

CONTROLE DO DESENVOLVIMENTO DE INCRUSTAÇÕES BIOLÓGICAS EM TUBULAÇÕES DE FUNDAÇÕES DE PONTE MARÍTIMA, EM SISTEMA DE CONCRETAGEM SUBMERSA "PREPAKT"

Recebido em 30/janeiro/1972

LUIZ ROBERTO TOMMASI<sup>1</sup>, LUIZ A. FALCÃO BAUER<sup>2</sup> & GILSON ALVES LARA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo*

<sup>2</sup>*Engenheiros de "L.A. Falcão Bauer, Controle Tecnológico do Concreto", São Paulo, SP*

---

SYNOPSIS

The prevention of the development of marine fouling during the construction of bridges using the "Prepakt" process is discussed.

---

INTRODUÇÃO

Incrustação biológica é considerada, no presente trabalho, como o crescimento prejudicial de animais e vegetais, em superfícies introduzidas no mar. As espécies de seres vivos que se fixam e crescem nessas superfícies são geralmente idênticas às existentes nos substratos duros, naturais.

No mar, a competição por um local para se fixar e, portanto, pela possibilidade de sobreviver, é extremamente acentuada. As larvas, na época da metamorfose, passam por um período decisivo para a sua sobrevivência, pois crescerão, se conseguirem se fixar; caso contrário, serão fatalmente transportadas pelas correntes para locais desfavoráveis e acabarão perecendo. Ao serem introduzidas superfícies diversas no meio marinho, o problema será minorado, pois com essas novas superfícies, haverá um aumento da probabilidade da fixação larval e, conseqüentemente, de sua sobrevivência.

Os tubulões de aço que irão constituir os dispositivos para a concretagem das fundações de pontes, pelo processo "Prepakt", e que não possuem nenhum tratamento específico em suas superfícies externa e interna, apresentam enorme e excelente superfície à fixação de larvas da epifauna e esporos da epiflora. Assim, toda a superfície externa do tubulão e também a interna, será em pouco tempo, coberta por uma densa incrustação biológica, que poderá atingir espessuras apreciáveis, recobrando uniformemente aquelas superfícies, em níveis bem definidos. Isso ocorreu na construção da ponte Rio-Niterói, onde suas fundações eram constituídas por dez tubulões sob cada bloco. Verificou-se que

essa incrustação atingiu a espessura de quase 10 cm. Como as superfícies externas dos tubulões estão diretamente expostas ao mar, são mais favoráveis à fixação e desenvolvimento da incrustação, do que as internas. Constatou-se a existência de numerosas espécies de poliquetas sésseis, briozoários, hidrozoários, anfípodes, decápodes, cirrípedes, lamelibrânquios, tunicados, etc. Dessas, as mais importantes pela frequência e desenvolvimento são:

- 1 - Poliquetas serpúlideos (tipo *Hydroides*)
- 2 - Hidrozoários (tipo *Tubularia*)
- 3 - Tunicados (tipo *Styela*)
- 4 - Cirrípedes
- 5 - Briozoários com colônias eretas.

Quanto à epiflora, é constituída de *Ulva* e *Enteromorpha*, que crescem apenas nos níveis superiores.

As superfícies internas dos tubulões também estavam revestidas por uma incrustação, similar à das superfícies externas, porém menos densa, e notadamente, com muito menos algas. Observações efetuadas em estacas, pranchas metálicas e demais estruturas, que então, constituíam o "bracing" do vão central da citada ponte, bem como em flutuantes, embarcações immobilizadas e plataformas do Consórcio Construtor, mostraram a existência de uma incrustação idêntica à dos tubulões.

#### PROCESSO DE CONCRETAGEM "PREPAKT"

O processo de concretagem "Prepakt", adotado pelo então Consórcio Construtor para execução das fundações, pode ser assim descrito em linhas gerais e resumidas.

São cravados os tubulões metálicos de aço carbono, de 1,80 m de diâmetro, até profundidades adequadas, permanecendo o tubulão cheio de água do mar. Esses tubulões possuem orifícios laterais (Fig. 1) necessários para o manuseio e recirculação da água durante o processo de cravação. A seguir são os tubulões cheios de pedra britada, que será o agregado do concreto. Posteriormente, por meio de tubos, é bombeada a argamassa de areia e cimento, a qual irá preencher os vazios existentes entre a pedra britada, constituindo o conjunto, o concreto que preencherá o tubulão.

Por motivos de ordem técnico-econômica, o período entre a colocação da pedra britada nos tubulões e o posterior bombeamento da argamassa era relativamente longo, de vários dias ou semanas.

#### O PROBLEMA

A pedra britada colocada no interior dos tubulões, que irá constituir o agregado grão do concreto, apresenta em seu conjunto, enorme superfície favorável à fixação de larvas.

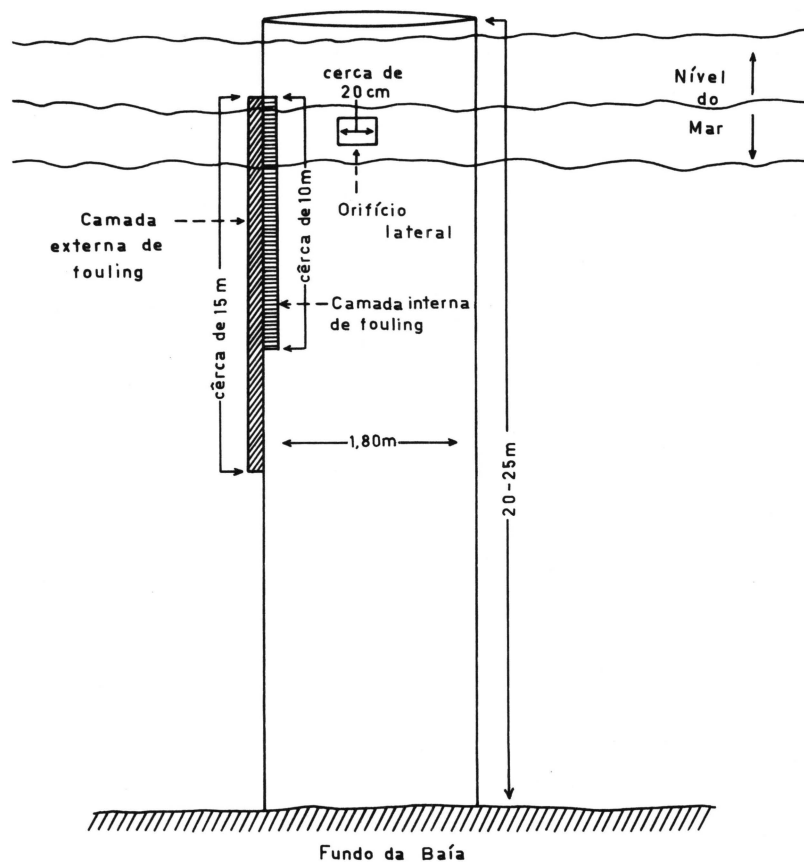


Fig. 1

Foi verificada, experimentalmente, uma intensa fixação das mesmas na pedra britada, colocada em latões suspensos em diferentes níveis de profundidade. Estando a pedra britada revestida pela incrustação, a argamassa de areia e cimento, ao preencher os vazios para constituir o concreto dos tubulões, não adere perfeitamente à superfície das pedras, o que determina uma má qualidade do concreto.

Assim, para se continuar utilizando o processo de concretagem em ambiente marinho, pelo sistema "Prepakt", será indispensável que não haja ocorrência de incrustação. A não existência da mesma só poderia ocorrer sob três condições:

- 1 - Se for efetuado o bombeamento da argamassa com pequeno intervalo de tempo, de um ou dois dias, após a colocação da pedra britada.
- 2 - Se for efetuado um tratamento adequado da água do mar do interior dos tubulões com produtos químicos tóxicos às larvas e aos adultos.
- 3 - Adotando-se critérios e cuidados especiais nos tubulões.

A primeira opção, não foi viável, face à logística então adotada pela construtora da ponte. Problemas de abastecimento, transporte e estocagem da pedra britada, bem como o processo operacional das centrais flutuantes de concreto, não permitiam que a concretagem fosse efetuada em curto espaço de tempo, após a colocação da brita.

A segunda solução, ou seja, o tratamento químico, foi adotado nos experimentos iniciais, conforme será descrito.

A terceira solução, ou seja, a adoção de critérios ou cuidados especiais, apresentava diversas opções:

- a* - Substituição da água dos tubulões por água doce, modificando dessa forma o ambiente favorável à vida dos seres da incrustação;
- b* - pintura das paredes dos tubulões com tintas especiais;
- c* - vedação, a mais perfeita possível, dos tubulões, evitando-se a circulação da água, com a consequente redução da taxa de oxigênio.

As soluções *a* e *b* - face às dificuldades operacionais e custo elevado, também foram colocadas em segundo plano.

A solução *c* - pela simplicidade operacional e eficiência demonstrada, mereceu toda a atenção inicial. Por medida de maior segurança, ela foi adotada, combinada com o tratamento químico.

A solução deste problema apresentava uma dificuldade, pois, provocar a morte dos organismos já adultos não seria suficiente, haja visto que seus tubos, carapaças e valvas, não sendo destruídos, continuariam a ser prejudiciais à boa qualidade do concreto. Uma análise da situação e do local dos tubulões, recomendou como solução: provocar a morte das larvas então existentes no seu interior e impedir a entrada de outras provenientes do mar; procurar matar a incrustação biológica aderida às suas paredes internas, caso contrário, ela continuaria a ser fonte de larvas.

#### COMBATE À INCRUSTAÇÃO BIOLÓGICA DE TUBULAÇÕES DIVERSAS

Vários processos têm sido empregados no combate à incrustação biológica (Laidlaw, 1952), como por exemplo, o emprego de tubos de cobre. Como o referido metal possui forte tendência à erosão, tem sido substituído por ferro galvanizado de cobre níquel, aço inoxidável, etc.

Exaustivos estudos e experiências têm sido feitas, com aplicação de tintas nas paredes das tubulações, de forma semelhante à que é aplicada em cascos de embarcações. Seus resultados têm sido promissores.

Outra abordagem para solução do problema tem sido a adição ao meio líquido, de substâncias químicas tóxicas às larvas e aos adultos. Dessas, o cloro tem sido empregado com grande sucesso em diversos sistemas industriais. Concentrações de apenas 0,25 p.p.m., tem prevenido completamente o crescimento das mesmas em sistema com circulação contínua (Dobson, 1946; Ketchum, 1952).

A tabela seguinte, apresenta um desses tratamentos com água clorada (concentração de cloro igual a 10 p.p.m.). São indicadas as porcentagens de organismos após tratamento contínuo (segundo Turner, Reynolds & Redfield, 1948).

Animais	Dias de tratamento contínuo					
	0	1	2	3	4	5
Anêmonas	100	100	100	50	0	0
Mariscos	100	95	65	35	10	0
Cracas	90	20	20	0	0	0
Tunicados	100	0	0	0	0	0
Briozoários	100	0	0	0	0	0

Muitas outras substâncias têm sido empregadas, como por exemplo, compostos de arsênico (óxido difenil arsênico; B clorovivinil, óxido arsênico, derivados do ácido tiocarbônico, da tiourea, compostos fenil mercúrios, etc. (Ketchum, 1952).

O pentaclorofenato de sódio, em concentração de 10 mg/l foi empregado com grande sucesso, como demonstra a tabela abaixo (segundo Turner, Reynolds & Redfield, 1948).

Animais	Dias de tratamento contínuo					
	0	1	2	3	4	5
Anêmonas	100	0	0	0	0	0
Cracas	75	25	5	0	0	0
Mariscos	100	95	50	10	4	0
Tunicados	100	0	0	0	0	0
Briozoários	100	0	0	0	0	0

Compostos de mercúrio (como por exemplo, o clorometil mercúrio) têm se revelado muito tóxicos às incrustações biológicas. Outros compostos altamente tóxicos são o sulfato de cobre, o 2:4 isobutil fenol, o cresol-m-nitroso fenil mercúrio, etc.

Face ao elevado número de tubulões utilizados na construção (cerca de 1.600), bem como, da natureza dos trabalhos naquela obra, tivemos como preocupação básica nos experimentos, aliar, substância de alta toxidez, de baixo custo aquisitivo, de aplicação e controle simples, viável em um canteiro de obras daquele porte e que não possuísse ação prejudicial ao concreto nem à fauna e flora da baía da Guanabara.

Foram então testados o hipoclorito de sódio, a água sanitária (solução de hipoclorito de sódio a 5 p.p.m. - íons cloro), o sulfato de cobre (íons sulfato e cobre), o cloreto de cobre (íons cobre) e o pentaclorofenato de sódio (radicais fenol e cloro).

#### TESTES COM ORGANISMOS ADULTOS EM LABORATÓRIO

É bem conhecido o fato de que, muitas larvas são menos resistentes do que os adultos. Assim, se uma dada substância é tóxica ao adulto, o será seguramente à larva.

Foram colhidas amostras da incrustação e conservadas em cristalizadores com água do mar, arejada por uma bombinha de aquário. Foram feitos testes de toxidez com as seguintes concentrações de substâncias:

##### *Hipoclorito de sódio*

- a) solução 2 cc/litro
- b) solução 5 cc/litro

##### *Água sanitária*

- a) solução 2 cc/litro
- b) solução 5 cc/litro

##### *Cloreto de cobre*

- a) solução 2 mg/litro

##### *Pentaclorofenato de sódio*

- a) solução 10 mg/litro

##### *Sulfato de cobre*

- a) solução 50 mg/litro
- b) solução 20 mg/litro

Todas as substâncias se mostraram altamente tóxicas a hidrozoários, poliquetas errantes, nudibrânquios e crustáceos.

Lamelibrânquios, poliquetas tubícolas e tunicados, resistiram a períodos de uma hora de tratamento, apresentando porém evidentes sinais de envenenamento como, por exemplo, retardamento em sua reação de fuga a toques com um estilete. Esses testes comprovaram a eficiência tóxica das diversas substâncias experimentadas sobre os elementos mais importantes da incrustação dos tubulões.

#### TESTES NOS TUBULÕES

Para proceder a testes de toxidez, "in loco", foram utilizadas duas linhas de tubulões situados em plena baía da Guanabara, os de referência P-60 e P-61.

Inicialmente, com a finalidade de eliminar a circulação de água e portanto a oxigenação do interior dos tubulões, foram vedados seus orifícios laterais que se situam abaixo da linha d'água\*. Essa vedação visava impedir a entrada de larvas oriundas do meio externo e a circulação da água do mar e, conseqüentemente, sua oxigenação, no interior dos tubulões.

Com a finalidade de suprimir mais um fator fundamental ao desenvolvimento da incrustação, que é a luz solar, foram colocados nos tubulões tampas de madeira. Essas tampas serviriam também de suportes para os latões com pedra britada, que iriam ser empregados nos testes.

Medidas as profundidades dos tubulões em experiência, constatamos serem em média de 22 m, o que dava um volume médio de 56 m<sup>3</sup> de água.

\* Nível médio máximo da maré alta.

## RESULTADOS

Nos dias 7-10 de novembro de 1970, nos tubulões de referência P-60 foram colocadas as seguintes soluções:

Tubulão n <sup>o</sup>	1 - sem solução
n <sup>o</sup>	2 - Cu Cl <sub>2</sub> - 2 kg ±
n <sup>o</sup>	3 - Cu SO <sub>4</sub> - 2 kg ±
n <sup>o</sup>	4 - Cu SO <sub>4</sub> - 4 kg ±
n <sup>o</sup>	5 - sem solução
n <sup>o</sup>	6 - Cu SO <sub>4</sub> - 6 kg ±
n <sup>o</sup>	7 - Hipoclorito de sódio - 5 litros ±
n <sup>o</sup>	8 - Hipoclorito de sódio - 10 litros ±
n <sup>o</sup>	9 - Hipoclorito de sódio - 20 litros ±
n <sup>o</sup>	10 - Pentaclorofenato de sódio - 2 kg ±

Nos tubulões de referência P-61:

Tubulão n <sup>o</sup>	1 - Água sanitária - 50 litros ±
n <sup>o</sup>	2 - Água sanitária - 100 litros ±
n <sup>o</sup>	3 - Água sanitária - 150 litros ±
n <sup>o</sup>	4 - Água sanitária - 200 litros ±
n <sup>o</sup>	5 - Água sanitária - 250 litros ±
n <sup>o</sup>	6 - sem solução

Para maior homogeneização dos produtos químicos colocados nos tubulões, o cloreto de cobre e o sulfato de cobre foram previamente dissolvidos em água e o pentaclorofenato de sódio em álcool etílico.

Ainda para maior homogeneidade da solução, foram as mesmas introduzidas nos tubulões por meio de três seções de tubos interligados, o que permitiu que as mesmas fossem colocadas em quatro níveis, ou seja: na superfície, a 4, 11 e a 18 m de profundidade.

Foram assim, colocados nos tubulões, 2 kg de Cu Cl<sub>2</sub>, 12 de Cu SO<sub>4</sub>, 35 de Hipoclorito de sódio, 2 de Pentaclorofenato de sódio e 750 litros de água sanitária. O volume total desses produtos, evidentemente, não podia oferecer problema algum à fauna e flora da baía e nem à construção da ponte.

Para testar a eficiência e toxidez das soluções sobre o processo de fixação e desenvolvimento da incrustação, foi colocada em cada tubulão uma série de baldes perfurados, cheios de pedra britada, em 3 níveis, a saber, a 5 m do fundo, no meio da coluna líquida e a 1-2 m da superfície. Foi também colocada, uma lâmina de vidro com cerca de 30 cm<sup>2</sup> a 30 cm de profundidade da superfície.

A não fixação de larvas, após um prazo razoável, significaria ter havido controle de seu desenvolvimento.

Após 30 (trinta) dias com observações semanais, nenhum crescimento foi verificado, tanto nas placas de vidro como na brita dos latões, colocados no interior dos tubulões.

O controle da fixação larval deu-se inclusive nos tubulões onde não foram colocadas soluções químicas. Isso foi devido basicamente, ao fechamento das "janelas" laterais dos tubulões, o que impediu a entrada da água do mar nos mesmos e eliminou, conseqüentemente, a sua principal fonte de circulação e de aeração.

Os animais mais resistentes, foram os serpulídeos, as actínias e as cracas. A morte desses animais foi porém apressada, pela formação de substâncias químicas tóxicas oriundas da decomposição bacteriana da matéria orgânica. Esse processo determinou a formação de sulfetos que deram à água um odor característico, bem como, uma tonalidade escura e cobriu os latões, brita, etc. de um precipitado negro. Quando o tamponamento não foi perfeito, até o nível de 3 a 5 m da superfície, houve oxigenação da coluna de água que, na superfície, apresentou uma coloração esverdeada. Quando perfeito, a superfície da coluna líquida se apresentou de cor negra, devido aos sulfetos.

Pelas experiências efetuadas, constatou-se pois, que o fechamento lateral dos tubulões, a adição de substâncias químicas e o tamponamento de sua superfície superior com uma plataforma de madeira e conseqüente eliminação da luz, criou condições extremamente adversas às larvas e adultos da incrustação aí existente.

Tínhamos então dois tipos de tubulões:

- 1 - tubulões fechados lateralmente e tapados na parte superior, sem tratamento químico;
- 2 - tubulões fechados lateralmente, tapados na parte superior e com tratamento químico.

Procurando simplificar ainda mais o sistema de tratamento, eliminamos o tamponamento superior com plataformas de madeira. Os resultados obtidos após 30 dias foram idênticos aos anteriores, tanto em tubulões aos quais adicionamos substâncias tóxicas, como em tubulões sem tais substâncias. Isso confirmou que a base principal do tratamento era o fechamento lateral dos tubulões.

Face aos resultados obtidos, recomendamos ao então Consórcio Construtor da Ponte Rio-Niterói, que efetuasse um rigoroso fechamento das janelas laterais dos tubulões e ainda, por medida de precaução, que adicionasse a cada um deles 20 litros de hipoclorito de sódio.



Os organismos da comunidade da incrustação, tendem a formar, quando morrem, gradientes de concentração de  $H_2S$  (Riley & Skirrow, 1965). Em função disto, procuramos aplicar um método químico de se verificar a presença desses sulfetos, o que permitiria uma observação mais correta do grau de tamponamento do tubulão do que a simples observação da coloração da água.

Para isto empregamos a seguinte solução (segundo Assumpção & Morita, 1968):

1 g de acetato de chumbo  
2,5 g de sal de Rochele (tartarato de sódio e potássio)  
5 g de hidróxido de sódio  
água suficiente para 100 ml

Colocando-se em um frasco de 50 ml, água do interior do tubulão e 1 ml dessa solução, obtem-se com a presença de grande quantidade de sulfetos, um precipitado marrom escuro. Como a água da baía não apresenta no local, muito sulfeto, se não houver um tamponamento perfeito, a água da parte superior do tubulão (1-2 m de profundidade) formará um precipitado branco leitoso.

Assim sendo, há dois processos eficientes para se verificar a possibilidade da formação da incrustação biológica dentro dos tubulões.

- 1 - verificação da cor da água e do seu cheiro:
  - a) cor esverdeada e cheiro normal - tamponamento lateral ruim;
  - b) cor negra, cheiro de ácido sulfídrico - tamponamento lateral bom;
- 2 - teste para a presença de sulfetos:
  - a) precipitado branco (pouco sulfeto) - tamponamento ruim;
  - b) precipitado marrom (muitos sulfetos) - tamponamento bom.

#### ENSAIO DO CONCRETO

Para verificar a ação das diversas soluções químicas utilizadas no concreto, foram efetuadas diversas experiências em condições muito mais severas do que aquelas que realmente iriam ocorrer no interior dos tubulões da ponte.

Adotamos como água para a argamassa, as próprias soluções químicas, enquanto que na realidade essa água seria a do mar. A argamassa ao ser bombeada e ao encher os interstícios entre a brita, irá expulsando mecanicamente a solução então existente. Cremos que a impregnação das soluções na superfície da brita, a qual permanecerá remanescente no seio do concreto, é desprezível, mormente se considerarmos a concentração das mesmas.

Foram então moldados, nos laboratórios de "L.A. Falcão Bauer", em São Paulo, corpos de prova de argamassa normal, com as soluções químicas utilizadas e nas concentrações citadas na Tabela I. Esses corpos de prova foram rompidos com 3, 7, 28 e 90 dias e os resultados são apresentados na mesma Tabela.

Verifica-se pois, que em prazo de até 90 dias, a ação, no concreto, das soluções químicas utilizadas nos testes de combate à incrustação biológica não foi de molde a preocupar.

TABELA I - Ensaio de CP - Argamassa com soluções químicas - Ponte Rio-Niterói  
Relação nº 3 - Cimento Santa Rita - Relação água/cimento = 0,5

Solução	Concentração	Rompimento (kg)			
		após 3 dias	após 7 dias	após 28 dias	após 90 dias
Água	Natural	189-191	199-247	300-293	320-311
Água sanitária	0,834 cc/litro	156-205	200-211	280-253	321-317
Água sanitária	1,60 cc/litro	178-180	220-238	332	337-341
Água sanitária	2,50 cc/litro	147	168-192	275	280-196
Água sanitária	3,33 cc/litro	147-155	206-199	220-282	291-293
Água sanitária	4,16 cc/litro	156-145	211-216	295-323	298-338
Pentaclorofenato de sódio	40 mg/litro	207-227	265-270	312-320	360-358
Pentaclorofenato de sódio	80 mg/litro	181-204	272-264	300-327	366-375
Hipoclorito de sódio	0,083 cc/litro	232-217	308-350	302-317	385-380
Hipoclorito de sódio	0,166 cc/litro	171-226	277-283	300-339	365-382
Hipoclorito de sódio	0,332 cc/litro	227-223	267-264	283-317	322-336
Sulfato de cobre	40 mg/litro	182-195	210-243	240-270	300-332
Sulfato de cobre	80 mg/litro	183-155	260-230	290-256	355-305
Sulfato de cobre	100 mg/litro	202-221	219-255	150-290	323-256
Cloreto de cobre	40 mg/litro	188-220	250-260	300-240	283-322

#### SUMMARY

The use of the "Prepakt" process for the building of marine bridges may involve the problem of development of fouling that reduces the resistance of the concrete. We suggest the use of solutions of chlorine to prevent that problem and the use of a test to determine qualitatively the presence of sulfites inside the steel cylinders employed in the construction of the piers by said process.

#### AGRADECIMENTOS

Aos Srs. Cláudio Sarti e Engº Argeo Magliocca do Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, por diversas consultas sobre reagentes químicos e soluções.

#### BIBLIOGRAFIA

- ASSUMPÇÃO, R.M. & MORITA, T. 1968. Manual de soluções, reagentes & solventes. São Paulo, Blücher, 627 p.
- DOBSON, J.G. 1946. The control of fouling organisms in fresh- and salt-water circuits. Trans. Am. Soc. mech. Engrs., April: 247-260.

- KETCHUM, B.H. 1952. The prevention of fouling with toxics. *In: Woods Hole Marine Ocean. Inst., ed. Fouling and its prevention. Annapolis, U.S. Naval Inst., p. 241-263.*
- LAIDLAW, F.B. 1952. The history of the prevention of fouling. *In: Woods Hole Marine Ocean. Inst., ed. Fouling and its prevention. Annapolis, U.S. Naval Inst., p. 211-223.*
- RILEY, J.P. & SKIRROW, G. 1965. *Chemical Oceanography. London, Academic Press, vol. 1, 712 p.*
- TURNER, H.J., REYNOLDS, D.M. & REDFIELD, A.C. 1946. Chlorine and Sodium Pentachlorophenate as fouling preventives in sea water conduits. *Ind. Eng. Chem., 40 (3) : 450-453.*