



ENSAIO EM ESCALA REAL: AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA DE AVANÇO DE UMA EMBARCAÇÃO

Prof. Dr. Claudio M. P. Sampaio
Antonio Augusto Russo
Antonio Augusto Lleyda

clasamp@usp.br
aarusso@usp.br
lleyda@yahoo.com

Departamento. de Engenharia Naval e Oceânica Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Av. Prof. Mello Moraes, 2231 – Cidade Universitária – CEP 05508-900 – São Paulo - SP

Código - CPB0336

Resumo. *Este estudo tem como objetivos estimar os efeitos do estado de limpeza do casco e do hélice no desempenho operacional de uma embarcação, além de desenvolver e aprimorar a prática experimental. O efeito da rugosidade na determinação do coeficiente de atrito é um tema já bastante estudado que, entretanto, assume grande importância na área naval pois organismos marinhos encontram ambiente favorável à fixação nas superfícies imersas da embarcação. O aparecimento de incrustações (cracas) ocorre tanto no casco como no propulsor (pás ou lâminas do hélice) acarretando um aumento da resistência ao avanço e uma redução da eficiência de propulsão. Para avaliar a importância da rugosidade de cada um destes elementos no desempenho operacional da embarcação possibilitando assim definir uma política de manutenção, foram realizados três ensaios em escala real para três diferentes condições: casco e hélice incrustados; casco incrustado e hélice limpo e casco e hélice limpos. A embarcação ensaiada é uma embarcação de semi-deslocamento de aproximadamente 42 m de comprimento e capaz de atingir velocidades da ordem de 25 nós.*

Palavras-chave: *ensaio em escala real, resistência ao avanço, incrustações,.*

1. INTRODUÇÃO

A resistência ao avanço do casco e as características de empuxo do propulsor são, certamente, parâmetros fundamentais para o processo de avaliação do desempenho de qualquer embarcação. Estimá-los corretamente e discernir os fatores que influenciam as suas determinações são aspectos de vital importância não apenas durante a fase de projeto, mas também durante a operação. Durante a fase de projeto a minimização da resistência implica em menores necessidades de potência propulsiva para o mesmo deslocamento, permitindo o emprego de motores menores, disponibilizando capacidade de carga para outros fins ou, ainda, ampliando a autonomia da embarcação. Por outro lado, ao longo da vida útil da embarcação, as características do casco e do propulsor sofrem alterações devido a fatores externos e que implicam em impactos diretos no desempenho operacional da embarcação, tanto na máxima velocidade atingida como no consumo de combustível.

Na avaliação do desempenho propulsivo da embarcação três fatores são fundamentais: forma do casco, estado de limpeza do casco e estado de limpeza do propulsor. Exceto o primeiro, que é definido ainda na fase de projeto, os outros são decorrentes da assiduidade da manutenção sofrida e, portanto,

plenamente controláveis. Deste modo é possível determinar uma agenda de manutenção que, levando em conta tais fatores, otimize o perfil operacional da embarcação.

Existem estudos que sugerem que a deteriorização do desempenho propulsivo da embarcação devido ao estado de limpeza, divide-se igualmente entre casco e propulsor. Ou seja: metade da perda deve-se ao acréscimo da resistência de atrito do casco e outra metade à redução da eficiência do propulsor. A confirmação de tal hipótese traria significativo impacto para a definição de uma política de manutenção do armador.

2. OBJETIVOS

O principal objetivo deste estudo é quantificar as perdas propulsivas decorrentes da presença de incrustações e como esta perda se divide entre as parcelas devidas ao casco (aumento da resistência) e ao propulsor (diminuição da eficiência do hélice). Além deste objetivo, o desenvolvimento deste estudo também visa aprimorar o procedimento experimental para ensaios em escala real.

3. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

É de amplo conhecimento que as incrustações devidas à fixação de cracas na superfície do casco e do propulsor são responsáveis pela alteração da rugosidade da superfície destes elementos e, conseqüentemente, apresentam efeitos significativos no desempenho da embarcação. Uma análise mais profunda destes efeitos requer um estudo da interação casco-hélice e das relações de potência no hélice e no casco.

3.1. Resistência ao Avanço

Quando um navio avança em águas calmas, está sujeito a uma força que se contrapõe ao movimento. Essa força é denominada resistência ao avanço e é, basicamente, uma força dissipativa. A resistência ao avanço é função da velocidade, da superfície molhada, das características físicas do fluido e da geometria da embarcação. A resistência é usualmente representada por (Comstock, 1967);

$$R_T = C_T \frac{1}{2} \rho S V^2 \quad (1)$$

onde C_T é o coeficiente de resistência total, ρ é a densidade do fluido (água), S é a superfície molhada do casco e V é a velocidade de avanço. Ao se deslocar com certa velocidade, o casco dissipa, através da resistência ao avanço, um potência P_E , denominada potência efetiva.

$$P_E = R_T \cdot V \quad (2)$$

O coeficiente C_T representa a composição das diferentes componentes da resistência ao avanço e que a despeito de existirem diversas formas de modelamento, pode ser representada pelo seguinte modelo:

$$C_T = C_F + C_R + C_V \quad (3)$$

O coeficiente de resistência ao avanço, na expressão acima é composto de três parcelas que representam, respectivamente, o coeficiente de atrito C_F , o coeficiente de resistência residual C_R , associado à geração de ondas, esteira e à tridimensionalidade do casco e o coeficiente de resistência ao

vento, C_V . A parcela residual pode ser considerada como, em uma primeira aproximação, dependente da forma imersa e das dimensões do casco e, portanto, pouco afetada pela rugosidade do casco. Por sua vez, a parcela devida ao vento depende da forma emersa da embarcação, incluindo a área exposta da superestrutura, e da direção e velocidade do vento; sendo sua influência, entretanto, usualmente pequena face à sua ordem de grandeza.

Para impor uma certa velocidade é necessário fornecer à embarcação uma força motriz. Essa força é produzida pelo propulsor (hélice) sendo denominada empuxo (T). O empuxo fornecido pelo hélice para manter uma velocidade constante de avanço é, entretanto, diferente da resistência total da embarcação. Essa diferença se deve a presença do hélice modificando o escoamento junto à popa. Este efeito pode ser facilmente entendido supondo-se um corpo totalmente imerso deslocando-se a velocidade constante em um fluido ideal. O escoamento ao longo do corpo acarreta o aparecimento de um campo de pressões com dois pontos de estagnação (proa e popa). A presença do propulsor na região da popa provoca a aceleração do fluido na região circunvizinha e, conseqüentemente, reduz a componente para vante da campo de pressões. Essa diferença faz com que seja necessário um empuxo maior para vencer a resistência. Esse fenômeno é representado da seguinte forma:

$$R_T = (1-t)T \quad (4)$$

onde o parâmetro t é chamado de coeficiente de redução de empuxo. Ao deslocar o barco o empuxo fornece potência ao fluido. Essa potência é expressa da forma:

$$P_T = T \cdot V_A \quad (5)$$

Onde V_A é a velocidade do escoamento do fluido sobre o propulsor. V_A difere de V pois a presença do casco perturba o escoamento reduzindo a velocidade com que a partícula fluida encontra o disco do propulsor. Essa diferença de velocidade é, em geral, causada pela existência de camada limite e/ou turbulência no escoamento. Pode-se representar esse fenômeno definindo o coeficiente de esteira de Taylor (w) da seguinte maneira:

$$w = \frac{V - V_A}{V} \quad (6)$$

O coeficiente w é, na realidade, um valor médio pois a velocidade do fluido varia em cada ponto do disco do hélice.

A relação entre a potência fornecida pelo propulsor e a dissipada no casco é comumente chamada de eficiência do casco (η_H). A partir das relações (4) e (6) chega-se a expressão:

$$\eta_H = \frac{R_T \cdot V}{T \cdot V_A} = \frac{1-t}{1-w} \quad (7)$$

A potência produzida no motor da embarcação é transmitida ao propulsor por um eixo. A potência que chega ao propulsor é menor que a fornecida pelo motor pois existem perdas no eixo; essas perdas são causadas pelos mancais e pela dissipação elástica no material do eixo. A razão entre a potência entregue ao eixo (P_D) e a fornecida pelo motor (P_S) é chamada de eficiência de transmissão (η_S). Usualmente assume-se que $\eta_S=0.97$ quando o motor está instalado à meia-nau e $\eta_S=0.98$ quando instalado à ré.

$$\eta_s = \frac{P_D}{P_S} \quad (8)$$

3.2. Eficiência do Propulsor

O propulsor pode ser modelado como um sistema que transforma torque em força. A cada revolução o hélice recebe trabalho do eixo e o transmite ao fluido. Para cada regime de operação, o hélice opera a uma rotação N , sob um torque Q , causando um empuxo T que o faz avançar a uma velocidade V . Tanto o torque quanto ao empuxo dependem explicitamente da rotação; podendo-se, desta forma, definir os seguintes coeficientes adimensionais:

$$J = \frac{V_A}{n \cdot D} \quad K_T = \frac{T}{\rho \cdot n^2 \cdot D^4} \quad K_Q = \frac{Q}{\rho \cdot n^2 \cdot D^5} \quad (9a, 9b, 9c)$$

Com isso pode-se relacionar a potência entregue ao hélice pelo eixo com a potência entregue ao fluido pelo hélice, definindo assim a eficiência do hélice. Este valor é conhecido como eficiência em água aberta pois refere-se a situação onde o hélice opera sem a presença do casco, ou seja sob escoamento uniforme.

$$\eta_0 = \frac{T \cdot V_A}{2\pi \cdot n \cdot Q} = \frac{J}{2\pi} \cdot \frac{K_T}{K_Q} \quad (10)$$

A eficiência do propulsor como discutida acima é válida apenas quando este opera em águas abertas, ou seja, quando não há a presença de esteira. A relação entre a eficiência em água aberta η_0 e a eficiência real (atrás do casco) η_B é definida como a eficiência rotativa η_R .

$$\eta_R = \frac{\eta_B}{\eta_0} = \frac{Q}{Q_0} \quad (11)$$

Onde Q é o torque no eixo necessário para criar um empuxo T em um hélice operando atrás do casco é Q_0 é o torque necessário para criar o mesmo empuxo quando em água aberta. Em geral, para navios de dois propulsores como no caso analisado o valor de η_R não é menor que 0.95.

A partir desta relação e das anteriores chega-se a eficiência propulsiva total do sistema casco-hélice, que relaciona a potência efetiva da embarcação com a potência entregue pelo motor. A eficiência total inclui também as perdas no eixo e o coeficiente quasi-propulsivo.

$$\frac{P_E}{P_S} = \frac{P_E}{P_D} \cdot \frac{P_D}{P_S} \Rightarrow \eta_P = \eta_D \cdot \eta_S \Rightarrow \eta_R \cdot \eta_H \cdot \eta_R \cdot \eta_S \quad (12)$$

3.3. Efeitos da rugosidade

Kan *et al.* (1958) mostram em seu trabalho o impacto da existência de rugosidade no conjunto casco-hélice. Para efeito de análise são considerados independentes os efeitos da incrustação no hélice e no casco. Posto de outra forma, a redução do desempenho da embarcação deve-se, mormente, a dois fenômenos: aumento da resistência e redução da eficiência do hélice.

O efeito de casco é, de certa maneira, intuitivo. Com o aumento da rugosidade do casco, para um mesmo deslocamento (e conseqüentemente mesma área molhada S_w) e para mesma velocidade (e, portanto, mesmo número de Reynolds Rn), a resistência ao avanço aumenta de forma sensível. Fica evidente a dependência do coeficiente de resistência de atrito (C_F) com o estado de limpeza do casco. De fato, Kan em seu trabalho tentou parametrizar esse efeito em relação a rugosidades equivalentes expressas em milímetros (diâmetro médio de grãos de areia usada para provocar a rugosidade). Entretanto, é mais conveniente estabelecer uma relação entre C_F e o tempo desde a ultima limpeza do casco (Kan, 1958).

O aumento da carga incrustada, entretanto, não leva ao aumento indefinido da resistência. Isso se deve ao fato que o perfil médio das rugosidades permanece constante a partir de certos valores. A partir de certo ponto de crescimento, ao impacto das incrustações no desempenho soma-se o aumento do deslocamento que pode chegar, em casos extremos, a até 10% do deslocamento de projeto em embarcações pequenas.

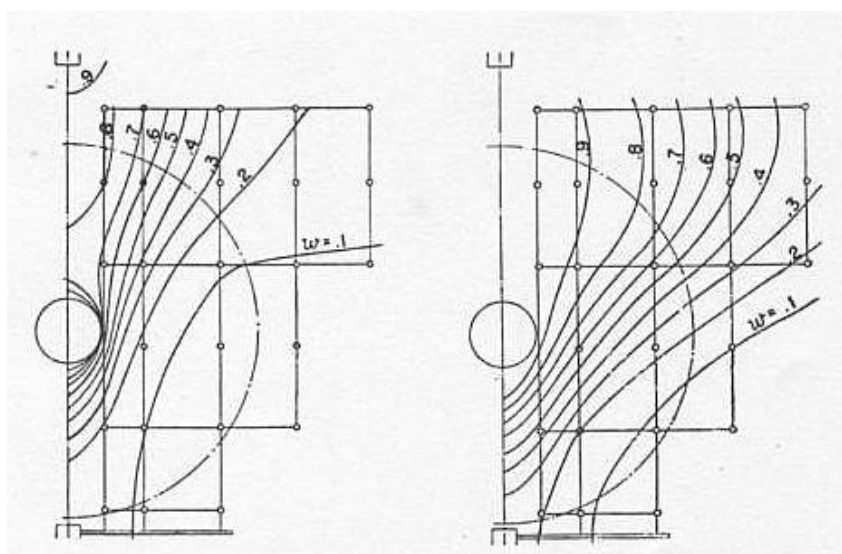


Figura 1 – Distribuição do perfil de velocidades em duas condições de limpeza do casco
a) casco limpo b) casco incrustado

O aumento da rugosidade no casco implica também na alteração da distribuição da esteira no hélice, com conseqüências diretas na eficiência do casco (eq. 7). O coeficiente de redução de empuxo, entretanto, permanece razoavelmente constante para qualquer estado de limpeza do casco (Figura 1).

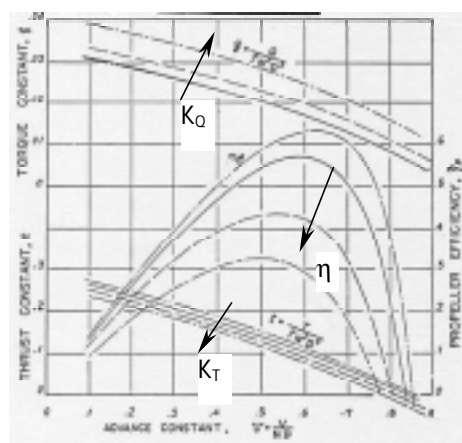


Figura 2 – Variação de K_T , K_Q e η_0 com a rugosidade

Já o efeito da rugosidade do hélice é mais complexo, embora seja ainda intuitivo que seu impacto seja negativo. Além da óbvia redução da eficiência pode-se notar uma redução de K_T proporcional a área rugosa enquanto que K_Q aumenta significativamente. Isto reflete o fato de o hélice sujo necessitar de muito mais torque para atingir um certo regime de rotação e quando atinge, produz menos empuxo do que produziria se estivesse limpo. Percebe-se que enquanto a redução de K_T é proporcional ao aumento da rugosidade, o aumento de K_Q é aproximadamente quadrático (Figura 2). Outro resultado importante é o que associa as variações de K_T , K_Q e η_0 com a distribuição radial da rugosidade. Este resultado causa grande impacto na determinação de uma rotina de manutenção, pois a ponta da pá apresenta, invariavelmente, menor rugosidade do que a região mais próxima ao boss, principalmente em embarcações de uso intensivo. Este fato é explicado facilmente: durante a operação do hélice as velocidades tangenciais nas pontas das pás são significativamente maiores que as velocidades no boss e, com isso, os organismos marinhos que tenham se fixado ao hélice estão sujeitos à força centrífuga que tenta arrancá-los. Obviamente, onde esta força é maior é mais difícil a fixação de qualquer organismo. Analogamente às incrustações no casco, o impacto da rugosidade nos parâmetros do hélice tem limite superior. As maiores variações de K_T e K_Q se dão no início do processo de enrugamento e a partir de certo ponto se tornam independentes da carga incrustada.

4. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

O procedimento dos ensaios baseou-se nas tradicionais corridas de milha (SNAME, 1989), entretanto, adaptando-o às características específicas da embarcação e às peculiaridades da região de ensaio. Todos os ensaios foram realizados na Baía da Guanabara, em área de profundidade suficiente para minimizar os efeitos de águas rasas. Para cumprir os objetivos estabelecidos foram realizados três ensaios nas seguintes condições:

- Casco sujo e hélice sujo;
- Casco sujo e hélice limpo;
- Casco limpo e hélice limpo;

Nos dois primeiros ensaios o casco encontrava-se sujo, com incrustações decorrentes de 12 meses de operação normal após a última docagem. Destes, o primeiro correspondia à condição com hélice sujo. Porém, como observado pelos mergulhadores que limpou o hélice entre o primeiro e segundo ensaios, o nível de deposição de incrustações não era grande, ou seja: a superfície do hélice estava consideravelmente mais limpa que a do casco. Este fato pode ser facilmente entendido pela dificuldade de fixação das cracas nas pás devido às altas velocidades do hélice. Finalmente, o último ensaio com casco e hélice limpos foi realizado algumas semanas após a docagem para limpeza da embarcação.

A tabela 1 mostra as principais características da embarcação ensaiada e a figura 3, diversas seções transversais que definem o casco da embarcação.

Tabela 1 - Características Principais

Dimensões Principais		
Comp. Linha d'água [m]	L_{WL}	46.50
Comp. Entre Perpend. [m]	L_{PP}	42.50
Bôca na Linha d'água [m]	B_{WL}	6.90
Calado Médio [m]	d	2.05
Coef. Bloco	C_B	0.3834
Deslocamento [ton]	Δ	279

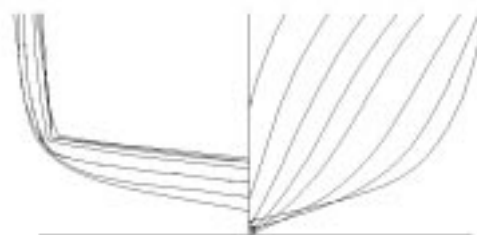


Figura 3- Plano de Balizas

Para este estudo, uma vez que se pretende analisar os efeitos do estado do casco e do hélice no desempenho propulsivo da embarcação, torna-se fundamental obter as curvas de desempenho (potência vs. velocidade, potência vs. rotação e velocidade vs. rotação) e, portanto, o procedimento experimental deve permitir a medida da velocidade de avanço (V), do torque (Q) e da rotação (N) do motor. Outros parâmetros são também fundamentais para o melhor controle das condições de ensaio e a minimização de erros como, por exemplo, a obtenção da velocidade e direção do vento e a checagem da profundidade. Pretendeu-se ainda medir o consumo específico de combustível nas diferentes condições de limpeza; entretanto, devido a problemas técnicos, esta avaliação somente foi possível no último ensaio.

4.1. Instrumentação

O registros de Potência e Rotação foram obtidos através de instrumentos fixados aos eixos propulsores. Foram instalados, em cada eixo, um torsiômetro e um tacômetro ótico. O tacômetro ótico é de modelo convencional, contando os pulsos gerados pela reflexão do feixe emitido em cada revolução. Este instrumento é capaz de medir velocidades angulares com precisão menor que 1 RPM. O torsiômetro é composto por quatro *strain-gages* formando uma ponte de Wheatstone equilibrada. Os *strain-gages* estão dispostos sobre o eixo a 45° de forma a registrar a máxima tensão de cisalhamento. O torque é, então, obtido em função do ângulo de torção (θ) registrado pela ponte; das características do eixo (comprimento L_s e diâmetro d) e do módulo de elasticidade torsional G , como apresentado na equação abaixo.

$$Q = \frac{G \cdot d^4}{L_s} \cdot \frac{\theta}{2\pi} \quad (13)$$

Para a obtenção da posição a cada instante e, conseqüentemente, da velocidade empregou-se um sistema de posicionamento do tipo RTK-DGPS, modelo NovAtel BeeLine. Este modelo destaca-se por empregar duas antenas cinemáticas do tipo L1/L2 permitindo, desta maneira, a obtenção não apenas da posição instantânea sobre a superfície do mar como também a orientação da embarcação (tipicamente as posições angulares associadas aos movimentos de “pitch” e “yaw”). Quando operado em modo diferencial o equipamento é capaz de atingir precisões médias da ordem de 0,08 m para a posição, 0,04 m/s para as velocidades e de $0,4^\circ$ nas medidas angulares (NOVATEL, 1997). Para a execução dos ensaios as duas antenas foram dispostas sobre a linha de centro do navio a uma distância de 1,016 m, esta definida tanto em função da conveniência de fixação na embarcação quanto pela garantia de separação ótima para a operação do equipamento.

4.2. Descrição do Ensaio

Conforme recomendação típica para este tipo de ensaio foram realizadas, para cada rotação, duas corridas em rumos opostos de forma a eliminar perturbações na velocidade causadas pela presença de correntes de maré. A influência da força de vento, entretanto, não pode ser considerada de forma tão simples, sendo necessário adotar-se o modelo proposto por Comstock (1967) que introduz o efeito do vento através de uma correção da velocidade de avanço. O procedimento adotado no estabelecimento de cada série de corridas foi definido em função das seguintes condições:

- a) cobrir toda gama de rotações do motor (500-2000 RPM);
- b) evitar as transições do regime de compressão do motor (700, 1200, 1500, 1900 RPM);

- c) minimizar os efeitos de corrente de maré mantendo uma linha de trajetória constante;
- d) definir um intervalo de tempo suficiente para garantir a consistência do dados coletados (~3 min).

Nos dois primeiros ensaios a posição, velocidade e atitude foram registrados com a máxima precisão obtida pelo instrumento, isto é, instalou-se a estação base para a correção diferencial. Os desvios-padrão médios registrados foram de 0,5 cm na medida de posição; 2,0 cm/s na medida de velocidade e de cerca de 0.5° na medida dos ângulos. Tal precisão mostrou-se além de desnecessária, inconveniente pois registrava também o ruído de medida. A partir desta constatação tomou-se a decisão de não instalar a correção diferencial no último ensaio obtendo-se, respectivamente, precisões de 20 cm, 5 cm/s e 1°, resultados mais que satisfatórios para este tipo de análise.

Para todos os ensaios realizados, fôra planejado medir o consumo de combustível, entretanto, devido a dificuldade de instalar o equipamento necessário e falta de disponibilidade da embarcação entre o segundo e o terceiro ensaio, essa medição ficou restrita ao último dia de ensaio (casco e hélice limpos). O aparato montado para esta medida consistiu em interpor um desvio nos condutos de combustível (principal e retorno) do motor para tanques auxiliares. Esse desvio, acionado manualmente durante a operação do motor, possibilitava que, para um intervalo de tempo pré-estabelecido, o combustível fornecido ao motor somente proviesse do tanque auxiliar.

Oito recipientes foram enchidos, cada um com cerca de 46 kg de óleo combustível, sendo um para cada rotação ensaiada. Para equalizar as medidas de consumo e, com isso, minimizar os erros na medida do consumo escolheu-se, para as velocidades mais baixas, um intervalo de tempo maior, de cerca de 5 min, enquanto que, nas velocidades mais altas um intervalo de 2 min mostrava-se já suficiente. Após todas as corridas os tanques foram pesados e os valores registrados com uma balança móvel com precisão de 0,2 kg.

5. RESULTADOS

A metodologia adotada para a análise dos dados recolhidos segue o procedimento sugerido pela SNAME (1967). Consiste, basicamente, em determinar as curvas de desempenho da embarcação nas diferentes condições de ensaio. Os resultados médios (considerando as corridas de ida e de volta) já corrigidos são apresentados abaixo nas tabelas 2 (potência e velocidade) e 3 (consumo).

Tabela 2 – Dados de cada ensaio

Rotação Nominal	Propulsor Incrustado					Propulsor Limpo									
	Casco Incrustado					Casco Limpo									
	Rotação [RPM]		Potência [HP]		V [nós]	Rotação [RPM]		Potência [HP]		V [nós]	Rotação [RPM]		Potência [HP]		V [nós]
	BB	BE	BB	BE		BB	BE	BB	BE		BB	BE	BB	BE	
1950	1910	1924	2802	2767	20.5	1918	1924	2721	2730	21.0	1920	1923	2391	2395	23.6
1750	1709	1741	2149	2156	19.0	1711	1741	2028	2135	19.5	1721	1728	1821	1827	20.1
1600	1586	1586	1720	1708	17.9	1571	1594	1616	1682	17.8	1580	1600	1428	1446	19.2
1450	1436	1462	1322	1311	16.6	1437	1456	1226	1288	16.9	1445	1469	1083	1102	17.7
1300	1286	1310	965	960	15.3	1294	1310	902	938	15.6	1290	1305	784	793	16.3
1100	1100	1119	606	594	13.1	1107	1122	534	588	13.4	1105	1119	462	468	14.2
900	904	913	352	331	10.9	907	913	307	327	11.0	913	924	256	259	11.7
700	707	707	185	158	8.5	710	707	155	159	8.8	710	710	121	121	8.9

A figura 4a e 4b mostram as relações de potência em relação a velocidade e a rotação respectivamente, enquanto a figura 5a mostra a dependência quase linear da velocidade de avanço com a rotação imposta ao hélice.

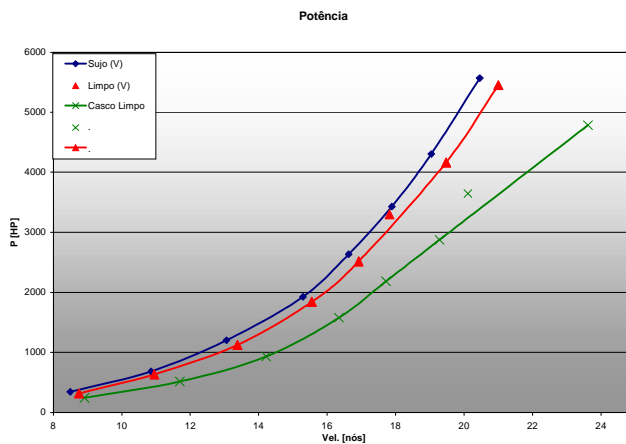
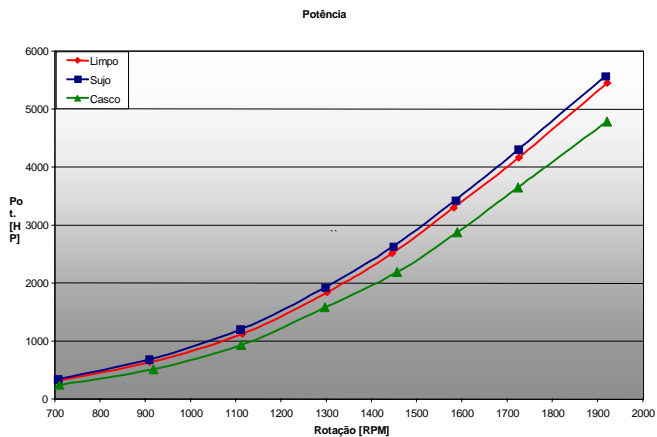
O índice de mérito escolhido para as comparações de desempenho foi a resistência total R_T . Apesar de não ter sido medido a potência efetiva P_E para que se possa calcular R_T (eq. 2) pode-se tomar P_S como estimador de P_E . Embora P_S seja um estimador viesado de P_E , a sua utilização no cálculo dos ganhos é válida por ser um estimador consistente (Costa Neto, 1977); ou seja uma variação em P_E se reflete proporcionalmente em P_S . Aqui são mostrados os resultados referentes aos ganhos de desempenho causados pela limpeza do hélice, do casco e de ambos. Pode-se ver (tabela 4 e figura 5b), claramente, a evolução desse ganho em relação a rotação.

Tabela 3 – Consumo

Rotação	Consumo	
	[kg/min]	[kW min/kg]
1950	6.115	292.076
1750	4.945	275.631
1600	4.000	269.686
1450	3.000	274.012
1300	2.067	286.442
1100	0.667	523.664
900	0.983	197.079
700	0.331	272.716

Tabela 4. Ganho de Desempenho

Rotação	Hélice Limpo	Casco Limpo	Ambos Limpos
1950	4.6%	21.9%	25.6%
1750	5.5%	15.1%	19.8%
1600	3.4%	19.5%	22.2%
1450	6.2%	17.0%	22.1%
1300	6.0%	18.4%	23.3%
1100	8.7%	22.0%	28.8%
900	8.0%	23.8%	29.9%
700	10.9%	24.4%	32.7%



Figuras 4a, 4b

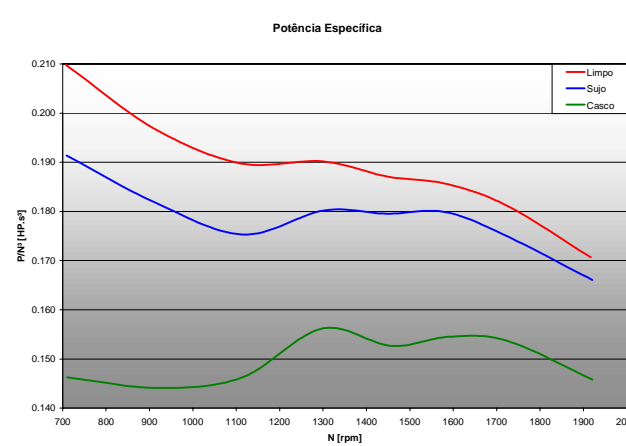
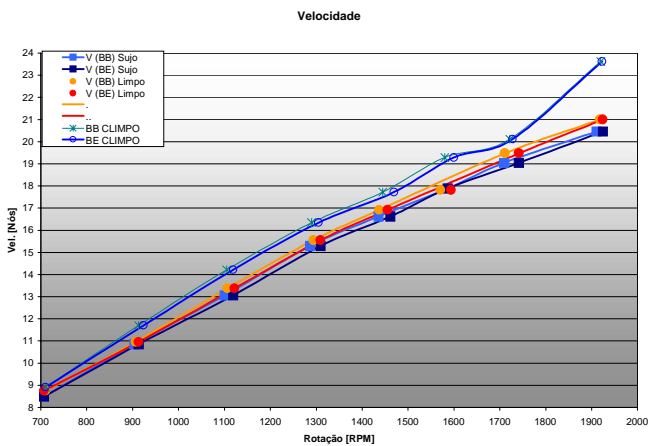


Figura 5a, 5b

6. CONCLUSÕES

Pôde-se ver qual é o impacto tanto da lipeza do hélice quanto da limpeza do casco no desempenho total da embarcação. Ganhos significativos de velocidade e potência foram obtidos apenas com uma manutenção adequada do navio.

Embora, aparentemente, não se tenha confirmado a hipótese inicial que metade da perda de desempenho se devesse tão somente à redução da eficiência propulsiva, pode-se crer ainda na validade dessa asserção pois na realidade os ensaios não se deram na condição de plena incrustação do hélice. Mesmo assim, é possível determinar uma agenda de manutenção que inclua limpezas periódicas do propulsor, minimizando as perdas decorrentes deste efeito. Em barcos cujo regime de operação seja menos intensivo é provável que o efeito das incrustações do hélice sejam mais significativos.

7. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPESP - Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo pelo auxílio concedido através do Projeto Temático “Embarcação de Alta Velocidade” e ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo IPT-SP, pela participação na pesquisa e pela instrumentação necessária a este trabalho.

8. REFERÊNCIAS

- Comstock, John P. (editor), “Principles of Naval Architecture”, Society of Naval Architects and Marine Engineers – SNAME, 1st edition, 1967; 5th reprint, 1980; New York
- Society of Naval Architects and Marine Engineers; “Guide for Sea Trials”; Technical & Research Bulletin No. 3-47; SNAME; 1989; pp115.
- Kan, S.; Shiba, H.; Tsuchida, K.; Yokoo, Koichi, “Effect of Fouling of a Ship’s Hull and Propeller Upon Propulsive Performance”, International Shipbuilding Progress Vol. 5, No. 41; January, 1958, Internaciona Periodic Press, Rotterdam
- Costa Neto, P. L. O, “Estatística”, Edgard Blücher, 1977; São Paulo
- Novatel, “Millenium GPS Card Command Description”, 1997, “Beeline”

FULL SCALE TRIAL – AN EVALUATION OF SHIP’S RESISTANCE

Prof. Dr. Claudio M. P. Sampaio	clasamp@usp.br
Antonio Augusto Russo	aarusso@usp.br
Antonio Augusto Lleyda	lleyda@yahoo.com

Dept. of Naval Arch. And Marine Engineering – Politechnic School – Univ. of São Paulo.
Av. Prof. Mello Moraes, 2231 – Cid. Universitaria – CEP 05508-900 – São Paulo – SP – Brazil

Abstract: *This study aims to estimate how fouling can impact on ship’s performance and also enhance experimental praxis. Fouling can affect both hull and propeller surface producing as an increasing of ship’s resistance as a loss of propeller efficiency. Early studies claim that half of performance loss is due to propeller roughness. To evaluate such effects three full scale trial have been carried out to accomplish such aims: first in a full fouling condition, then after propeller has been brushed up and finally with both hull and and screw blades cleaned. The ship chosen to be studied was a fast, semi-displacement. Its length is about 42m and it ca reach up to 25 knots.*

Keywords: Full Scale Trial, Ship’s Resistance, Fouling.