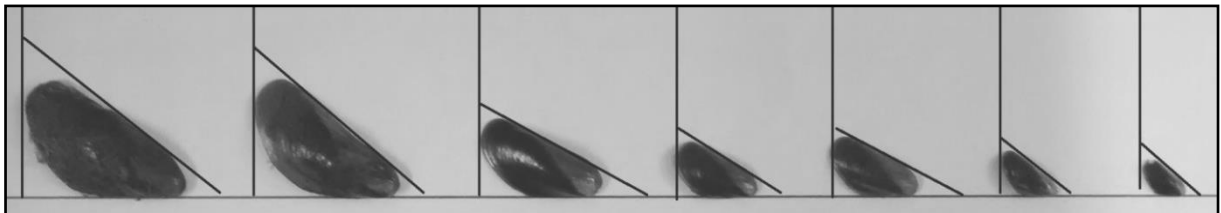


FIGURA10 – Tamanhos de mexilhões variando de 30 a 2,5 mm

TABELA 6 – Valores dos ângulos de incrustação calculados a partir da altura e comprimento valvar

3ª Amostra				2ª Amostra				1ª Amostra			
Tamanho	Altura	Comp. Valv.	θ	Tamanho	Altura	Comp. Valv.	θ	Tamanho	Altura	Comp. Valv.	θ
0-5 mm	1,96	3,17	38,19	0-5 mm	3,07	4,66	41,21	0-5 mm	1,92	3,12	37,98
	2,63	4,58	35,05		3,30	4,79	43,55		1,99	3,94	30,34
	2,42	3,72	40,58		2,92	4,15	44,72		3,08	4,80	39,92
	3,04	4,78	39,49		3,41	4,61	47,71		3,20	4,96	40,18
	2,74	4,72	35,49		2,34	3,76	38,49		1,99	3,18	38,74
5-10 mm	4,21	6,50	40,37	5-10 mm	3,73	5,39	43,79	5-10 mm	3,74	5,41	43,73
	4,97	7,26	43,20		6,51	10,00	40,62		4,01	5,81	43,65
	5,88	9,67	37,45		5,15	8,72	36,20		4,02	6,81	36,18
	5,83	8,66	42,32		4,44	6,52	42,92		4,85	7,85	38,16
	5,76	9,25	38,51		4,96	8,68	34,85		5,73	9,42	37,47
10-15 mm	7,91	13,11	37,11	10-15 mm	7,27	14,25	30,68	10-15 mm	5,99	10,77	33,79
	8,36	14,28	35,83		6,92	11,32	37,68		7,25	11,96	37,31
	8,62	13,49	39,72		7,18	11,59	38,28		7,52	12,04	38,65
	9,79	14,55	42,29		7,90	11,94	41,43		8,47	14,72	35,13
	6,01	10,20	36,10		7,46	12,75	35,81		9,89	14,85	41,76
15-20 mm	12,17	18,30	41,68	15-20 mm	10,18	17,83	34,82	15-20 mm	8,01	15,75	30,57
	10,04	17,82	34,29		12,23	20,00	37,70		10,23	17,36	36,11
	11,51	19,87	35,40		8,82	16,21	32,96		12,52	18,79	41,78
	10,03	17,84	34,21		11,50	18,43	38,61		12,47	18,88	41,34
	9,23	15,88	35,54		11,26	19,70	34,86		11,57	19,56	36,26
20-25 mm	12,14	21,55	34,29	20-25 mm	13,83	24,40	34,53	20-25 mm	11,99	20,69	35,42
	14,53	22,57	40,07		12,47	21,74	35,00		12,01	20,73	35,41
	14,76	23,70	38,52		13,04	22,83	34,83		12,87	21,75	36,28
	13,96	24,69	34,43		14,67	23,13	39,36		14,85	23,82	38,57
	13,40	24,92	32,53		10,93	22,43	29,16		13,65	24,23	34,29
25-30 mm	17,24	28,99	36,49	25-30 mm	13,67	27,37	29,96	25-30 mm	17,46	29,01	37,00
	14,38	26,44	32,95		16,81	27,98	36,93		15,21	28,14	32,72
	17,18	27,84	38,10		14,25	27,50	31,21		16,75	28,11	36,57
	14,24	25,77	33,54		15,32	28,05	33,10		18,42	27,54	41,98
	16,74	28,34	36,21		18,47	27,81	41,62		17,83	28,25	39,14
>30 mm	19,00	30,91	37,93	>30 mm	15,26	32,93	27,61	>30 mm	19,20	30,95	38,34
	17,40	32,02	32,92		16,76	31,32	32,35		14,98	31,93	27,98
	17,16	33,61	30,70		27,35	40,09	43,02		17,58	32,56	32,68
	18,62	31,64	36,05		21,31	32,70	40,67		18,12	34,95	31,23
	17,19	31,71	32,83		20,53	31,35	40,91		18,52	34,86	32,09

A partir dos valores de comprimento valvar encontrado através do ângulo de fixação e sabendo a qual espessura da camada este comprimento pertence, foi possível determinar uma taxa de crescimento da espessura em função do tempo de vida do mexilhão, que por sua vez, possibilita o conhecimento do tempo de infestação da espécie sob uma tubulação.

3.4 Reynolds

Para determinação do fator de perda de carga, um dos fatores mais presentes é o número de Reynolds. Para tanto, seu cálculo foi feito de duas formas, a primeira através da Equação (12), comumente conhecida e a segunda, Equação (16), através da vazão, vazão essa estipulada para uma faixa de velocidade, variando de 0,1 a 4,5 m/s. A primeira equação foi utilizada de

forma geral para cálculo do fator de perda de carga e a segunda para gerar gráficos de Reynolds, através da vazão, em função de f .

$$Re = \frac{V \times D}{\nu} \quad (12)$$

Onde:

V = velocidade média do fluido;

D = diâmetro da tubulação;

ν = viscosidade cinemática

As velocidades utilizadas foram de 0,1 a 4,5 m/s, com variação de 0,5 m/s, baseado na constatação de que acima destes valores já ocorre o arrancamento do mexilhão, com uma carga aplicada a cima de 60%. Os diâmetros utilizados foram os seguintes: 50,8 (2”), 101,4 (4”), 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 550, 600, 650 e 700 mm. É preciso ressaltar que os dois primeiros diâmetros citados, são diâmetros comerciais de conhecimento geral e para tanto, obedecendo uma regra geral de diâmetro interno, para estes dois diâmetros foi feita uma diminuição no seu valor inicial da espessura da parede, passando então os respectivos valores para 41,4 e 91,8 mm. Já os demais, foram considerados eles próprios como os valores internos da tubulação, sem nenhuma mudança ou diminuição do seu valor. A viscosidade do fluido, no caso a água, é bem clara na literatura sendo seu valor de $\nu=1.10^{-6}m^2/s$, na faixa de temperatura utilizada, de 18 a 24° C aproximadamente, velocidades estão, também consideradas em todos os trabalhos mencionados, principalmente nos de SANTOS (2004) e DARRIGRAN & MAROÑAS (2002).

De acordo com a Equação (12), têm-se a Equação (13):

$$V = \frac{Re \times \nu}{D} \quad (13)$$

Por sua vez, a vazão é descrita da seguinte forma, Equação (14):

$$Q = V \times S \quad (14)$$

Sendo:

$$S = \frac{\pi \times D^2}{4} \quad (15)$$

Portanto, substituindo (13) e (15) em (14):

$$Re = \frac{Q \times D}{v \times S} \quad (16)$$

Através desta equação chega-se então aos valores de Reynolds através da vazão.

3.5 Rugosidade

A rugosidade é conhecida como um conjunto de irregularidades, pequenas saliências e reentrâncias que caracterizam a superfície. Qualquer superfície quando observada a olho nu de forma geral parece perfeita, porém, uma análise mais detalhada mostra que existem uma série de imperfeições, possíveis de serem medidas com auxílio de instrumentos especiais. Em alguns casos, como o deste trabalho, é possível que pequenas imperfeições na superfície sejam observadas a olho nu. Portanto, as imperfeições micro-geométricas são conhecidas como rugosidade (CÔRTEZ, 2009).

Uma maneira de se medir a rugosidade é através da avaliação média, Ra, comumente utilizada e aplicável à maioria dos processos. As formas como as irregularidades da superfície se formam, não alteram substancialmente o seu valor, por outro lado, o valor de Ra não define a forma das irregularidades do perfil, assim sendo, pode-se ter um mesmo valor de Ra para superfícies com diversas origens. A Figura 11 mostra como a rugosidade média é calculada, sendo ela a diferença média entre vales e picos.

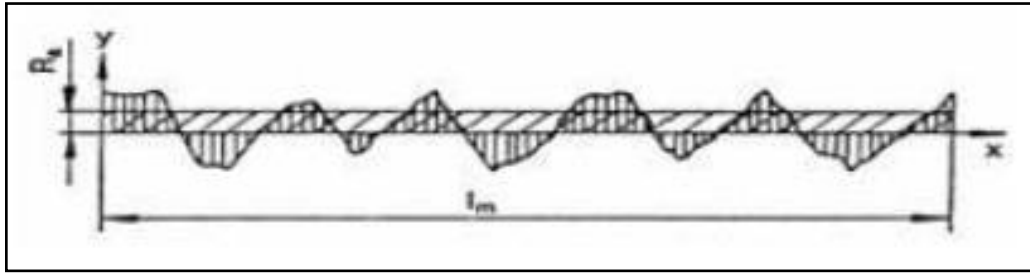


FIGURA 11 – Forma como a rugosidade média é determinada na superfície
 FONTE – CÔRTEZ (2009)

A partir da determinação da forma de se medir a rugosidade média é possível mensurar então um valor para cada superfície contida em cada grade. Com todos os valores medidos é feita então a média entre si para que se possa chegar à rugosidade superficial fixa da incrustação do mexilhão nas grades de tomada d'água. A Figura 12 mostra como as medições foram feitas para a grade três.

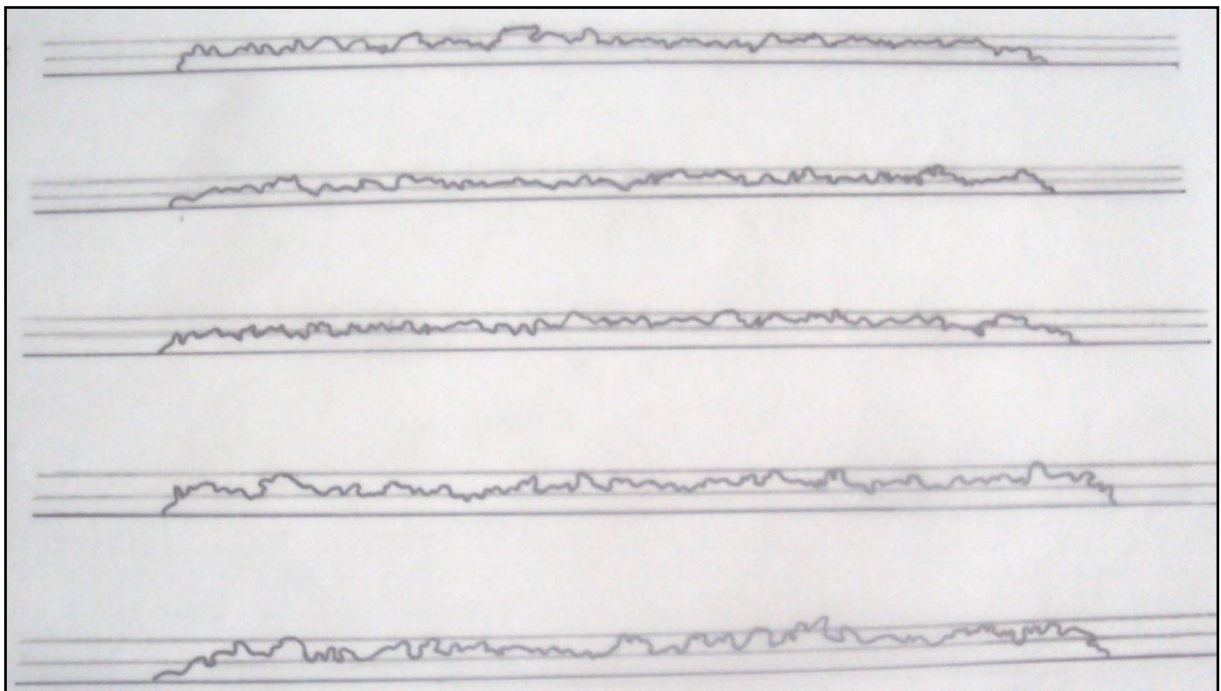


FIGURA 12 – Medição da rugosidade da superfície com incrustação de mexilhão dourado para uma mesma classe e localidade (Usina Itaipu)

Foram traçadas linhas paralelas à base da incrustação para determinação das linhas médias dos vales e picos, a fim de que para essa diferença, assim como mostrado na Figura 11, seja possível obter a rugosidade média. A Tabela 7 dá os valores encontrados em todas as linhas das nove grades analisadas. Em cada grade, há um número diferente de linhas, o que não altera os valores encontrados para as rugosidades, pois, estas, são calculadas a partir das

médias em cada grade, sendo a rugosidade superficial fixa determinada a partir das médias das médias calculadas em cada grade.

TABELA 7 – Valores da rugosidade de cada linha das grades e a rugosidade média final

	Placa 1	Placa 2	Placa 3	Placa 4	Placa 5	Placa 6	Placa 7	Placa 8	Placa 9
Rugosidade de cada linha (mm)	8,0	12,0	12,0	10,0	12,0	10,0	12,0	8,0	8,0
	8,0	12,0	8,0	12,0	8,0	12,0	12,0	12,0	14,0
	12,0	6,0	8,0	---	12,0	12,0	6,0	---	---
	---	8,0	12,0	---	8,0	12,0	---	---	---
	---	---	8,0	---	12,0	---	---	---	---
Média de cada placa (mm)	9,3	9,5	9,6	11,0	10,4	11,5	10,0	10,0	11,0
Média Total (mm)	10,25								

Após coleta dos dados, tem-se o valor de rugosidade fixa de $e=10,25$ mm para ser aplicado no cálculo do fator de perda de carga.

3.6 Cálculo do fator de perda de carga (f)

Para o cálculo de f , objetivo geral do trabalho, se faz necessário o entendimento da equação de COLEBROOK E WHITE (1939), Equação (2), equação escolhida para determinar tais valores por ser uma expressão para a faixa de transição em tubulações hidraulicamente lisas e rugosas. Características presentes nas tubulações estudadas por apresentarem incrustação dos mexilhões.

Para uso desta equação se faz necessário o entendimento de uma função matemática disponível na calculadora “HP 50g”, muito comumente usada para determinação de valores em equações com mais de uma incógnita, ou que precise fazer várias interações até se obter um resultado o mais preciso possível.

Esta função, conhecida como solucionador numérico para equações de uma ou mais incógnitas funciona da seguinte forma: o usuário insere uma equação a qual se deseja obter o valor da incógnita, cria um formulário de entrada com campos correspondentes para todas as variáveis envolvidas na equação armazenada e insere os valores para todas as variáveis, exceto uma, então ressalta o campo correspondente à incógnita para que o programa possa resolver a equação. São possíveis duas soluções, ou o usuário pode forçar uma solução

fornecendo uma estimativa inicial ou a calculadora usará um algoritmo de busca para identificar um intervalo onde a função muda de sinal, indicando a existência de uma raiz ou solução. A solução que a calculadora encontra para a primeira forma de solução é determinada pelo valor inicial do campo de entrada da incógnita, já pela segunda forma, quando não há nenhum valor presente, a calculadora usa o valor padrão de zero, assim é possível buscar mais de uma solução para a equação alterando o valor inicial do campo de entrada da incógnita.

A partir do método de análise da equação descrita, e analisando as equações derivativas da mesma, foi possível utilizar a equação de BUZZELLI (2008), para cálculo de f sem nenhum prejuízo aos valores encontrados através da equação de COLEBROOK & WHITE (1939).

Com o entendimento da forma como a equação gera os resultados é possível descrever o método através do qual os resultados foram obtidos.

Inicialmente é importante ressaltar que os dois diâmetros iniciais utilizados, 50,8 (2") e 101,4 (4") mm não puderam ser avaliados através da equação de BUZZELLI (2008), pois um dos limites estipulados nessa equação, no caso a rugosidade relativa (e/D), apresentou um valor acima do determinado como limite máximo para a equação, para este caso foi utilizada a metodologia de RESENDE (2007). Foram analisados os gráficos com infestação de 1 ind/cm² a fim de se poder aproveitar os valores de perda de carga unitária para os diâmetros acima relacionados. Uma vez conhecida essa perda de carga, em função da vazão, é possível fazer o caminho inverso a partir da Equação e se chegar ao valor de f para os dois diâmetros citados. O gráfico analisado, Figura 13, apresenta curvas para os diâmetros de 2, 2 1/2, 3 e 4".

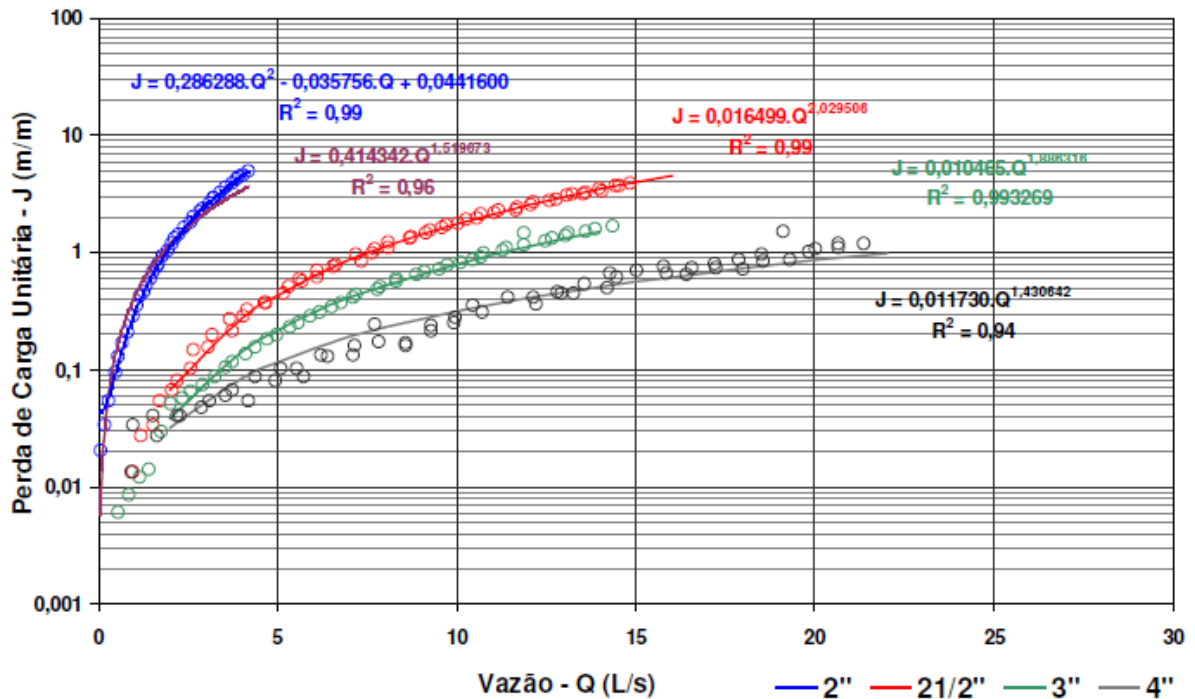


FIGURA 13 – Evolução da perda de carga em tubos com infestação de 1,0 i/cm²
 FONTE – RESENDE, 2007

Através da equação gerada pelo gráfico acima, montado a partir de uma camada de incrustação de mexilhão dourado com densidade de 1 ind/cm², é possível calcular a perda de carga para os diâmetros de 2 e 4" e com estes valores, utilizados na equação de BUZZELLI (2008) tem-se a determinação então dos valores de f para uma faixa de vazão variando de 0,1 a 7,0 m³/s, analisando os valores pertinentes a cada faixa de atuação de acordo com o gráfico anterior. De acordo com RESENDE (2007), o limite de infestação para uma camada de incrustação se dá quando os diâmetros internos alcançam 17,4 e 48,3 mm respectivamente, ou seja, não se é possível trabalhar com diâmetros internos menores que estes para tubulações infestadas, gerando o efeito de oclusão caso ultrapasse estes valores pré-determinados.

Para os demais valores dos diâmetros avaliados, foi montada uma planilha no EXCEL ©, com todos os parâmetros alocados e apenas a célula do diâmetro interno sofrendo variação. Assim, os valores são trocados e os resultados modificados para cada diâmetro a ser analisado. Como a equação possui duas verificações, foram selecionadas as células de confirmação para validar os resultados encontrados.

	A	B	C	D	E	F	G
1	uma camada de incrustação						
2	Rugosidade fixa (m)		0,01025	0,073214286	VERDADEIRO		
3	Diâmetro escoamento(m)		0,14				
4	viscosidade da água		0,000001	Equação Buzzelli			
5	V	Re	f	Reynolds		B1	B2
6	0,1	9180	0,088174863	VERDADEIRO		4,185155	192,1553
7	0,5	45900	0,086551971	VERDADEIRO		5,106584	921,0704
8	1,1	100980	0,08632722	VERDADEIRO		5,557988	2012,107
9	1,5	137700	0,086277172	VERDADEIRO		5,735557	2739,155
10	2,1	192780	0,086237824	VERDADEIRO		5,928193	3829,542
11	2,5	229500	0,08622208	VERDADEIRO		6,028013	4556,395
12	3,1	284580	0,086206078	VERDADEIRO		6,151167	5646,607
13	3,5	321300	0,086198457	VERDADEIRO		6,220648	6373,384
14	4,1	376380	0,086189814	VERDADEIRO		6,311234	7463,515
15	4,5	413100	0,086185331	VERDADEIRO		6,36453	8190,251
16	5,1	468180	0,086179926	VERDADEIRO		6,436188	9280,334
17	5,5	504900	0,086176978	VERDADEIRO		6,479417	10007,05
18	6,1	559980	0,08617328	VERDADEIRO		6,538696	11097,1
19	6,5	596700	0,086171194	VERDADEIRO		6,575058	11823,79
20	7	642600	0,086168922	VERDADEIRO		6,617486	12732,15
21							

FIGURA 14 – Planilha para cálculo de f no Excel ©

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo tem como objetivo mostrar os resultados alcançados através das hipóteses analisadas mediante o tema do trabalho. Foram estudadas condições específicas de incrustação em substratos também específicos com a fixação do mexilhão ocorrendo de forma ordenada.

O primeiro resultado alcançado através da pesquisa na verdade é uma complementação aos estudos já realizados. A taxa de crescimento individual do mexilhão, analisada para os rios da Prata (Argentina) e Guaíba (Rio Grande do Sul), com os valores na Tabela 8, dada através da Figura 15, mostra de forma simples e direta a proporção de crescimento da espécie ao longo do tempo, dado em dias.

Tabela 8 – Taxa de crescimento adaptado SANTOS (2004) e DARRIGRAN & MAROÑAS (2002)

Comprimento valvar (mm)	Tempo (dias)
0,125	6
0,155	11
0,320	21
4,500	183
9,500	365
14,000	548
17,000	730
20,500	913
23,000	1095

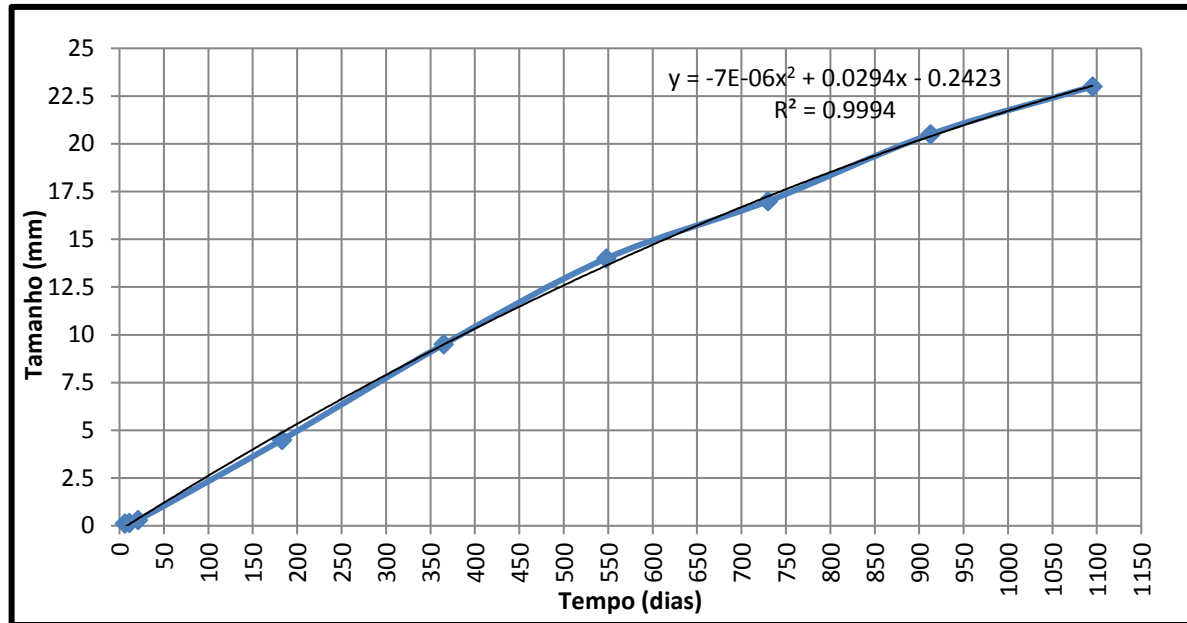


FIGURA 15 – Taxa de crescimento do *L. fortunei* em função do tempo

FONTE – Adaptação dos dados de SANTOS (2004) e DARRIGRAN & MAROÑAS (2002)

Após determinação da taxa de crescimento, foi possível calcular a taxa de crescimento da espessura, através do ângulo de incrustação. Portanto, a Figura 16 mostra os gráficos determinados para cada número de camadas analisados.

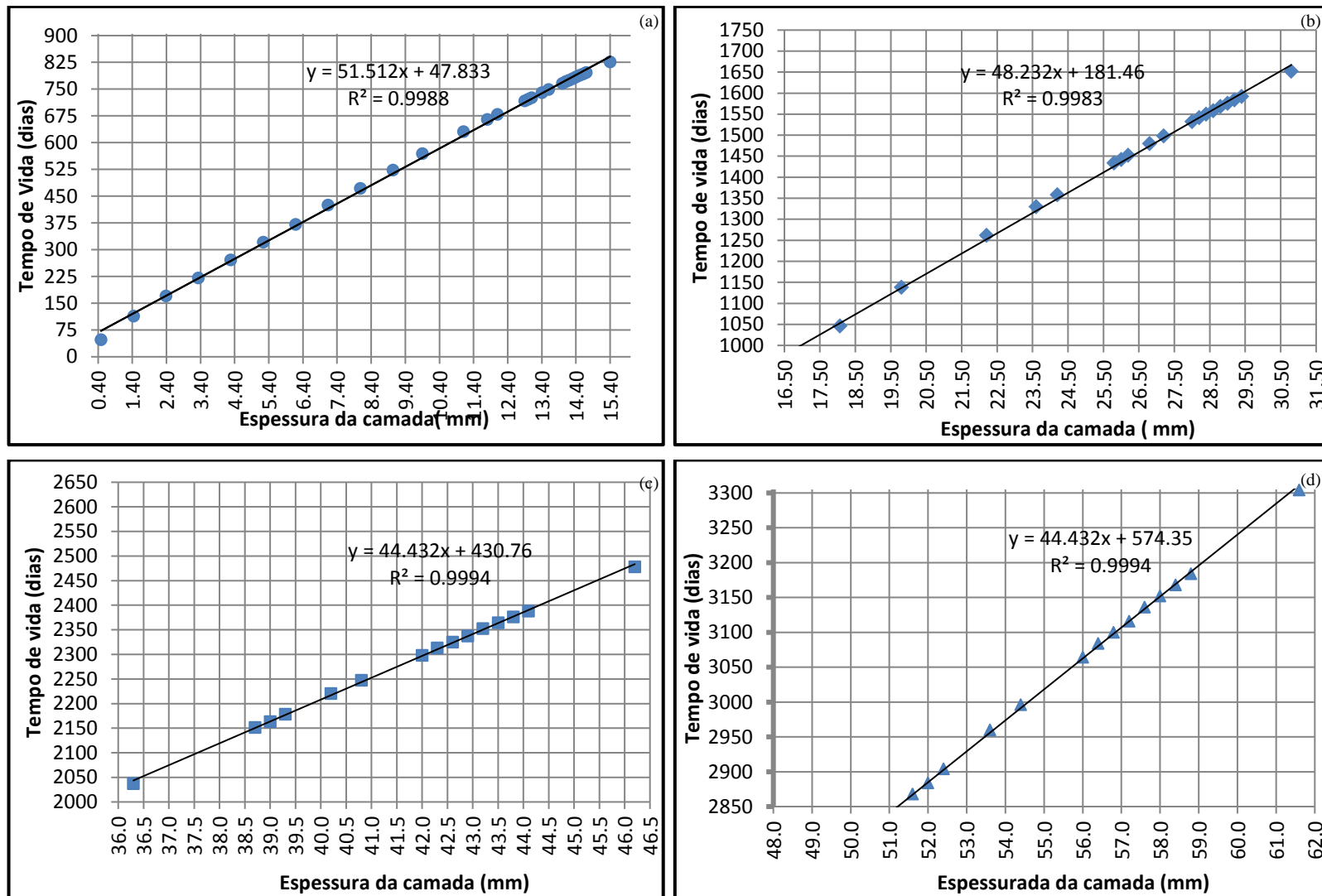


FIGURA 16 – Gráficos Tempo de vida x Espessura da camada para (a) Uma Camada; (b) Duas Camadas; (c) Três Camadas; (d) Quatro Camadas

Estes gráficos mostram a mesma taxa de crescimento, porém, em função da espessura da camada a ser analisada, limitada neste estudo a quatro camadas. Foram determinadas a partir do cálculo do ângulo de fixação, que por sua vez levam ao comprimento valvar do mexilhão.

Este comprimento é visto no gráfico de taxa de crescimento individual e cada medida esta associada a um comprimento que é o alocado em cada ponto dos gráficos acima. É de relevância mostrar que com o aumento do número de camadas o tempo para suas formações vão diminuindo até atingir uma estabilidade voltarem a crescer. A primeira camada, analisada para mexilhões a partir do seu primeiro estágio de fixação, que neste trabalho começa em 0,80 mm de comprimento valvar, formando uma espessura de 0,48 mm de altura, demora um total de 778 dias para atingir um comprimento valvar final de 25,59 mm com espessura de 15,4 mm. Já a segunda camada, começando a ser montada a partir do maior comprimento encontrado na primeira camada, demorou 708 dias para sua formação, tendo uma diferença de 70 dias entre as duas primeiras camadas. A terceira camada, começada a partir do maior comprimento encontrado na segunda camada, demorou 585 dias para ser formada, tendo uma diferença de 123 dias para a segunda camada. Já a quarta camada entra no fenômeno de renovação da espécie, com um pequeno aumento do tempo de formação da camada, demorando 588 dias para sua formação. Isso mostra como a explosão do crescimento da espécie se dá, com um alto crescimento inicial, uma pequena estabilização começando a haver um decréscimo e por fim um novo crescimento que será constatado com o aumento do número de camadas.

As Tabelas de 8 a 20 trazem os valores de f determinados a partir dos parâmetros relacionados no capítulo anterior para todos os diâmetros estipulados. Vale ressaltar a diferença dos valores encontrados para os primeiros diâmetros de 50,8 e 101,4 mm, por não se encaixarem no cálculo dentro da equação determinada e nem através do Ábaco de Moody, por apresentarem um alto valor de rugosidade relativa em função da rugosidade superficial encontrada com a infestação dos mexilhões nas tubulações. Mais abaixo seus valores são discutidos e será mostrado o motivo da diferença dos demais valores.

TABELA 9 – Valores de f para uma camada de incrustação de 50,8 a 300 mm

UMA CAMADA DE INCRUSTAÇÃO																							
Tempo	$\phi_{\text{superficial}} = 50,8 \text{ mm}$			$\phi_{\text{superficial}} = 101,6 \text{ mm}$			$\phi_{\text{superficial}} = 200 \text{ mm}$			$\phi_{\text{superficial}} = 250 \text{ mm}$			$\phi_{\text{superficial}} = 300 \text{ mm}$										
	V	Re	f	V	Re	f	V	Re	f	V	Re	f	V	Re	f								
569 dias e.c.=9,9 mm	$\phi_{\text{esc}}=21,6 \text{ mm}$ $e/D= 0,4745$	$\phi_{\text{esc}}=71,8 \text{ mm}$ $e/D= 0,1428$	$\phi_{\text{esc}}=180,2 \text{ mm}$ $e/D= 0,0569$	$\phi_{\text{esc}}=230,2 \text{ mm}$ $e/D= 0,0445$	$\phi_{\text{esc}}=280,2 \text{ mm}$ $e/D= 0,0366$	0,1	2160	1,797	0,1	7180	0,456	0,1	18020	0,077	0,1	23020	0,069	0,1	28020	0,063			
						0,5	10800	0,079	0,5	35900	0,183	0,5	90100	0,076	0,5	115100	0,068	0,5	140100	0,062	0,5	140100	0,062
						1,1	23760	0,026	1,1	78980	0,117	1,1	198220	0,076	1,1	253220	0,068	1,1	308220	0,062	1,1	308220	0,062
						1,5	32400	0,021	1,5	107700	0,098	1,5	270300	0,076	1,5	345300	0,068	1,5	420300	0,062	1,5	420300	0,062
						2,1	45360	0,018	2,1	150780	0,081	2,1	378420	0,076	2,1	483420	0,068	2,1	588420	0,062	2,1	588420	0,062
						2,5	54000	0,017	2,5	179500	0,073	2,5	450500	0,076	2,5	575500	0,068	2,5	700500	0,062	2,5	700500	0,062
						3,1	66960	0,016	3,1	222580	0,065	3,1	558620	0,076	3,1	713620	0,068	3,1	868620	0,062	3,1	868620	0,062
						3,5	75600	0,016	3,5	251300	0,060	3,5	630700	0,076	3,5	805700	0,068	3,5	980700	0,062	3,5	980700	0,062
						4,1	88560	0,016	4,1	294380	0,055	4,1	738820	0,076	4,1	943820	0,068	4,1	1E+06	0,062	4,1	1E+06	0,062
4,5	97200	0,016	4,5	323100	0,052	4,5	810900	0,076	4,5	1E+06	0,068	4,5	1E+06	0,062	4,5	1E+06	0,062						
749 dias e.c.=13,6 mm	Ocluída	Ocluída	$\phi_{\text{esc}}=172,8 \text{ mm}$ $e/D= 0,0593$	$\phi_{\text{esc}}=222,8 \text{ mm}$ $e/D= 0,0460$	$\phi_{\text{esc}}=272,8 \text{ mm}$ $e/D= 0,0376$	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---			
						0,1	17280	0,079	0,1	17280	0,079	0,1	17280	0,079	0,1	22280	0,070	0,1	27280	0,064	0,1	27280	0,064
						0,5	86400	0,078	0,5	86400	0,078	0,5	86400	0,078	0,5	111400	0,069	0,5	136400	0,063	0,5	136400	0,063
						1,1	190080	0,078	1,1	190080	0,078	1,1	190080	0,078	1,1	245080	0,069	1,1	300080	0,063	1,1	300080	0,063
						1,5	259200	0,078	1,5	259200	0,078	1,5	259200	0,078	1,5	334200	0,069	1,5	409200	0,063	1,5	409200	0,063
						2,1	362880	0,078	2,1	362880	0,078	2,1	362880	0,078	2,1	467880	0,069	2,1	572880	0,063	2,1	572880	0,063
						2,5	432000	0,078	2,5	432000	0,078	2,5	432000	0,078	2,5	557000	0,069	2,5	682000	0,063	2,5	682000	0,063
						3,1	535680	0,078	3,1	535680	0,078	3,1	535680	0,078	3,1	690680	0,069	3,1	845680	0,063	3,1	845680	0,063
						3,5	604800	0,078	3,5	604800	0,078	3,5	604800	0,078	3,5	779800	0,069	3,5	954800	0,063	3,5	954800	0,063
4,1	708480	0,078	4,1	708480	0,078	4,1	708480	0,078	4,1	913480	0,069	4,1	1E+06	0,063	4,1	1E+06	0,063						
4,5	777600	0,078	4,5	777600	0,078	4,5	777600	0,078	4,5	1E+06	0,069	4,5	1E+06	0,063	4,5	1E+06	0,063						
826 dias e.c.=15,4 mm	Ocluída	Ocluída	$\phi_{\text{esc}}=169,2 \text{ mm}$ $e/D= 0,0606$	$\phi_{\text{esc}}=219,2 \text{ mm}$ $e/D= 0,0468$	$\phi_{\text{esc}}=269,2 \text{ mm}$ $e/D= 0,0381$	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---			
						0,1	16920	0,080	0,1	16920	0,080	0,1	16920	0,080	0,1	21920	0,070	0,1	26920	0,064	0,1	26920	0,064
						0,5	84600	0,079	0,5	84600	0,079	0,5	84600	0,079	0,5	109600	0,070	0,5	134600	0,063	0,5	134600	0,063
						1,1	186120	0,078	1,1	186120	0,078	1,1	186120	0,078	1,1	241120	0,069	1,1	296120	0,063	1,1	296120	0,063
						1,5	253800	0,078	1,5	253800	0,078	1,5	253800	0,078	1,5	328800	0,069	1,5	403800	0,063	1,5	403800	0,063
						2,1	355320	0,078	2,1	355320	0,078	2,1	355320	0,078	2,1	460320	0,069	2,1	565320	0,063	2,1	565320	0,063
						2,5	423000	0,078	2,5	423000	0,078	2,5	423000	0,078	2,5	548000	0,069	2,5	673000	0,063	2,5	673000	0,063
						3,1	524520	0,078	3,1	524520	0,078	3,1	524520	0,078	3,1	679520	0,069	3,1	834520	0,063	3,1	834520	0,063
						3,5	592200	0,078	3,5	592200	0,078	3,5	592200	0,078	3,5	767200	0,069	3,5	942200	0,063	3,5	942200	0,063
4,1	693720	0,078	4,1	693720	0,078	4,1	693720	0,078	4,1	898720	0,069	4,1	1E+06	0,063	4,1	1E+06	0,063						
4,5	761400	0,078	4,5	761400	0,078	4,5	761400	0,078	4,5	986400	0,069	4,5	1E+06	0,063	4,5	1E+06	0,063						

TABELA 10 – Valores de f para uma camada de incrustação de 350 a 500 mm

UMA CAMADA DE INCRUSTAÇÃO																
Tempo	$\phi_{\text{superficial}} = 350 \text{ mm}$			$\phi_{\text{superficial}} = 400 \text{ mm}$			$\phi_{\text{superficial}} = 450 \text{ mm}$			$\phi_{\text{superficial}} = 500 \text{ mm}$						
	V	Re	f	V	Re	f	V	Re	f	V	Re	f				
569 dias e.c.=9,9 mm	$\phi_{\text{esc}}=330,2 \text{ mm}$ e/D= 0,0310	0,1	33020	0,059	$\phi_{\text{esc}}=380,2 \text{ mm}$ e/D= 0,0270	0,1	38020	0,056	$\phi_{\text{esc}}=430,2 \text{ mm}$ e/D= 0,0238	0,1	43020	0,053	$\phi_{\text{esc}}=480,2 \text{ mm}$ e/D= 0,0213	0,1	48020	0,051
		0,5	165100	0,058		0,5	190100	0,055		0,5	215100	0,052		0,5	240100	0,050
		1,1	363220	0,058		1,1	418220	0,055		1,1	473220	0,052		1,1	528220	0,050
		1,5	495300	0,058		1,5	570300	0,055		1,5	645300	0,052		1,5	720300	0,050
		2,1	693420	0,058		2,1	798420	0,055		2,1	903420	0,052		2,1	1E+06	0,050
		2,5	825500	0,058		2,5	950500	0,055		2,5	1E+06	0,052		2,5	1E+06	0,050
		3,1	1E+06	0,058		3,1	1E+06	0,055		3,1	1E+06	0,052		3,1	1E+06	0,050
		3,5	1E+06	0,058		3,5	1E+06	0,055		3,5	2E+06	0,052		3,5	2E+06	0,050
		4,1	1E+06	0,058		4,1	2E+06	0,055		4,1	2E+06	0,052		4,1	2E+06	0,050
4,5	1E+06	0,058	4,5	2E+06	0,055	4,5	2E+06	0,052	4,5	2E+06	0,050					
749 dias e.c.=13,6 mm	$\phi_{\text{esc}}=322,8 \text{ mm}$ e/D= 0,0317	0,1	32280	0,059	$\phi_{\text{esc}}=372,8 \text{ mm}$ e/D= 0,0275	0,1	37280	0,056	$\phi_{\text{esc}}=422,8 \text{ mm}$ e/D= 0,0242	0,1	42280	0,053	$\phi_{\text{esc}}=472,8 \text{ mm}$ e/D= 0,0217	0,1	47280	0,051
		0,5	161400	0,059		0,5	186400	0,055		0,5	211400	0,053		0,5	236400	0,050
		1,1	355080	0,059		1,1	410080	0,055		1,1	465080	0,053		1,1	520080	0,050
		1,5	484200	0,059		1,5	559200	0,055		1,5	634200	0,052		1,5	709200	0,050
		2,1	677880	0,059		2,1	782880	0,055		2,1	887880	0,052		2,1	992880	0,050
		2,5	807000	0,059		2,5	932000	0,055		2,5	1E+06	0,052		2,5	1E+06	0,050
		3,1	1E+06	0,059		3,1	1E+06	0,055		3,1	1E+06	0,052		3,1	1E+06	0,050
		3,5	1E+06	0,059		3,5	1E+06	0,055		3,5	1E+06	0,052		3,5	2E+06	0,050
		4,1	1E+06	0,059		4,1	2E+06	0,055		4,1	2E+06	0,052		4,1	2E+06	0,050
4,5	1E+06	0,059	4,5	2E+06	0,055	4,5	2E+06	0,052	4,5	2E+06	0,050					
826 dias e.c.=15,4 mm	$\phi_{\text{esc}}=319,2 \text{ mm}$ e/D= 0,0321	0,1	31920	0,060	$\phi_{\text{esc}}=369,2 \text{ mm}$ e/D= 0,0278	0,1	36920	0,056	$\phi_{\text{esc}}=419,2 \text{ mm}$ e/D= 0,0244	0,1	41920	0,053	$\phi_{\text{esc}}=469,2 \text{ mm}$ e/D= 0,0218	0,1	46920	0,051
		0,5	159600	0,059		0,5	184600	0,056		0,5	209600	0,053		0,5	234600	0,050
		1,1	351120	0,059		1,1	406120	0,055		1,1	461120	0,053		1,1	516120	0,050
		1,5	478800	0,059		1,5	553800	0,055		1,5	628800	0,053		1,5	703800	0,050
		2,1	670320	0,059		2,1	775320	0,055		2,1	880320	0,053		2,1	985320	0,050
		2,5	798000	0,059		2,5	923000	0,055		2,5	1E+06	0,053		2,5	1E+06	0,050
		3,1	989520	0,059		3,1	1E+06	0,055		3,1	1E+06	0,053		3,1	1E+06	0,050
		3,5	1E+06	0,059		3,5	1E+06	0,055		3,5	1E+06	0,053		3,5	2E+06	0,050
		4,1	1E+06	0,059		4,1	2E+06	0,055		4,1	2E+06	0,053		4,1	2E+06	0,050
4,5	1E+06	0,059	4,5	2E+06	0,055	4,5	2E+06	0,053	4,5	2E+06	0,050					

TABELA 11 – Valores de f para uma camada de incrustação de 550 a 700 mm

UMA CAMADA DE INCRUSTAÇÃO																
Tempo	$\phi_{\text{superficial}} = 550 \text{ mm}$				$\phi_{\text{superficial}} = 600 \text{ mm}$				$\phi_{\text{superficial}} = 650 \text{ mm}$				$\phi_{\text{superficial}} = 700 \text{ mm}$			
	$\phi_{\text{esc}}=530,2 \text{ mm}$ $e/D= 0,0193$	V	Re	f	$\phi_{\text{esc}}=580,2 \text{ mm}$ $e/D= 0,0177$	V	Re	f	$\phi_{\text{esc}}=630,2 \text{ mm}$ $e/D= 0,0163$	V	Re	f	$\phi_{\text{esc}}=680,2 \text{ mm}$ $e/D= 0,0151$	V	Re	f
569 dias e.c.=0,99 mm			0,1	53020		0,049		0,1		58020	0,047			0,1	63020	0,046
		0,5	265100	0,048		0,5	290100	0,047		0,5	315100	0,045		0,5	340100	0,044
		1,1	583220	0,048		1,1	638220	0,046		1,1	693220	0,045		1,1	748220	0,044
		1,5	795300	0,048		1,5	870300	0,046		1,5	945300	0,045		1,5	1E+06	0,044
		2,1	1E+06	0,048		2,1	1E+06	0,046		2,1	1E+06	0,045		2,1	1E+06	0,044
		2,5	1E+06	0,048		2,5	1E+06	0,046		2,5	2E+06	0,045		2,5	2E+06	0,044
		3,1	2E+06	0,048		3,1	2E+06	0,046		3,1	2E+06	0,045		3,1	2E+06	0,044
		3,5	2E+06	0,048		3,5	2E+06	0,046		3,5	2E+06	0,045		3,5	2E+06	0,044
		4,1	2E+06	0,048		4,1	2E+06	0,046		4,1	3E+06	0,045		4,1	3E+06	0,044
		4,5	2E+06	0,048		4,5	3E+06	0,046		4,5	3E+06	0,045		4,5	3E+06	0,044
749 dias e.c.=13,6 mm	$\phi_{\text{esc}}=522,8 \text{ mm}$ $e/D= 0,0196$	0,1	52280	0,049	$\phi_{\text{esc}}=572,8 \text{ mm}$ $e/D= 0,0179$	0,1	57280	0,047	$\phi_{\text{esc}}=622,8 \text{ mm}$ $e/D= 0,0165$	0,1	62280	0,046	$\phi_{\text{esc}}=672,8 \text{ mm}$ $e/D= 0,0152$	0,1	67280	0,045
		0,5	261400	0,048		0,5	286400	0,047		0,5	311400	0,045		0,5	336400	0,044
		1,1	575080	0,048		1,1	630080	0,047		1,1	685080	0,045		1,1	740080	0,044
		1,5	784200	0,048		1,5	859200	0,047		1,5	934200	0,045		1,5	1E+06	0,044
		2,1	1E+06	0,048		2,1	1E+06	0,047		2,1	1E+06	0,045		2,1	1E+06	0,044
		2,5	1E+06	0,048		2,5	1E+06	0,047		2,5	2E+06	0,045		2,5	2E+06	0,044
		3,1	2E+06	0,048		3,1	2E+06	0,047		3,1	2E+06	0,045		3,1	2E+06	0,044
		3,5	2E+06	0,048		3,5	2E+06	0,047		3,5	2E+06	0,045		3,5	2E+06	0,044
		4,1	2E+06	0,048		4,1	2E+06	0,047		4,1	3E+06	0,045		4,1	3E+06	0,044
	4,5	2E+06	0,048	4,5	3E+06	0,047	4,5	3E+06	0,045	4,5	3E+06	0,044				
826 dias e.c.=15,4 mm	$\phi_{\text{esc}}=519,2 \text{ mm}$ $e/D= 0,0197$	0,1	51920	0,049	$\phi_{\text{esc}}=569,2 \text{ mm}$ $e/D= 0,0180$	0,1	56920	0,047	$\phi_{\text{esc}}=619,2 \text{ mm}$ $e/D= 0,0165$	0,1	61920	0,046	$\phi_{\text{esc}}=669,2 \text{ mm}$ $e/D= 0,0153$	0,1	66920	0,045
		0,5	259600	0,049		0,5	284600	0,047		0,5	309600	0,045		0,5	334600	0,044
		1,1	571120	0,048		1,1	626120	0,047		1,1	681120	0,045		1,1	736120	0,044
		1,5	778800	0,048		1,5	853800	0,047		1,5	928800	0,045		1,5	1E+06	0,044
		2,1	1E+06	0,048		2,1	1E+06	0,047		2,1	1E+06	0,045		2,1	1E+06	0,044
		2,5	1E+06	0,048		2,5	1E+06	0,047		2,5	2E+06	0,045		2,5	2E+06	0,044
		3,1	2E+06	0,048		3,1	2E+06	0,047		3,1	2E+06	0,045		3,1	2E+06	0,044
		3,5	2E+06	0,048		3,5	2E+06	0,047		3,5	2E+06	0,045		3,5	2E+06	0,044
		4,1	2E+06	0,048		4,1	2E+06	0,047		4,1	3E+06	0,045		4,1	3E+06	0,044
	4,5	2E+06	0,048	4,5	3E+06	0,047	4,5	3E+06	0,045	4,5	3E+06	0,044				

TABELA 12 - Valores de f para duas camadas de incrustação de 50,8 a 300 mm

DUAS CAMADAS DE INCRUSTAÇÃO																																
Tempo	$\phi_{\text{superficial}} = 50,8 \text{ mm}$			$\phi_{\text{superficial}} = 101,6 \text{ mm}$			$\phi_{\text{superficial}} = 200 \text{ mm}$			$\phi_{\text{superficial}} = 250 \text{ mm}$			$\phi_{\text{superficial}} = 300 \text{ mm}$																			
	V	Re	f	V	Re	f	V	Re	f	V	Re	f	V	Re	f																	
1138 dias e.c.=19,8 mm	Ocluída	---	---	---	Ocluída	---	---	---	$\phi_{\text{esc}}=160,4 \text{ mm}$ $e/D= 0,0639$	0,1	16040	0,082	$\phi_{\text{esc}}=210,4 \text{ mm}$ $e/D= 0,0487$	0,1	21040	0,072	$\phi_{\text{esc}}=260,4 \text{ mm}$ $e/D= 0,0393$	0,1	26040	0,065												
		---	---	---		---	---	---		---	---	---		---	---	---		---	---	---	---	---	---	---								
		---	---	---		---	---	---		---	---	---		---	---	---		---	---	---	---	---	---	---	---	---						
		---	---	---		---	---	---		---	---	---		---	---	---		---	---	---	---	---	---	---	---	---	---					
		---	---	---		---	---	---		---	---	---		---	---	---		---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---				
		---	---	---		---	---	---		---	---	---		---	---	---		---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---			
		---	---	---		---	---	---		---	---	---		---	---	---		---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---		
		---	---	---		---	---	---		---	---	---		---	---	---		---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	
		---	---	---		---	---	---		---	---	---		---	---	---		---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	
		---	---	---		---	---	---		---	---	---		---	---	---		---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
1498 dias e.c.=27,2 mm	Ocluída	---	---	---	Ocluída	---	---	---	$\phi_{\text{esc}}=145,6 \text{ mm}$ $e/D= 0,0704$	0,1	14560	0,086	$\phi_{\text{esc}}=195,6 \text{ mm}$ $e/D= 0,0524$	0,1	19560	0,074	$\phi_{\text{esc}}=245,6 \text{ mm}$ $e/D= 0,0417$	0,1	24560	0,067												
		---	---	---		---	---	---		---	---	---		---	---	---		---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---				
		---	---	---		---	---	---		---	---	---		---	---	---		---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---		
		---	---	---		---	---	---		---	---	---		---	---	---		---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	
		---	---	---		---	---	---		---	---	---		---	---	---		---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	
		---	---	---		---	---	---		---	---	---		---	---	---		---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	
		---	---	---		---	---	---		---	---	---		---	---	---		---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	
		---	---	---		---	---	---		---	---	---		---	---	---		---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
		---	---	---		---	---	---		---	---	---		---	---	---		---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
		---	---	---		---	---	---		---	---	---		---	---	---		---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
1652 dias e.c.=30,8 mm	Ocluída	---	---	---	Ocluída	---	---	---	$\phi_{\text{esc}}=138,4 \text{ mm}$ $e/D= 0,0741$	0,1	13840	0,088	$\phi_{\text{esc}}=188,4 \text{ mm}$ $e/D= 0,0544$	0,1	18840	0,076	$\phi_{\text{esc}}=238,4 \text{ mm}$ $e/D=0,0430$	0,1	23840	0,068												
		---	---	---		---	---	---		---	---	---		---	---	---		---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---				
		---	---	---		---	---	---		---	---	---		---	---	---		---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---		
		---	---	---		---	---	---		---	---	---		---	---	---		---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	
		---	---	---		---	---	---		---	---	---		---	---	---		---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	
		---	---	---		---	---	---		---	---	---		---	---	---		---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	
		---	---	---		---	---	---		---	---	---		---	---	---		---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	
		---	---	---		---	---	---		---	---	---		---	---	---		---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
		---	---	---		---	---	---		---	---	---		---	---	---		---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
		---	---	---		---	---	---		---	---	---		---	---	---		---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

TABELA 13 - Valores de f para duas camadas de incrustação de 350 a 500 mm

DUAS CAMADAS DE INCRUSTAÇÃO																
Tempo	$\phi_{\text{superficial}} = 350 \text{ mm}$			$\phi_{\text{superficial}} = 400 \text{ mm}$			$\phi_{\text{superficial}} = 450 \text{ mm}$			$\phi_{\text{superficial}} = 500 \text{ mm}$						
	$\phi_{\text{esc}}=310,4 \text{ mm}$ $e/D= 0,0330$	V	Re	f	$\phi_{\text{esc}}=360,4 \text{ mm}$ $e/D= 0,0284$	V	Re	f	$\phi_{\text{esc}}=400,4 \text{ mm}$ $e/D= 0,0256$	V	Re	f	$\phi_{\text{esc}}=460,4 \text{ mm}$ $e/D= 0,0223$	V	Re	f
1138 dias e.c.=19,8 mm			0,1	31040		0,060		0,1		35040	0,057			0,1	40040	0,054
		0,5	155200	0,060		0,5	175200	0,057		0,5	200200	0,054		0,5	225200	0,051
		1,1	341440	0,060		1,1	385440	0,057		1,1	440440	0,054		1,1	495440	0,051
		1,5	465600	0,060		1,5	525600	0,057		1,5	600600	0,054		1,5	675600	0,051
		2,1	651840	0,060		2,1	735840	0,057		2,1	840840	0,054		2,1	945840	0,051
		2,5	776000	0,060		2,5	876000	0,057		2,5	1E+06	0,054		2,5	1E+06	0,051
		3,1	962240	0,060		3,1	1E+06	0,057		3,1	1E+06	0,054		3,1	1E+06	0,051
		3,5	1E+06	0,060		3,5	1E+06	0,057		3,5	1E+06	0,054		3,5	2E+06	0,051
		4,1	1E+06	0,060		4,1	1E+06	0,057		4,1	2E+06	0,054		4,1	2E+06	0,051
		4,5	1E+06	0,060		4,5	2E+06	0,057		4,5	2E+06	0,054		4,5	2E+06	0,051
1498 dias e.c.=27,2 mm	$\phi_{\text{esc}}=295,6 \text{ mm}$ $e/D= 0,0347$	0,1	29560	0,062	$\phi_{\text{esc}}=345,6 \text{ mm}$ $e/D= 0,0296$	0,1	34560	0,058	$\phi_{\text{esc}}=395,6 \text{ mm}$ $e/D= 0,0259$	0,1	39560	0,055	$\phi_{\text{esc}}=445,6 \text{ mm}$ $e/D= 0,0230$	0,1	45560	0,052
		0,5	147800	0,061		0,5	172800	0,057		0,5	197800	0,054		0,5	227800	0,051
		1,1	325160	0,061		1,1	380160	0,057		1,1	435160	0,054		1,1	501160	0,051
		1,5	443400	0,061		1,5	518400	0,057		1,5	593400	0,054		1,5	683400	0,051
		2,1	620760	0,061		2,1	725760	0,057		2,1	830760	0,054		2,1	956760	0,051
		2,5	739000	0,061		2,5	864000	0,057		2,5	989000	0,054		2,5	1E+06	0,051
		3,1	916360	0,061		3,1	1E+06	0,057		3,1	1E+06	0,054		3,1	1E+06	0,051
		3,5	1E+06	0,061		3,5	1E+06	0,057		3,5	1E+06	0,054		3,5	2E+06	0,051
		4,1	1E+06	0,061		4,1	1E+06	0,057		4,1	2E+06	0,054		4,1	2E+06	0,051
	4,5	1E+06	0,061	4,5	2E+06	0,057	4,5	2E+06	0,054	4,5	2E+06	0,051				
1652 dias e.c.=30,8 mm	$\phi_{\text{esc}}=288,4 \text{ mm}$ $e/D= 0,0355$	0,1	28840	0,062	$\phi_{\text{esc}}=338,4 \text{ mm}$ $e/D= 0,0303$	0,1	33840	0,058	$\phi_{\text{esc}}=388,4 \text{ mm}$ $e/D= 0,0264$	0,1	38840	0,055	$\phi_{\text{esc}}=438,4 \text{ mm}$ $e/D= 0,0236$	0,1	43840	0,052
		0,5	144200	0,062		0,5	169200	0,058		0,5	194200	0,054		0,5	219200	0,052
		1,1	317240	0,062		1,1	372240	0,057		1,1	427240	0,054		1,1	482240	0,052
		1,5	432600	0,061		1,5	507600	0,057		1,5	582600	0,054		1,5	657600	0,052
		2,1	605640	0,061		2,1	710640	0,057		2,1	815640	0,054		2,1	920640	0,052
		2,5	721000	0,061		2,5	846000	0,057		2,5	971000	0,054		2,5	1E+06	0,052
		3,1	894040	0,061		3,1	1E+06	0,057		3,1	1E+06	0,054		3,1	1E+06	0,052
		3,5	1E+06	0,061		3,5	1E+06	0,057		3,5	1E+06	0,054		3,5	2E+06	0,052
		4,1	1E+06	0,061		4,1	1E+06	0,057		4,1	2E+06	0,054		4,1	2E+06	0,052
	4,5	1E+06	0,061	4,5	2E+06	0,057	4,5	2E+06	0,054	4,5	2E+06	0,052				

TABELA 14 - Valores de f para duas camadas de incrustação de 550 a 700 mm

DUAS CAMADAS DE INCRUSTAÇÃO																
Tempo	$\phi_{\text{superficial}} = 550 \text{ mm}$				$\phi_{\text{superficial}} = 600 \text{ mm}$				$\phi_{\text{superficial}} = 650 \text{ mm}$				$\phi_{\text{superficial}} = 700 \text{ mm}$			
	$\phi_{\text{esc}}=510,4 \text{ mm}$ $e/D= 0,0201$	V	Re	f	$\phi_{\text{esc}}=560,4 \text{ mm}$ $e/D= 0,0183$	V	Re	f	$\phi_{\text{esc}}=610,4 \text{ mm}$ $e/D= 0,0168$	V	Re	f	$\phi_{\text{esc}}=660,4 \text{ mm}$ $e/D= 0,0155$	V	Re	f
1138 dias e.c.=19,8 mm			0,1	50040		0,050		0,1		55040	0,048			0,1	60040	0,047
		0,5	250200	0,049		0,5	275200	0,047		0,5	300200	0,046		0,5	325200	0,045
		1,1	550440	0,049		1,1	605440	0,047		1,1	660440	0,046		1,1	715440	0,045
		1,5	750600	0,049		1,5	825600	0,047		1,5	900600	0,046		1,5	975600	0,045
		2,1	1E+06	0,049		2,1	1E+06	0,047		2,1	1E+06	0,046		2,1	1E+06	0,045
		2,5	1E+06	0,049		2,5	1E+06	0,047		2,5	2E+06	0,046		2,5	2E+06	0,045
		3,1	2E+06	0,049		3,1	2E+06	0,047		3,1	2E+06	0,046		3,1	2E+06	0,045
		3,5	2E+06	0,049		3,5	2E+06	0,047		3,5	2E+06	0,046		3,5	2E+06	0,045
		4,1	2E+06	0,049		4,1	2E+06	0,047		4,1	2E+06	0,046		4,1	3E+06	0,045
		4,5	2E+06	0,049		4,5	2E+06	0,047		4,5	3E+06	0,046		4,5	3E+06	0,044
1498 dias e.c.=27,2 mm	$\phi_{\text{esc}}=495,6 \text{ mm}$ $e/D= 0,0207$	0,1	50560	0,050	$\phi_{\text{esc}}=545,6 \text{ mm}$ $e/D= 0,0225$	0,1	55560	0,048	$\phi_{\text{esc}}=595,6 \text{ mm}$ $e/D= 0,0172$	0,1	60560	0,046	$\phi_{\text{esc}}=645,6 \text{ mm}$ $e/D= 0,0159$	0,1	65560	0,045
		0,5	252800	0,049		0,5	277800	0,047		0,5	302800	0,046		0,5	327800	0,044
		1,1	556160	0,049		1,1	611160	0,047		1,1	666160	0,046		1,1	721160	0,044
		1,5	758400	0,049		1,5	833400	0,047		1,5	908400	0,046		1,5	983400	0,044
		2,1	1E+06	0,049		2,1	1E+06	0,047		2,1	1E+06	0,046		2,1	1E+06	0,044
		2,5	1E+06	0,049		2,5	1E+06	0,047		2,5	2E+06	0,046		2,5	2E+06	0,044
		3,1	2E+06	0,049		3,1	2E+06	0,047		3,1	2E+06	0,046		3,1	2E+06	0,044
		3,5	2E+06	0,049		3,5	2E+06	0,047		3,5	2E+06	0,046		3,5	2E+06	0,044
		4,1	2E+06	0,049		4,1	2E+06	0,047		4,1	2E+06	0,046		4,1	3E+06	0,044
		4,5	2E+06	0,049		4,5	3E+06	0,047		4,5	3E+06	0,046		4,5	3E+06	0,044
1652 dias e.c.=30,8 mm	$\phi_{\text{esc}}=488,4 \text{ mm}$ $e/D= 0,0210$	0,1	48840	0,050	$\phi_{\text{esc}}=538,4 \text{ mm}$ $e/D= 0,0190$	0,1	53840	0,048	$\phi_{\text{esc}}=588,4 \text{ mm}$ $e/D= 0,0174$	0,1	58840	0,047	$\phi_{\text{esc}}=638,4 \text{ mm}$ $e/D= 0,0161$	0,1	63840	0,045
		0,5	244200	0,050		0,5	269200	0,048		0,5	294200	0,046		0,5	319200	0,045
		1,1	537240	0,050		1,1	592240	0,048		1,1	647240	0,046		1,1	702240	0,045
		1,5	732600	0,050		1,5	807600	0,048		1,5	882600	0,046		1,5	957600	0,045
		2,1	1E+06	0,050		2,1	1E+06	0,048		2,1	1E+06	0,046		2,1	1E+06	0,045
		2,5	1E+06	0,050		2,5	1E+06	0,048		2,5	1E+06	0,046		2,5	2E+06	0,045
		3,1	2E+06	0,050		3,1	2E+06	0,048		3,1	2E+06	0,046		3,1	2E+06	0,045
		3,5	2E+06	0,050		3,5	2E+06	0,048		3,5	2E+06	0,046		3,5	2E+06	0,045
		4,1	2E+06	0,050		4,1	2E+06	0,048		4,1	2E+06	0,046		4,1	3E+06	0,045
		4,5	2E+06	0,050		4,5	2E+06	0,048		4,5	3E+06	0,046		4,5	3E+06	0,045

TABELA 15 - Valores de f para três camadas de incrustação de 50,8 a 300 mm

TRÊS CAMADAS DE INCRUSTAÇÃO																				
Tempo	$\phi_{\text{superficial}} = 50,8 \text{ mm}$			$\phi_{\text{superficial}} = 101,6 \text{ mm}$			$\phi_{\text{superficial}} = 200 \text{ mm}$			$\phi_{\text{superficial}} = 250 \text{ mm}$			$\phi_{\text{superficial}} = 300 \text{ mm}$							
		V	Re	f		V	Re	f		V	Re	f		V	Re	f		V	Re	f
1893 dias e.c.=33,3 mm	Ocluída	---	---	---	Ocluída	---	---	---	Ocluída	$\phi_{\text{esc}}=183,4 \text{ mm}$ $e/D= 0,0559$	0,1	18340	0,077	$\phi_{\text{esc}}=233,4 \text{ mm}$ $e/D= 0,0439$	0,1	23340	0,068			
		---	---	---		---	---	---			---	---	---		0,5	91700	0,076	0,5	116700	0,068
		---	---	---		---	---	---			---	---	---		1,1	201740	0,076	1,1	256740	0,068
		---	---	---		---	---	---			---	---	---		1,5	275100	0,075	1,5	350100	0,067
		---	---	---		---	---	---			---	---	---		2,1	385140	0,075	2,1	490140	0,067
		---	---	---		---	---	---			---	---	---		2,5	458500	0,075	2,5	583500	0,067
		---	---	---		---	---	---			---	---	---		3,1	568540	0,075	3,1	723540	0,067
		---	---	---		---	---	---			---	---	---		3,5	641900	0,075	3,5	816900	0,067
		---	---	---		---	---	---			---	---	---		4,1	751940	0,075	4,1	956940	0,067
		---	---	---		---	---	---			---	---	---		4,5	825300	0,075	4,5	1E+06	0,067
2247 dias e.c.=40,8 mm	Ocluída	---	---	---	Ocluída	---	---	---	Ocluída	$\phi_{\text{esc}}=168,4 \text{ mm}$ $e/D= 0,0607$	0,1	16840	0,080	$\phi_{\text{esc}}=218,4 \text{ mm}$ $e/D= 0,0469$	0,1	21840	0,071			
		---	---	---		---	---	---			---	---	---		0,5	84200	0,079	0,5	109200	0,070
		---	---	---		---	---	---			---	---	---		1,1	185240	0,079	1,1	240240	0,070
		---	---	---		---	---	---			---	---	---		1,5	252600	0,079	1,5	327600	0,070
		---	---	---		---	---	---			---	---	---		2,1	353640	0,079	2,1	458640	0,070
		---	---	---		---	---	---			---	---	---		2,5	421000	0,079	2,5	546000	0,070
		---	---	---		---	---	---			---	---	---		3,1	522040	0,079	3,1	677040	0,070
		---	---	---		---	---	---			---	---	---		3,5	589400	0,079	3,5	764400	0,070
		---	---	---		---	---	---			---	---	---		4,1	690440	0,079	4,1	895440	0,070
		---	---	---		---	---	---			---	---	---		4,5	757800	0,079	4,5	982800	0,070
2478 dias e.c.=46,2 mm	Ocluída	---	---	---	Ocluída	---	---	---	Ocluída	$\phi_{\text{esc}}=157,6 \text{ mm}$ $e/D= 0,0650$	0,1	15760	0,082	$\phi_{\text{esc}}=207,6 \text{ mm}$ $e/D= 0,0494$	0,1	20760	0,072			
		---	---	---		---	---	---			---	---	---		0,5	78800	0,081	0,5	103800	0,071
		---	---	---		---	---	---			---	---	---		1,1	173360	0,081	1,1	228360	0,071
		---	---	---		---	---	---			---	---	---		1,5	236400	0,081	1,5	311400	0,071
		---	---	---		---	---	---			---	---	---		2,1	330960	0,081	2,1	435960	0,071
		---	---	---		---	---	---			---	---	---		2,5	394000	0,081	2,5	519000	0,071
		---	---	---		---	---	---			---	---	---		3,1	488560	0,081	3,1	643560	0,071
		---	---	---		---	---	---			---	---	---		3,5	551600	0,081	3,5	726600	0,071
		---	---	---		---	---	---			---	---	---		4,1	646160	0,081	4,1	851160	0,071
		---	---	---		---	---	---			---	---	---		4,5	709200	0,081	4,5	934200	0,071

TABELA 16 - Valores de f para três camadas de incrustação de 350 a 500 mm

TRÊS CAMADAS DE INCRUSTAÇÃO																
Tempo	$\phi_{\text{superficial}} = 350 \text{ mm}$				$\phi_{\text{superficial}} = 400 \text{ mm}$				$\phi_{\text{superficial}} = 450 \text{ mm}$				$\phi_{\text{superficial}} = 500 \text{ mm}$			
		V	Re	f		V	Re	f		V	Re	f		V	Re	f
1893 dias e.c.=33,3 mm	$\phi_{\text{esc}}=283,4 \text{ mm}$ $e/D= 0,0362$	0,1	28340	0,063	$\phi_{\text{esc}}=333,4 \text{ mm}$ $e/D= 0,0307$	0,1	33340	0,059	$\phi_{\text{esc}}=383,4 \text{ mm}$ $e/D= 0,0267$	0,1	38340	0,055	$\phi_{\text{esc}}=433,4 \text{ mm}$ $e/D= 0,0236$	0,1	43340	0,053
		0,5	141700	0,062		0,5	166700	0,058		0,5	191700	0,055		0,5	216700	0,052
		1,1	311740	0,062		1,1	366740	0,058		1,1	421740	0,055		1,1	476740	0,052
		1,5	425100	0,062		1,5	500100	0,058		1,5	575100	0,055		1,5	650100	0,052
		2,1	595140	0,062		2,1	700140	0,058		2,1	805140	0,055		2,1	910140	0,052
		2,5	708500	0,062		2,5	833500	0,058		2,5	958500	0,055		2,5	1E+06	0,052
		3,1	878540	0,062		3,1	1E+06	0,058		3,1	1E+06	0,055		3,1	1E+06	0,052
		3,5	991900	0,062		3,5	1E+06	0,058		3,5	1E+06	0,055		3,5	2E+06	0,052
		4,1	1E+06	0,062		4,1	1E+06	0,058		4,1	2E+06	0,055		4,1	2E+06	0,052
		4,5	1E+06	0,062		4,5	2E+06	0,058		4,5	2E+06	0,055		4,5	2E+06	0,052
2247 dias e.c.=40,8 mm	$\phi_{\text{esc}}=268,4 \text{ mm}$ $e/D= 0,0382$	0,1	26840	0,064	$\phi_{\text{esc}}=318,4 \text{ mm}$ $e/D= 0,0322$	0,1	31840	0,060	$\phi_{\text{esc}}=368,4 \text{ mm}$ $e/D= 0,0278$	0,1	36840	0,056	$\phi_{\text{esc}}=418,4 \text{ mm}$ $e/D= 0,0245$	0,1	41840	0,053
		0,5	134200	0,064		0,5	159200	0,059		0,5	184200	0,056		0,5	209200	0,053
		1,1	295240	0,063		1,1	350240	0,059		1,1	405240	0,056		1,1	460240	0,053
		1,5	402600	0,063		1,5	477600	0,059		1,5	552600	0,055		1,5	627600	0,053
		2,1	563640	0,063		2,1	668640	0,059		2,1	773640	0,055		2,1	878640	0,053
		2,5	671000	0,063		2,5	796000	0,059		2,5	921000	0,055		2,5	1E+06	0,053
		3,1	832040	0,063		3,1	987040	0,059		3,1	1E+06	0,055		3,1	1E+06	0,053
		3,5	939400	0,063		3,5	1E+06	0,059		3,5	1E+06	0,055		3,5	1E+06	0,053
		4,1	1E+06	0,063		4,1	1E+06	0,059		4,1	2E+06	0,055		4,1	2E+06	0,053
		4,5	1E+06	0,063		4,5	1E+06	0,059		4,5	2E+06	0,055		4,5	2E+06	0,053
2478 dias e.c.=46,2 mm	$\phi_{\text{esc}}=257,6 \text{ mm}$ $e/D= 0,0398$	0,1	25760	0,066	$\phi_{\text{esc}}=307,6 \text{ mm}$ $e/D= 0,0333$	0,1	30760	0,061	$\phi_{\text{esc}}=357,6 \text{ mm}$ $e/D= 0,0287$	0,1	35760	0,057	$\phi_{\text{esc}}=407,6 \text{ mm}$ $e/D= 0,0251$	0,1	40760	0,054
		0,5	128800	0,065		0,5	153800	0,060		0,5	178800	0,056		0,5	203800	0,053
		1,1	283360	0,065		1,1	338360	0,060		1,1	393360	0,056		1,1	448360	0,053
		1,5	386400	0,065		1,5	461400	0,060		1,5	536400	0,056		1,5	611400	0,053
		2,1	540960	0,065		2,1	645960	0,060		2,1	750960	0,056		2,1	855960	0,053
		2,5	644000	0,065		2,5	769000	0,060		2,5	894000	0,056		2,5	1E+06	0,053
		3,1	798560	0,065		3,1	953560	0,060		3,1	1E+06	0,056		3,1	1E+06	0,053
		3,5	901600	0,065		3,5	1E+06	0,060		3,5	1E+06	0,056		3,5	1E+06	0,053
		4,1	1E+06	0,065		4,1	1E+06	0,060		4,1	1E+06	0,056		4,1	2E+06	0,053
		4,5	1E+06	0,065		4,5	1E+06	0,060		4,5	2E+06	0,056		4,5	2E+06	0,053

TABELA 17 - Valores de f para três camadas de incrustação de 550 a 700 mm

TRÊS CAMADAS DE INCRUSTAÇÃO																
Tempo	$\phi_{\text{superficial}} = 550 \text{ mm}$				$\phi_{\text{superficial}} = 600 \text{ mm}$				$\phi_{\text{superficial}} = 650 \text{ mm}$				$\phi_{\text{superficial}} = 700 \text{ mm}$			
	$\phi_{\text{esc}}=483,4 \text{ mm}$ $e/D= 0,0212$	V	Re	f	$\phi_{\text{esc}}=533,4 \text{ mm}$ $e/D= 0,0192$	V	Re	f	$\phi_{\text{esc}}=583,4 \text{ mm}$ $e/D= 0,0176$	V	Re	f	$\phi_{\text{esc}}=633,4 \text{ mm}$ $e/D= 0,0162$	V	Re	f
1893 dias e.c.=33,3 mm			0,1	48340		0,051		0,1		53340	0,049			0,1	58340	0,047
		0,5	241700	0,050		0,5	266700	0,048		0,5	291700	0,046		0,5	316700	0,045
		1,1	531740	0,050		1,1	586740	0,048		1,1	641740	0,046		1,1	696740	0,045
		1,5	725100	0,050		1,5	800100	0,048		1,5	875100	0,046		1,5	950100	0,045
		2,1	1E+06	0,050		2,1	1E+06	0,048		2,1	1E+06	0,046		2,1	1E+06	0,045
		2,5	1E+06	0,050		2,5	1E+06	0,048		2,5	1E+06	0,046		2,5	2E+06	0,045
		3,1	1E+06	0,050		3,1	2E+06	0,048		3,1	2E+06	0,046		3,1	2E+06	0,045
		3,5	2E+06	0,050		3,5	2E+06	0,048		3,5	2E+06	0,046		3,5	2E+06	0,045
		4,1	2E+06	0,050		4,1	2E+06	0,048		4,1	2E+06	0,046		4,1	3E+06	0,045
		4,5	2E+06	0,050		4,5	2E+06	0,048		4,5	3E+06	0,046		4,5	3E+06	0,045
2247 dias e.c.=40,8 mm	$\phi_{\text{esc}}=468,4 \text{ mm}$ $e/D= 0,0219$	0,1	46840	0,051	$\phi_{\text{esc}}=518,4 \text{ mm}$ $e/D= 0,0198$	0,1	51840	0,049	$\phi_{\text{esc}}=568,4 \text{ mm}$ $e/D= 0,0180$	0,1	56840	0,047	$\phi_{\text{esc}}=618,4 \text{ mm}$ $e/D= 0,0166$	0,1	61840	0,046
		0,5	234200	0,051		0,5	259200	0,049		0,5	284200	0,047		0,5	309200	0,045
		1,1	515240	0,050		1,1	570240	0,048		1,1	625240	0,047		1,1	680240	0,045
		1,5	702600	0,050		1,5	777600	0,048		1,5	852600	0,047		1,5	927600	0,045
		2,1	983640	0,050		2,1	1E+06	0,048		2,1	1E+06	0,047		2,1	1E+06	0,045
		2,5	1E+06	0,050		2,5	1E+06	0,048		2,5	1E+06	0,047		2,5	2E+06	0,045
		3,1	1E+06	0,050		3,1	2E+06	0,048		3,1	2E+06	0,047		3,1	2E+06	0,045
		3,5	2E+06	0,050		3,5	2E+06	0,048		3,5	2E+06	0,047		3,5	2E+06	0,045
		4,1	2E+06	0,050		4,1	2E+06	0,048		4,1	2E+06	0,047		4,1	3E+06	0,045
		4,5	2E+06	0,050		4,5	2E+06	0,048		4,5	3E+06	0,047		4,5	3E+06	0,045
2478 dias e.c.=46,2 mm	$\phi_{\text{esc}}=457,6 \text{ mm}$ $e/D= 0,0224$	0,1	45760	0,052	$\phi_{\text{esc}}=507,6 \text{ mm}$ $e/D= 0,0202$	0,1	50760	0,050	$\phi_{\text{esc}}=557,6 \text{ mm}$ $e/D= 0,0184$	0,1	57760	0,047	$\phi_{\text{esc}}=607,6 \text{ mm}$ $e/D= 0,0167$	0,1	60760	0,046
		0,5	228800	0,051		0,5	253800	0,049		0,5	288800	0,047		0,5	303800	0,046
		1,1	503360	0,051		1,1	558360	0,049		1,1	635360	0,047		1,1	668360	0,046
		1,5	686400	0,051		1,5	761400	0,049		1,5	866400	0,047		1,5	911400	0,046
		2,1	960960	0,051		2,1	1E+06	0,049		2,1	1E+06	0,047		2,1	1E+06	0,046
		2,5	1E+06	0,051		2,5	1E+06	0,049		2,5	1E+06	0,047		2,5	2E+06	0,046
		3,1	1E+06	0,051		3,1	2E+06	0,049		3,1	2E+06	0,047		3,1	2E+06	0,046
		3,5	2E+06	0,051		3,5	2E+06	0,049		3,5	2E+06	0,047		3,5	2E+06	0,046
		4,1	2E+06	0,051		4,1	2E+06	0,049		4,1	2E+06	0,047		4,1	2E+06	0,046
		4,5	2E+06	0,051		4,5	2E+06	0,049		4,5	3E+06	0,046		4,5	3E+06	0,046

TABELA 18 - Valores de f para quatro camadas de incrustação de 50,8 a 300 mm

QUATRO CAMADAS DE INCRUSTAÇÃO																																															
Tempo	$\phi_{\text{superficial}} = 50,8 \text{ mm}$			$\phi_{\text{superficial}} = 101,6 \text{ mm}$			$\phi_{\text{superficial}} = 200 \text{ mm}$			$\phi_{\text{superficial}} = 250 \text{ mm}$			$\phi_{\text{superficial}} = 300 \text{ mm}$																																		
		V	Re	f		V	Re	f		V	Re	f		V	Re	f		V	Re	f																											
2660 dias e.c.=47,2 mm	Ocluída	---	---	---	Ocluída	---	---	---	Ocluída	---	---	---	$\phi_{\text{esc}}=155,6 \text{ mm}$ $e/D= 0,0659$	0,1	15560	0,083	$\phi_{\text{esc}}=205,6 \text{ mm}$ $e/D= 0,0498$	0,1	20560	0,073	0,5	102800	0,072	1,1	226160	0,072	1,5	308400	0,072	2,1	431760	0,072	2,5	514000	0,071	3,1	637360	0,071	3,5	719600	0,071	4,1	842960	0,071	4,5	925200	0,071
		---	---	---		---	---	---		---	---	---		0,5	77800	0,082		1,1	171160	0,082	1,5	233400	0,082	2,1	326760	0,082	2,5	389000	0,082	3,1	482360	0,082	3,5	544600	0,082	4,1	637960	0,082	4,5	700200	0,082						
		---	---	---		---	---	---		---	---	---		1,1	171160	0,082		1,5	233400	0,082	2,1	326760	0,082	2,5	389000	0,082	3,1	482360	0,082	3,5	544600	0,082	4,1	637960	0,082	4,5	700200	0,082									
		---	---	---		---	---	---		---	---	---		1,5	233400	0,082		2,1	326760	0,082	2,5	389000	0,082	3,1	482360	0,082	3,5	544600	0,082	4,1	637960	0,082	4,5	700200	0,082												
		---	---	---		---	---	---		---	---	---		2,1	326760	0,082		2,5	389000	0,082	3,1	482360	0,082	3,5	544600	0,082	4,1	637960	0,082	4,5	700200	0,082															
		---	---	---		---	---	---		---	---	---		2,5	389000	0,082		3,1	482360	0,082	3,5	544600	0,082	4,1	637960	0,082	4,5	700200	0,082																		
		---	---	---		---	---	---		---	---	---		3,1	482360	0,082		3,5	544600	0,082	4,1	637960	0,082	4,5	700200	0,082																					
		---	---	---		---	---	---		---	---	---		3,5	544600	0,082		4,1	637960	0,082	4,5	700200	0,082																								
		---	---	---		---	---	---		---	---	---		4,1	637960	0,082		4,5	700200	0,082																											
		---	---	---		---	---	---		---	---	---		4,5	700200	0,082																															
2996 dias e.c.=54,4 mm	Ocluída	---	---	---	Ocluída	---	---	---	Ocluída	---	---	---	$\phi_{\text{esc}}=141,2 \text{ mm}$ $e/D= 0,0726$	0,1	14120	0,087	$\phi_{\text{esc}}=191,2 \text{ mm}$ $e/D= 0,0536$	0,1	19120	0,075	0,5	95600	0,074	1,1	210320	0,074	1,5	286800	0,074	2,1	401520	0,074	2,5	478000	0,074	3,1	592720	0,074	3,5	669200	0,074	4,1	783920	0,074	4,5	860400	0,074
		---	---	---		---	---	---		---	---	---		0,5	70600	0,086		1,1	155320	0,086	1,5	211800	0,086	2,1	296520	0,086	2,5	353000	0,086	3,1	437720	0,086	3,5	494200	0,086	4,1	578920	0,086	4,5	635400	0,086						
		---	---	---		---	---	---		---	---	---		1,1	155320	0,086		1,5	211800	0,086	2,1	296520	0,086	2,5	353000	0,086	3,1	437720	0,086	3,5	494200	0,086	4,1	578920	0,086	4,5	635400	0,086									
		---	---	---		---	---	---		---	---	---		1,5	211800	0,086		2,1	296520	0,086	2,5	353000	0,086	3,1	437720	0,086	3,5	494200	0,086	4,1	578920	0,086	4,5	635400	0,086												
		---	---	---		---	---	---		---	---	---		2,1	296520	0,086		2,5	353000	0,086	3,1	437720	0,086	3,5	494200	0,086	4,1	578920	0,086	4,5	635400	0,086															
		---	---	---		---	---	---		---	---	---		2,5	353000	0,086		3,1	437720	0,086	3,5	494200	0,086	4,1	578920	0,086	4,5	635400	0,086																		
		---	---	---		---	---	---		---	---	---		3,1	437720	0,086		3,5	494200	0,086	4,1	578920	0,086	4,5	635400	0,086																					
		---	---	---		---	---	---		---	---	---		3,5	494200	0,086		4,1	578920	0,086	4,5	635400	0,086																								
		---	---	---		---	---	---		---	---	---		4,1	578920	0,086		4,5	635400	0,086																											
		---	---	---		---	---	---		---	---	---		4,5	635400	0,086																															
3304 dias e.c.=61,6 mm	Ocluída	---	---	---	Ocluída	---	---	---	Ocluída	---	---	---	Ocluída	---	---	---	$\phi_{\text{esc}}=176,8 \text{ mm}$ $e/D= 0,0580$	0,1	17680	0,078	0,5	88400	0,077	1,1	194480	0,077	1,5	265200	0,077	2,1	371280	0,077	2,5	442000	0,077	3,1	548080	0,077	3,5	618800	0,077	4,1	724880	0,077	4,5	795600	0,077
		---	---	---		---	---	---		---	---	---		---	---	---		1,1	194480	0,077	1,5	265200	0,077	2,1	371280	0,077	2,5	442000	0,077	3,1	548080	0,077	3,5	618800	0,077	4,1	724880	0,077	4,5	795600	0,077						
		---	---	---		---	---	---		---	---	---		---	---	---		1,5	265200	0,077	2,1	371280	0,077	2,5	442000	0,077	3,1	548080	0,077	3,5	618800	0,077	4,1	724880	0,077	4,5	795600	0,077									
		---	---	---		---	---	---		---	---	---		---	---	---		2,1	371280	0,077	2,5	442000	0,077	3,1	548080	0,077	3,5	618800	0,077	4,1	724880	0,077	4,5	795600	0,077												
		---	---	---		---	---	---		---	---	---		---	---	---		2,5	442000	0,077	3,1	548080	0,077	3,5	618800	0,077	4,1	724880	0,077	4,5	795600	0,077															
		---	---	---		---	---	---		---	---	---		---	---	---		3,1	548080	0,077	3,5	618800	0,077	4,1	724880	0,077	4,5	795600	0,077																		
		---	---	---		---	---	---		---	---	---		---	---	---		---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---									
		---	---	---		---	---	---		---	---	---		---	---	---		---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---												
		---	---	---		---	---	---		---	---	---		---	---	---		---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---												
		---	---	---		---	---	---		---	---	---		---	---	---		---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---												

TABELA 19 - Valores de f para quatro camadas de incrustação de 350 a 500 mm

QUATRO CAMADAS DE INCRUSTAÇÃO																
Tempo	$\phi_{\text{superficial}} = 350 \text{ mm}$			$\phi_{\text{superficial}} = 400 \text{ mm}$			$\phi_{\text{superficial}} = 450 \text{ mm}$			$\phi_{\text{superficial}} = 500 \text{ mm}$						
	$\phi_{\text{esc}}=255,6 \text{ mm}$ $e/D= 0,0401$	V	Re	f	$\phi_{\text{esc}}=305,6 \text{ mm}$ $e/D= 0,0335$	V	Re	f	$\phi_{\text{esc}}=355,6 \text{ mm}$ $e/D= 0,0288$	V	Re	f	$\phi_{\text{esc}}=405,6 \text{ mm}$ $e/D= 0,0253$	V	Re	f
260 dias e.c.=47,2 mm		0,1	25560	0,066		0,1	30560	0,061		0,1	35560	0,057		0,1	40560	0,054
		0,5	127800	0,065		0,5	152800	0,060		0,5	177800	0,056		0,5	202800	0,053
		1,1	281160	0,065		1,1	336160	0,060		1,1	391160	0,056		1,1	446160	0,053
		1,5	383400	0,065		1,5	458400	0,060		1,5	533400	0,056		1,5	608400	0,053
		2,1	536760	0,065		2,1	641760	0,060		2,1	746760	0,056		2,1	851760	0,053
		2,5	639000	0,065		2,5	764000	0,060		2,5	889000	0,056		2,5	1E+06	0,053
		3,1	792360	0,065		3,1	947360	0,060		3,1	1E+06	0,056		3,1	1E+06	0,053
		3,5	894600	0,065		3,5	1E+06	0,060		3,5	1E+06	0,056		3,5	1E+06	0,053
		4,1	1E+06	0,065		4,1	1E+06	0,060		4,1	1E+06	0,056		4,1	2E+06	0,053
4,5	1E+06	0,065	4,5	1E+06	0,060	4,5	2E+06	0,056	4,5	2E+06	0,053					
2996 dias e.c.=54,4 mm		0,1	24120	0,067		0,1	29120	0,062		0,1	34120	0,058		0,1	39120	0,055
		0,5	120600	0,067		0,5	145600	0,061		0,5	170600	0,057		0,5	195600	0,054
		1,1	265320	0,067		1,1	320320	0,061		1,1	375320	0,057		1,1	430320	0,054
		1,5	361800	0,067		1,5	436800	0,061		1,5	511800	0,057		1,5	586800	0,054
		2,1	506520	0,066		2,1	611520	0,061		2,1	716520	0,057		2,1	821520	0,054
		2,5	603000	0,066		2,5	728000	0,061		2,5	853000	0,057		2,5	978000	0,054
		3,1	747720	0,066		3,1	902720	0,061		3,1	1E+06	0,057		3,1	1E+06	0,054
		3,5	844200	0,066		3,5	1E+06	0,061		3,5	1E+06	0,057		3,5	1E+06	0,054
		4,1	988920	0,066		4,1	1E+06	0,061		4,1	1E+06	0,057		4,1	2E+06	0,054
4,5	1E+06	0,066	4,5	1E+06	0,061	4,5	2E+06	0,057	4,5	2E+06	0,054					
3304 dias e.c.=61,6 mm		0,1	22680	0,069		0,1	27680	0,063		0,1	32680	0,059		0,1	37680	0,056
		0,5	113400	0,069		0,5	138400	0,063		0,5	163400	0,058		0,5	188400	0,055
		1,1	249480	0,068		1,1	304480	0,063		1,1	359480	0,058		1,1	414480	0,055
		1,5	340200	0,068		1,5	415200	0,063		1,5	490200	0,058		1,5	565200	0,055
		2,1	476280	0,068		2,1	581280	0,063		2,1	686280	0,058		2,1	791280	0,055
		2,5	567000	0,068		2,5	692000	0,063		2,5	817000	0,058		2,5	942000	0,055
		3,1	703080	0,068		3,1	858080	0,063		3,1	1E+06	0,058		3,1	1E+06	0,055
		3,5	793800	0,068		3,5	968800	0,063		3,5	1E+06	0,058		3,5	1E+06	0,055
		4,1	929880	0,068		4,1	1E+06	0,063		4,1	1E+06	0,058		4,1	2E+06	0,055
4,5	1E+06	0,068	4,5	1E+06	0,063	4,5	1E+06	0,058	4,5	2E+06	0,055					

TABELA 20 - Valores de f para quatro camadas de incrustação de a 550 a 700 mm

QUATRO CAMADAS DE INCRUSTAÇÃO																
Tempo	$\phi_{\text{superficial}} = 550 \text{ mm}$				$\phi_{\text{superficial}} = 600 \text{ mm}$				$\phi_{\text{superficial}} = 650 \text{ mm}$				$\phi_{\text{superficial}} = 700 \text{ mm}$			
	$\phi_{\text{esc}}=455,6 \text{ mm}$ $e/D= 0,0225$	V	Re	f	$\phi_{\text{esc}}=505,6 \text{ mm}$ $e/D= 0,0203$	V	Re	f	$\phi_{\text{esc}}=555,6 \text{ mm}$ $e/D= 0,0184$	V	Re	f	$\phi_{\text{esc}}=605,6 \text{ mm}$ $e/D= 0,0169$	V	Re	f
2660 dias e.c.=47,2 mm			0,1	45560		0,052		0,1		50560	0,050			0,1	55560	0,048
		0,5	227800	0,051		0,5	252800	0,049		0,5	277800	0,047		0,5	302800	0,046
		1,1	501160	0,051		1,1	556160	0,049		1,1	611160	0,047		1,1	666160	0,046
		1,5	683400	0,051		1,5	758400	0,049		1,5	833400	0,047		1,5	908400	0,046
		2,1	956760	0,051		2,1	1E+06	0,049		2,1	1E+06	0,047		2,1	1E+06	0,046
		2,5	1E+06	0,051		2,5	1E+06	0,049		2,5	1E+06	0,047		2,5	2E+06	0,046
		3,1	1E+06	0,051		3,1	2E+06	0,049		3,1	2E+06	0,047		3,1	2E+06	0,046
		3,5	2E+06	0,051		3,5	2E+06	0,049		3,5	2E+06	0,047		3,5	2E+06	0,046
		4,1	2E+06	0,051		4,1	2E+06	0,049		4,1	2E+06	0,047		4,1	2E+06	0,046
		4,5	2E+06	0,051		4,5	2E+06	0,049		4,5	3E+06	0,047		4,5	3E+06	0,046
2996 dias e.c.=54,4 mm	$\phi_{\text{esc}}=441,2 \text{ mm}$ $e/D= 0,0232$	0,1	44120	0,052	$\phi_{\text{esc}}=491,2 \text{ mm}$ $e/D= 0,0209$	0,1	49120	0,050	$\phi_{\text{esc}}=541,2 \text{ mm}$ $e/D= 0,0189$	0,1	54120	0,048	$\phi_{\text{esc}}=591,2 \text{ mm}$ $e/D= 0,0173$	0,1	59120	0,047
		0,5	220600	0,052		0,5	245600	0,050		0,5	270600	0,048		0,5	295600	0,046
		1,1	485320	0,052		1,1	540320	0,050		1,1	595320	0,048		1,1	650320	0,046
		1,5	661800	0,052		1,5	736800	0,049		1,5	811800	0,048		1,5	886800	0,046
		2,1	926520	0,052		2,1	1E+06	0,049		2,1	1E+06	0,048		2,1	1E+06	0,046
		2,5	1E+06	0,052		2,5	1E+06	0,049		2,5	1E+06	0,048		2,5	1E+06	0,046
		3,1	1E+06	0,052		3,1	2E+06	0,049		3,1	2E+06	0,048		3,1	2E+06	0,046
		3,5	2E+06	0,052		3,5	2E+06	0,049		3,5	2E+06	0,048		3,5	2E+06	0,046
		4,1	2E+06	0,052		4,1	2E+06	0,049		4,1	2E+06	0,048		4,1	2E+06	0,046
		4,5	2E+06	0,052		4,5	2E+06	0,049		4,5	2E+06	0,048		4,5	3E+06	0,046
3304 dias e.c.=61,6 mm	$\phi_{\text{esc}}=426,8 \text{ mm}$ $e/D= 0,0240$	0,1	42680	0,053	$\phi_{\text{esc}}=476,8 \text{ mm}$ $e/D= 0,0215$	0,1	47680	0,051	$\phi_{\text{esc}}=526,8 \text{ mm}$ $e/D= 0,0195$	0,1	52680	0,049	$\phi_{\text{esc}}=576,8 \text{ mm}$ $e/D= 0,0178$	0,1	57680	0,047
		0,5	213400	0,052		0,5	238400	0,050		0,5	263400	0,048		0,5	288400	0,047
		1,1	469480	0,052		1,1	524480	0,050		1,1	579480	0,048		1,1	634480	0,047
		1,5	640200	0,052		1,5	715200	0,050		1,5	790200	0,048		1,5	865200	0,047
		2,1	896280	0,052		2,1	1E+06	0,050		2,1	1E+06	0,048		2,1	1E+06	0,047
		2,5	1E+06	0,052		2,5	1E+06	0,050		2,5	1E+06	0,048		2,5	1E+06	0,047
		3,1	1E+06	0,052		3,1	1E+06	0,050		3,1	2E+06	0,048		3,1	2E+06	0,047
		3,5	1E+06	0,052		3,5	2E+06	0,050		3,5	2E+06	0,048		3,5	2E+06	0,047
		4,1	2E+06	0,052		4,1	2E+06	0,050		4,1	2E+06	0,048		4,1	2E+06	0,047
		4,5	2E+06	0,052		4,5	2E+06	0,050		4,5	2E+06	0,048		4,5	3E+06	0,047

Através das tabelas anteriores foi possível montar as Tabelas 20 e 21 com os valores relevantes para f em função dos diâmetros analisados. Foi possível constatar que com o aumento das espessuras não se notou uma variação significativa dos valores de f para as mudanças do número de Reynolds, sendo possível afirmar através da Tabela 21 valores para os respectivos diâmetros em cada camada analisada.

TABELA 21 – Valores de f para diâmetros de 2 e 4” com variação de tempo

Uma camada de incrustação					
$\phi = 50,8$ mm 569 dias	f	$\phi = 101,6$ mm 569 dias	f	$\phi = 101,6$ mm 749 dias	f
	1,797		0,456		0,769
	0,021		0,098		0,165
	0,018		0,081		0,136
	0,017		0,073		0,123
	0,016		0,065		0,109
	0,016		0,060		0,102
	0,016		0,055		0,093
	0,016		0,052		0,088

TABELA 22 – Valor de f para variações de diâmetro em função das camadas 200 a 700 mm.

	1 Camada	2 Camadas	3 Camadas	4 Camadas
Tempo (dias)	778	708	585	588
ϕ (mm)	f			
200	0,077	0,084	--	--
250	0,069	0,073	0,079	0,084
300	0,063	0,066	0,07	0,074
350	0,059	0,061	0,063	0,067
400	0,055	0,057	0,059	0,061
450	0,053	0,054	0,056	0,057
500	0,050	0,051	0,053	0,054
550	0,048	0,049	0,05	0,052
600	0,047	0,048	0,048	0,05
650	0,045	0,047	0,047	0,048
700	0,044	0,045	0,045	0,046

Os valores de f foram determinados para o diâmetro de 50,8 mm apenas para a primeira espessura de camada, pois, a partir da segunda há uma alta variação do diâmetro interno, ultrapassando o limite dado por RESENDE (2007), e para o diâmetro de 101,4 mm pode ser das duas primeiras espessuras de camadas analisadas, também pelo mesmo motivo citado anteriormente.

É perceptível como os valores encontrados de f , dados nas tabelas anteriores seguem um decréscimo linear em função do aumento dos diâmetros e crescimento com o aumento do número de camadas. Essa diminuição é esperada e conferida no *Ábaco de Moody*. Conforme o diâmetro interno da tubulação aumenta, tendo um maior espaço para que o fluxo corra, há uma pequena variação do fator de perda de carga que leva a uma menor perda de carga unitária, justamente pelo fato de a tubulação ser maior, permitindo um fluxo maior, porém, quanto maior a espessura da camada, ou maior o número de camadas, maior o fator de perda de carga. Já para diâmetros menores existe uma variação em função dos limites de Reynolds e pelo fato de a rugosidade relativa estar fora dos limites estipulados nos *ábacos* existentes.

De acordo com o *Ábaco de Moody*, o valor de f de 1,797, encontrado para a tubulação com diâmetro superficial de 50,8 mm, com velocidade de 0,1 m/s e Re de 2160, encontra-se em uma zona de transição, não podendo ser confiável nenhum valor encontrado, portanto, este valor pode ser retirado, sem prejuízo, dos resultados finais por não apresentar consistência.

Os demais valores de f encontrados para os diâmetros de 71,8 (101,4) e 44,6 (50,8) mm, não possuem nenhum parâmetro de comparação, uma vez que a rugosidade relativa é maior do que a máxima analisada por *Moody*. Surge uma nova condição. O valor da rugosidade encontrada para esta superfície é de 10,25 mm, ultrapassando a camada limite, não podendo ser ela a justificativa para o aumento do fator de perda de carga.

A nova condição encontrada deve ser estudada e os testes devem ser feitos para analisar o comportamento desta específica condição. Nem tubulações desgastadas pelo tempo, corroídas ou com algum processo de decomposição e degradação, apresentam tão alta rugosidade para se chegar a algum valor parecido de rugosidade relativa. Mesmo com a corrosão, as partículas se desprendem com o tempo e o diâmetro interno não consegue ser diminuído tanto a ponto de causar oclusão.

O gráfico abaixo, dado na Figura 21, trás a variação dos valores de f para cada camada analisada, sendo possível avaliar a pequena diferença dos valores encontrados para variação de camadas e seu decréscimo conforme há aumento de diâmetro.

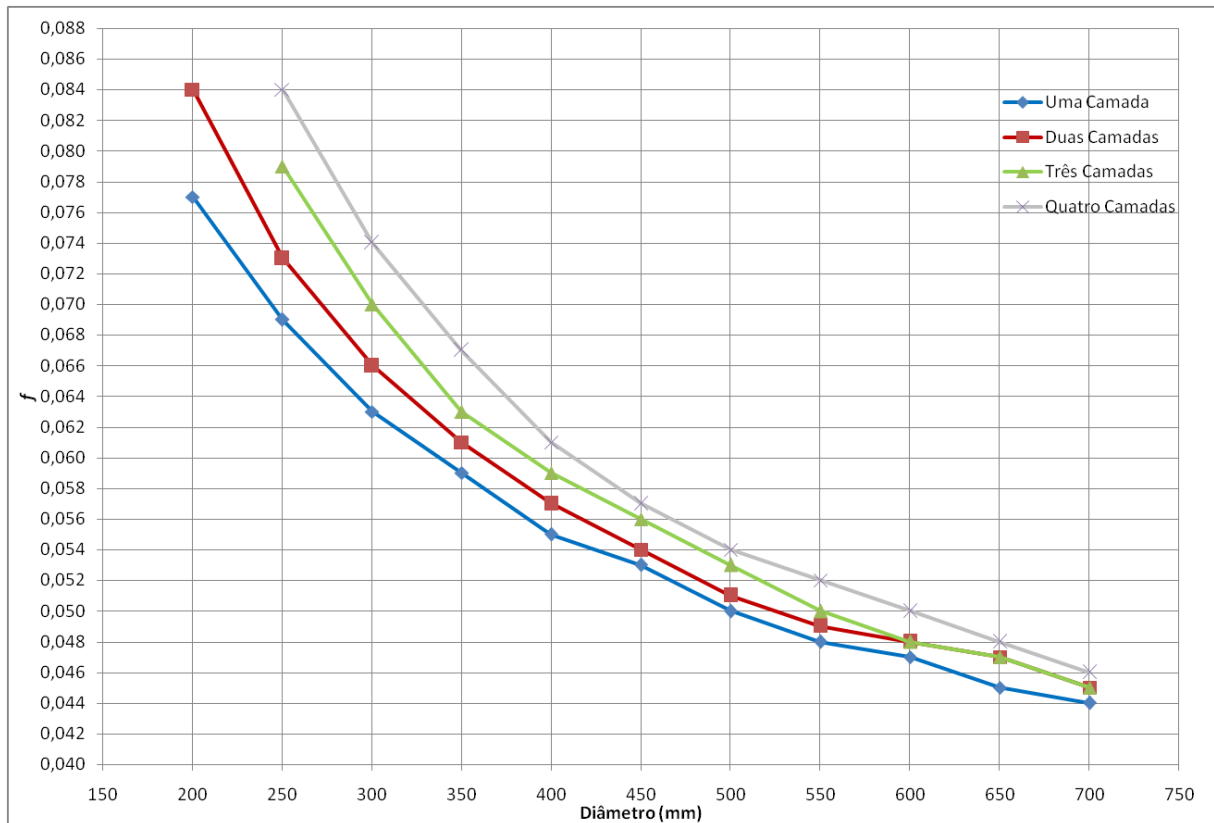


FIGURA 17 – Gráfico de Diâmetro x f para diferentes camadas de incrustação

É possível observar através do gráfico acima que apenas a partir do diâmetro de 250 mm as curvas acompanham todas as camadas analisadas e há uma relevante variação entre os valores de fator de perda de carga entre as camadas, principalmente se comparadas a primeira e a quarta camada de incrustação, com uma diferença de 0,015, no fator de perda de carga. É possível observar também que com o aumento dos diâmetros as curvas se aproximam, levando a coeficientes de perda de carga menores, com uma variação entre a primeira camada e a quarta de apenas 0,02 para o diâmetro de 700 mm, provando que a perda de carga afeta principalmente tubulações de menores diâmetros para a condição de infestação do mexilhão dourado.

Na tentativa de validação das equações dadas por RESENDE (2007), foi feita uma análise, mostrada nas tabelas a seguir, a fim de verificar os resultados obtidos em ambos os trabalhos. Foram calculadas as perdas de carga para as tubulações com diâmetros de 2 e 4", pois, estes foram os diâmetros que não se enquadraram nas condições da equação de Buzelli nem no Ábaco de Moody, sendo necessária a utilização de um estudo proposto, no caso o de

RESENDE (2007). A seguir, nas Tabelas 23 e 24, dados encontrados para a utilização das equações de DARCY e RESENDE (2007).

Tabela 23 – Dados de Perda de Carga para 2 e 4” em função da equação de Darcy

Desc (m)	0,0174		g(m/s ²)	9,81	v(m ² /s)	0,000001		Desc(m)	0,0483
2"					4"				
Re	f	Q(m ³ /s)	Q(L/s)	J	Re	f	Q(m ³ /s)	Q(L/s)	J
0	0	0,0000	0,0000	0,0000	7180	0,4560	0,0003	0,2724	0,0106
10800	0,079	0,0001	0,1476	0,0892	35900	0,1830	0,0014	1,3619	0,1067
23760	0,026	0,0003	0,3247	0,1420	78980	0,1170	0,0030	2,9961	0,3301
32400	0,021	0,0004	0,4428	0,2133	107700	0,0980	0,0041	4,0856	0,5142
45360	0,018	0,0006	0,6199	0,3583	150780	0,0810	0,0057	5,7198	0,8330
54000	0,017	0,0007	0,7380	0,4796	179500	0,0730	0,0068	6,8093	1,0639
66960	0,016	0,0009	0,9151	0,6941	222580	0,0650	0,0084	8,4435	1,4566
75600	0,016	0,0010	1,0331	0,8847	251300	0,0600	0,0095	9,5330	1,7139
88560	0,016	0,0012	1,2103	1,2141	294380	0,0550	0,0112	11,1672	2,1560
97200	0,016	0,0013	1,3283	1,4625	323100	0,0520	0,0123	12,2567	2,4555

Tabela 24 – Dados de Perda de Carga para 2 e 4” em função da equação de RESENDE

Desc(m)	0,0174	Desc(m)	0,0483
2"		4"	
Q(L/s)	J	Q(L/s)	J
0,0000	0,0442	0,4049	0,0033
0,1832	0,0472	2,0245	0,0316
0,4031	0,0763	4,4538	0,0959
0,5497	0,1110	6,0734	0,1483
0,7695	0,1862	8,5027	0,2380
0,9161	0,2517	10,1223	0,3042
1,1359	0,3730	12,5516	0,4117
1,2825	0,4692	14,1712	0,4883
1,5024	0,6366	16,6006	0,6100
1,6490	0,7636	18,2201	0,6953

É possível ver que os valores de perda de carga encontrados nas duas equações não são coerentes para os diâmetros analisados. Isso pode se dar pelo fato de durante o procedimento do trabalho de RESENDE (2007) ter ocorrido um problema técnico fazendo com os dados coletados sofressem um alteração comportamental, o que não invalida os resultados obtidos. Outro possível motivo para a diferença dos resultados é a forma de se medir a rugosidade, que foi feita de forma diferente. Através dessa análise tem-se a confirmação da necessidade de

novos testes para acompanhar o comportamento do mexilhão nas tubulações a fim de se verificar a velocidade e vazão adequadas.

5 CONCLUSÕES

O objetivo principal deste trabalho foi determinar o fator de perda de carga para tubulações infestadas com mexilhão dourado, impactando diretamente no comportamento das tubulações de condutos forçados, avaliando velocidade, número de Reynolds e variação de diâmetro, uma vez registrado que para estas tubulações incrustadas, se comparadas às não infestadas, sofrem uma perda de carga, gerando uma menor eficiência para o processo final em que estiver envolvida, DARRIGRAN (2009). Para alcançar este objetivo, foram analisadas diversas situações a respeito da forma de incrustação e ciclo de vida do mexilhão para que fosse possível determinar este crescimento e avaliar seu comportamento dentro do duto, o que foi possível através de uma pequena modificação, dos dados já trabalhados encontrados por DARRIGRAN & MAROÑAS (2002), gerando então uma taxa de crescimento em função dos dias.

Também necessário para alcançar o objetivo do trabalho, foi necessário o entendimento da forma como o mexilhão se fixa à superfície, que neste trabalho se deu de forma direta, homogênea e ordenada, sendo possível através do ângulo de fixação, determinado através de médias com o valor de 37° , obter o comprimento valvar em cada ponto medido, possibilitando então o conhecimento do tempo de vida da espessura da camada formada, sendo analisadas em função do seu crescimento longitudinal e latitudinal.

Um dado muito importante e utilizado durante todo o processo foi a rugosidade superficial, tendo sido considerada fixa, por apresentar sempre a mesma superfície independente do número de camadas a ser analisada com o valor de 10,25 mm. Neste específico trabalho, a fixação dos mexilhões se dá da mesma forma, variando o número de indivíduos por centímetro quadrado, sendo um e três, as quantidades escolhidas e trabalhadas. Considera-se que após a fixação e constatação da rugosidade superficial, este valor seja o mesmo para as demais camadas a serem montadas, pois se tem mudanças apenas no aumento da espessura e não na forma de fixação do molusco.

Ao final do trabalho foi possível então, determinar o coeficiente de perda de carga que levará ao valor de perda de carga unitária, sendo possível então um dimensionamento da diminuição

da eficiência do sistema afetado. É possível afirmar que para tubulações menores, na faixa de 50 a 150 mm de diâmetro, a infestação pode causar oclusão do duto, gerando um aumento no número de manutenções para que seja possível evitar tal acontecimento. É possível, através dos dados encontrados, afirmar que uma tubulação com diâmetro superficial de 2 e 4” , começa a entrar em processo de oclusão quando a infestação de suas paredes alcança 58 dias, antes disso, a espessura da camada ainda possibilita que o fluxo passe, sem maiores problemas. Nesta mesma tubulação, vê-se que para uma velocidade de 0,1 m/s, o Reynolds encontrado, $Re = 2160$, pertence à faixa de transição dada no Ábaco de Moody, que vai de 2000 a 3000. Com esta informação é possível dizer, baseado no próprio Ábaco, que esta medida deve ser descartada por justamente estar em uma faixa de transição, onde não se conhece nem é possível determinar como o fluido se comporta. Portanto, os valores de f passam a ser considerados, a partir da segunda medição de velocidade de 0,5 m/s com Reynolds de 10800 e f de 0,074, sendo um valor alto, porém esperado para tubulações, uma vez comprovado seu aumento com decréscimo do diâmetro interno das tubulações.

Os valores seguintes, encontrados para a tubulação com diâmetro superficial de 4” , também apresenta uma variação nos valores de f , acima do determinado em Moody. Isso pode ser explicado, como dito anteriormente, pela diminuição do diâmetro interno, tendo como consequência para uma rugosidade tão elevada, o aumento do valor do fator de perda de carga. Porém, como não existem valores tão altos de f causados pela oclusividade das tubulações devido a fatores físicos (corrosão, abrasão, oxidação) ou valores obtidos do Ábaco de Moody - pois, seu valor máximo de rugosidade relativa é de 0,05 - assim como não é possível afirmar que a camada limite interfere na forma como o fluido se comporta, pelo fato de o valor da rugosidade encontrada ser superior aos limites estipulados para ela, o que se espera é que novos estudos sejam feitos a fim de poder dimensionar novos limites para a rugosidade relativa, se tornando possível a comparação dos resultados para tubulações menores com valores maiores de rugosidade superficial.

Para os demais valores determinados para os diâmetros analisados, de 200 a 700 mm, constata-se que com o aumento do número de camadas, independente da espessura que elas assumam, pois estes aumentos não influenciam significativamente nos valores encontrados, o

valor do fator de atrito cresce em pequena escala, sendo a maior diferença de valor encontrado entre a menor e maior camada de 0,015 para o diâmetro de 200 mm.

Fazendo uma análise entre os diâmetros, para uma mesma camada, têm-se que os valores de f vão sofrendo um pequeno decréscimo, sendo a maior variação entre eles de 0,039 para a segunda camada, entre os diâmetros de 200 a 700 mm. É possível, portanto, afirmar que os resultados deste intervalo possuem uma equivalência com os valores encontrados no Ábaco de Moddy, sendo este ábaco a referência para fator de perda de carga em tubulações sem infestação, tendo as curvas o mesmo formato e o mesmo padrão, validando então os resultados obtidos.

A principal influência encontrada com as variações dos valores de f é o fator velocidade, pois, de acordo com XU et al (2012), a velocidade de arrancamento do mexilhão em condutos forçados é de 2,2 m/s, sendo possível contatar através das tabelas citadas no capítulos anterior, uma estabilidade dos valores de f a partir desta velocidade, para os diâmetros entre 200 e 700 mm, já para os diâmetros menores é possível observar uma diminuição mais brusca dos valores do fator de perda de carga a partir da velocidade citada. Isso mostra que, conforme há um aumento da velocidade e ocorre o arrancamento dos mexilhões, os diâmetros internos vão aumentando, possibilitando a passagem de mais fluxo, conseqüentemente diminuindo o fator de atrito, até atingir uma estabilidade, diminuindo as sobreposições diminuindo também as variações de rugosidade.

Para melhorar os resultados encontrados se faz necessário refazer os testes para tubulações com diâmetros entre 50 e 150 mm para análise do seu comportamento em função da infestação dos mexilhões com densidades de 0,5, 1,0 e 3,0 ind/cm², analisando rugosidade superficial e relativa, a fim de validar o experimento, tendo os resultados como parâmetros de comparação para novos experimentos que visem o auxílio destas informações como foi o caso deste presente estudo, utilizando-o até mesmo como meio de comparação através dos resultados aqui publicados.

Avaliação de velocidades para arrancamento e deslocamento do indivíduo dentro das tubulações a fim de se verificar se este arrancamento consegue eliminar a espécie do interior

da tubulação se somente a arrastar para o interior levando o problema do macrofouling para maiores extensões das tubulações.

E também, analisar o comportamento do indivíduo ao se deslocar para outros ambientes, como rotores e pás, e a qual velocidade a fixação poderia ocorrer para se trabalhar em velocidades diferentes, se se fizer possível, a fim de evitar o alastramento para estes ambientes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 AKEHOSHI Y. (2011). Study of ecological features and prevention of damage of *Limnoperna fortunei* in the irrigation institution. Rep Yahagi Riv Inst: 15: 55-63 [In Japanese]
- 2 BARBOSA, F. G.; MELO, A. S. (2009). Modelo preditivo de sobrevivência do Mexilhão Dourado (*Limnoperna fortunei*) em relação a variações de salinidade na Laguna dos Patos, RS, Brasil. **Biota Neotropica**, Rio Grande do Sul, v. 9, n. 3, p.407-412.
- 3 BAPTISTA, M.; LARA, M. (2002). **Fundamentos de engenharia hidráulica**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 19 p.
- 4 BOLTOVSKOY, D.; AND CATALDO, D. (1999). Population dynamics of *Limnoperna fortunei* an invase fouling mollusk in the lower Paraná river *Argentina). *Biofouling*, v. 14, p. 255-263.
- 5 BOLTOVSKOY, D.; XU, M.; NAKANO, D. (2015). Impacts of *limnoperna fortunei* on man-made structures and control strategies: general overview. In: BOLTOVSKOY, D. (Ed.). **Limnoperna fortunei: the ecology, distribution and control of a swiftly invasive fouling mussel**. Argentina: Springer, p. 375-393.
- 6 BONETTO, A. A.; EZCURRA, I. D. (1963). Notas malacológicas. I:(1) El desarrollo del glochidium de *Diplodondelodontusdelodontus*(Lam.); (2) El glochidium de *Prisodon (Triplodon) corrugatus*Lam.; (3) El lasidium de *Monocondylea paraguayana* d'Orb. Buenos Aires, **Physis** 24 (67):17-21.
- 7 CATALDO, D. H.; BOLTOVSKOY, D. (2000). Yearly Reproductive Activity Of MexilhãoDourado (Bivalvia) As Inferred From The Occurrence Of Its Larvae In The Plankton Of The Lower Parana River And The Rio De La Plata Estuary (Argentina). **Aquatic Ecology**, 34, P.307:317.
- 8 CATALDO, D. H., J. C. COLOMBO, D. BOLTOVSKOY, C. BILOS & P. LANDONI. (2001). Environmental toxicity assessment in the Paraná River delta (Argentina): simultaneous evaluation of.
- 9 CHOI, S.S. & J.S. KIM. (1895). Studies on the metamorphosis and the growth of larva in *LimnopernaFortunei*.**Korean Journal of Malacology**, Seoul, 1: 13-18.
- 10 CHOI, S.S. & C.N. CHIN. (1895). Study on the early development and larvae of *LimnopernaFortunei*. **Korean Journal of Malacology**, Seoul, 1: 5-12.

- 11 CLAUDI R., PRESCOTT TH., MASTISKY S., COFFEY H. (2014). Efficacy of copper based algaecides for control of Quagga and Zebra Mussels. Report for California department of water resources, aquatic nuisance species program, pp 1-58.
- 12 CLAUDI, R.; OLIVEIRA, M. D. de (2015). Chemical Strategies for the Control of the Golden Mussel (*Limnoperna fortunei*) in Industrial Facilities. In: BOLTOVSKOY, D. (Ed). **Limnoperna fortunei**: The ecology, distribution and control of a swiftly invasive fouling mussel. Argentina: Springer, p. 417-441.
- 13 CLAUDI, R.; OLIVEIRA, M. D. de (2015). Alternative Strategies for Control of Golden Mussel (*Limnoperna fortunei*) in Industrial Facilities. In: BOLTOVSKOY, D. (Ed.). **Limnoperna fortunei**: The ecology, distribution and control of a swiftly invasive fouling mussel. Argentina: Springer, p. 463-476.
- 14 CÔRTEZ, P. E. F. (2009). **Desenvolvimento de Acabamento Rolled-on em Aço Inoxidável**. 126 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Metalúrgica, Pós Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- 15 DARRIGRAN, G. A. (1995). *Limnoperna fortunei*, ¿um problema para los sistemas naturales de água dulce do Mercosul?. *Museo* 1 (5): 85-87.
- 16 DARRIGRAN, G. & G. PASTORINO (1995). The Recent Introduction of Asiatic Bivalve, *Limnoperna fortunei*(Mytilidae) into South America. *The Veliger* 38 (2): 183-187.
- 17 DARRIGRAN, G. A; M. C. DAMBORENEA & P. E. PENCHASZADEH (1998). A case of hermaphroditism in the freshwater invading bivalve *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) (Mytilidae) from Rio de la Plata, Argentina. *Iberus* 16 (2): 99-104.
- 18 DARRIGRAN, G. A., S. M. MARTIN, B. GULLO & L. ARMENDARIZ (1998). Macroinvertebrados associated to the byssus of *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) (Pelecypoda, Mytilidae). Río de la Plata, Argentina. *Hydrobiología* 367:223-230. Bélgica.
- 19 DARRIGRAN, G. A. (1999). Longitudinal distribution of molluscan communities in the Río de la Plata estuary as indicators of environmental conditions. *Malacological Review* supl. Freshwater Mollusca, v. 8, p. 1-12.
- 20 DARRIGRAN, G. & de DRAGO, I. E. (2000). Invasion of the exotic freshwater mussel *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1876) (Bivalvia :Mytilidae) in South America. **Nautilus**, 114 (2): 69-73.

- 21 DARRIGRAN G. & I. EZCURRA DE DRAGO (2000). Distribución de *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) (Mytilidae) en la Cuenca del Plata, Región Neotropical. *Medio Ambiente* 13 (2):75-79.
- 22 DARRIGRAN, G. (2002). Potential impact of filter-feeding invaders on temperate inland freshwater environments. **Biological Invasions** 4: 145-156.
- 23 DARRIGRAN, G. & M. E. MAROÑAS (2002). Crecimiento valvar de *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) (Mytilidae) de una localidad de clima templado de la región neotropical. V Congreso Latinoamericano de Malacología -CLAMA-Res 56b 30/6 al 4/7 do 2002. San Pablo Brasil.
- 24 DARRIGRAN, G.; C. DAMBORENEA; P. PENCHASZADEH & C. TARABORELLI (2003). Adjustment of *Limnoperna fortunei* (Bivalvia: Mytilidae) after ten years of invasion in the Americas. *Journal Shellfish Research* 22 (1): 141-146.
- 25 DARRIGRAN, G. A.; DAMBORENEA, C.; GREC, N. (2007). An evaluation pattern for antimacrofouling procedures: *Limnoperna fortunei* larvae study in a hydroelectric power plant in South America. *Ambio*, vol 36, nº 7, 575-579.
- 26 DARRIGRAN, G.; AND DAMBORENEA, C. (2009). Introdução a biologia das invasões. O mexilhão dourado na América do Sul: Biologia, dispersão, impacto, prevenção e controle. Cubo Editora. São Carlos, p. 1-246.
- 27 DENG R. R., CARRARO I. (2013). Controle preventivo do mexilhão dourado em sistemas de abastecimento de água da CORSAN. Trabalho prévio de seleção de tecnologias de controle. CORSAN report. Porto Alegre (Brasil), PP 1-38.
- 28 DINIZ, D. M. A. (2010). **VERIFICAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA INFESTAÇÃO DO MEXILHÃO DOURADO NAS GRADES DE TOMADAS D'ÁGUA**. 2010. 168 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- 29 DUKES, J. S. & H. A. Mooney (1999). Does global change increase the success of biological invaders? *TRENDS in Ecology & Evolution* 14 (4): 135-139.
- 30 FERREIRA, J. F; MAGALHÃES, A. R. M. (2002). **Cultivo de mexilhões**. Disponível em <http://www.http://bгнаescola.files.wordpress.com/2010/09/cultivo_mexilhoes.pdf>. Acesso em: 29 outubro 2011.
- 31 GLASER R. (2011). Descripción de la invasión Del mejillón dorado em instalaciones mecánicas de la represa de Salto Grande. In: Jornada de Difusión, Programas Ambientales de Salto Grande, Salto Grande (Uruguay).

- 32 GPS (PIPELINE STUDY GROUP) (China) (1973). Institute Of Aquatic Organisms Of The Chinese Academy Of Sciences (Org.). **Biology of golden mussel (*Limnoperna fortunei*)**: Animal's use and prevention. Beijing: Dsc.
- 33 GUEDES, H. A. S. (2013). Escoamento em condutos forçados. UFPEL, RS.
- 34 HICKS, G. (2004). Turning the tide: Is aquatic bioinvasers research heading in the right direction? *Aquatic Invaders*, vol. 16, p. 1-7.
- 35 ISHIKAWA, W. (2015). **Moluscos Bivalves**. Disponível em <<http://www.planetainvertebrados.com.br>>. Acesso em: 23 de agosto de 2015.
- 36 IWASAKI, K. & Y. URYU (1998). Life cycle of a freshwater Mytilid mussel, *Limnoperna fortunei*, in Uji River, Kyoto. *Venus* 57:105-113.
- 37 JESSOPP M. J. (2007). The quick and the dead: larval mortality due to turbulent tidal transport. *J Mar Biol Assoc U K* 87: 675-680.
- 38 KATAYAMA M., SHIMIZU R., MATSUMOTO H. (2005). The first of *Limnoperna fortunei* (Bivalvia, Mytilidae) in Gunma. *Field Biol* 14: 35-40 [In Japanese]
- 39 LI, M. J.; SU, X. M. (2007). Analysis and evaluation of countermeasures to mussel fouling in the long distance water transport canal, Pearl River 3: 29-30 [In Chinese]
- 40 LUO, F. M. (2006). studies on biology and control techniques of *Limnoperna fortunei* (Dunker) in water supply system of Shenzhen city. MSc Thesis, Nanchang University (China), pp 1-108 [In Chinese].
- 41 MAGARA, Y.; MATSUI, Y.; GOTO; YUASA, A. (2001). Invasion of the non/indigenous nuisance mussel, *Limnoperna fortunei*, into water supply facilities in Japan. *Journal Water Supply Research and Technology AQUA*, v. 50, p. 113-12.
- 42 MANSUR, M. C. D.; DOS SANTOS, C. P. DARRIGAN, G. HEYDRICH, I; CALLIL, C. T. CARDOSO, F. R. (2003). Primeiros dados quali-quantitativos do mexilhão dourado, *Limnoperna fortunei* (Dunker), no Delta do Jacuí, no Lago Guaíba e na Laguna dos Patos, Rio Grande do Sul, Brasil e alguns aspectos de sua invasão no novo ambiente. *Revista Brasileira de Zoologia*, v. 20, p. 75-84.
- 43 MANSUR, M. C. D.; SANTOS, C. P.; PEREIRA, D.; PAZ, I. C. P.; ZURITA, M. L. L.; RODRIGUEZ, M. T. R.; NEHRKE, M. V., BERGONCI, P. E. A. (2012). Moluscos Limnicos no Brasil; biologia, invasão e controle. Rede Editoras, Rio Grande do Sul. p. 1-414.

- 44 MAROÑAS, M. DARRIGRAN, G. A.; SENDRA, E.; BRECKON, G. (2003). Shell growth of the golden mussel, *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) (Mytilidae), from a Neotropical temperature locality. *Hydrobiologia*, v. 495, p. 41-45.
- 45 MATA, F. A. R. (2011). Abundância e distribuição temporal de *Limnoperna fortunei* Dunker, 1857 (Mollusca, Bivalvia) e os impactos da incrustação em usinas geradoras de energia elétrica. 2011. 91 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ecologia, Pós-graduação em Ecologia de Biomas Tropicais, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto.
- 46 MATSUI Y., NAGAYA K., FUNAHASHI G., GOTO Y., YUASA A., YAMAMOTO H., OHKAWA K., MAGARA Y. (2002). Effectiveness of antifouling coatings and water flow in controlling attachment of the nuisance mussel *Limnoperna fortunei*. *Biofouling* 18: 137-148.
- 47 MINISTRY OF AGRICULTURE FORESTRY AND FISHERIES OF JAPAN (2012). Practical manual for *Limnoperna fortunei*. http://www.maff.go.jp/j/nousin/kankyo/kankyo_hozen/k_hozen/pdf/kawahibarimanual.pdf. Accessed: 9 May 2014 [In Japanese]
- 48 MORTON, B. (1973). Some aspects of the biology and functional morphology of the organs of feeding and digestion of *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) (Bivalvia: Mytilacea). *Malacologia*, Philadelphia, v. 12, p. 265-281.
- 49 MORTON, B.; AU, C. S.; LAM, W. W. (1976). Control of *Limnoperna fortunei*. *J Inst Water Eng Sci*. China, p. 147-156.
- 50 MORTON, B. (1977). The population dynamics of *Limnoperna Fortunei* (Dunker, 1857) (Bivalvia: Mytilacea) in Plover Cove reservoir, Hong Kong. *Malacologia*, 16 (1): 165 – 182.
- 51 MORTON, B. (1982). The reproductive cycle in *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) (Bivalvia: Mytilidae) fouling Hong Kong's raw water supply system. *Oceanol Limnol Sin* 13: 312-325.
- 52 NETTO O. S. M. (2011). Controle da incrustação de organismos invasores em materiais de sistemas de resfriamento de usinas hidrelétricas. MSc Thesis, Universidade Federal de Curitiba (Brasil) PP 1-113.
- 53 OLIVEIRA, M.D. (2003). Ocorrência e Impactos do Mexilhão Dourado (*Limnoperna fortunei*, Dunker 1857) no Pantanal Mato-Grossense. Circular técnica 38. Embrapa, Corumbá, MS.

- 54 OLIVEIRA, M. D., L. A. PELLEGRIN, R. R. BARRETO, C. L. SANTOS & I. G. XAVIER. (2004). Área de Ocorrência do Mexilhão Dourado na Bacia do Alto Paraguai entre os anos de 1998 e 2004. EMBRAPA. Corumbá Brasil. *Documentos* 64: 1-19.
- 55 PASTORINO, G., G. DARRIGRAN, S. M. MARTIN & L. LUMA SCHI (1993). *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) (Mytilidae), nuevobivalvo invasor em aguas del río de la Plata. *Neotropica* 39 (101- 102): 34.
- 56 PEREPELIZIN, P. V.; BOLTOVSKOY, D. (2011). Hot water treatment (chronic upper lethal temperature) mitigates biofouling by the invasive Asian mussel *Limnoperna fortunei* in industrial installations. *Environ Sci Technol* 45: 7868-7873.
- 57 PEREPELIZIN, P. V.; BOLTOVSKOY, D. (2014). Effects of 254 nm UV irradiation on the mobility and survival of larvae of the fouling invasive mussel *Limnoperna fortunei*, *Biofouling* 30: 197-202.
- 58 PEREPELIZIN, P. V.; BOLTOVSKOY, D. (2015). Control of *Limnoperna fortunei* Fouling by Thermal Treatments. In: BOLTOVSKOY, D. (Ed.). **Limnoperna fortunei: The ecology, distribution and control of a swiftly invasive fouling mussel.** Argentina: Springer, p. 443-449.
- 59 PEREPELIZIN, P. V.; BOLTOVSKOY, D. (2015). Control of *Limnoperna fortunei* Fouling by Oxygen Deprivation. In: BOLTOVSKOY, D. (Ed.). **Limnoperna fortunei.** Argentina: Springer, p. 451-454.
- 60 RATKIEWICZ M. L. A. (2006). Relatório da experiência piloto dos equipamentos da LGM-DANSUL para controle da infestação por mexilhões dourados na EBAB e inscrustações na adutora de água bruta US de Barra do Ribeiro. DEPEDET/SUMOP/CORSAN. Porto Alegre (Brasil), PP 1-18.
- 61 RESENDE, M. F. (2007). **A VARIACÃO DAS CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS EM CONDUTOS FORÇADOS DEVIDO À INFESTAÇÃO PELO *Limnoperna fortunei*.** 101 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- 62 RICCIARDI, A. & H. J. MACLSAAC (2000). Recent mass invasion of the North American Great Lakes by Ponto-Caspian species. *TRENDS in Ecology & Evolution* 15 (2): 62-65.
- 63 SANTOS, C. P.(2004). **Avaliação da Densidade e Crescimento Populacional do mexilhão dourado *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) em suas diferentes fases de**

- vida no Lago Guaíba, Município de Porto Alegre, RS, como subsídios ao controle do Bivalve invasor.** 106 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Ecologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- 64 SMYTHE A. G., LANGE C. L., SAWYKO P. M. (1997). Evaluation of an in-line magnetic device as a control method for adult and settlement-stage zebra mussels. In: 7th International Zebra Mussel and Aquatic Nuisance Species Conference, New Orleans (USA).
- 65 Sylvester, F., J. Dourado, D. Boltovskoy, A. Juárez & D. Cataldo (2005). Filtration rates of the invasive pest bivalve *Limnoperna fortunei* as a function of size and temperature. *Hydrobiologia*, 534:71-80
- 66 TCHANG, S.; LI, Sc; LIU, Yy (1965). Bivalves (Mollusca) of Tung-Ting Lake and its surrounding waters, Hunan Province, China. **Acta Zoologica Sinica**. China, p. 212-213.
- 67 ULIANO, M. (2014). **MEXILHÃO DOURADO. UMA INVASÃO QUE AMEAÇA O PANTANAL E A AMAZÔNIA.** Disponível em: <http://www.brasil247.com/pt/247/revista_oasis/159408/Mexilhão-dourado-Uma-invasão-que-ameaça-o-Pantanal-e-a-Amazônia.htm>. Acesso em: 05 nov. 2014.
- 68 XIANG, Y. L. (1985). Study of the harm and prevention measures of mussel growth in pipelines in power generation plants. N. China Electr Power 4: 24-27, [In Chinese].
- 69 XU, M. et al (2009). Ecological Measures of Controlling Invasion of Golden Mussel (*Limnoperna fortunei*) in Water Transfer Systems. In: 33 INTERNATIONAL ASSOCIATION OF HYDRAULIC ENGINEERING & RESEARCH CONGRESS: WATER ENGINEERING FOR A SUSTAINABLE ENVIROMENT, 33, Vancouver. **Congresso**. Vancouver: p. 1 - 11.
- 70 XU M., CAO X. W., WANG Z. Y., WANG X. Z. (2012). Attachment characteristics of golden mussels (*Limnoperna fortune*) in water transport projects. J Tsinghua Uuiv [Qinghua Daxue Xuebao] 52: 170-176 [In Chinese]
- 71 XU M. (2013). Experimental study of bio-fouling control of *Limnoperna fortune* in water transfer tunnels. In: 35 International Association of Hydraulic Engineering & Research Congress, Chengdu (China).
- 72 XU M., WANG Z. Y., LIN C. C., PAN B. Z., ZHAO N. (2013). Experimental study of invasion and biofouling of freshwater mussel *limnoperna fortune*. Int J Geoscience 4: 1-7.

- 73** YAO, G. Y.; XU, M. (2013). Limnoperna fouling and water quality impact in Guangxu water-storage hydropower station in Shenzhen. Tsinghua University, Research Project Proposal Tsinghua, China, pp 1-18, [In Chinese]

ANEXO 1

