CESAR FERREIRA
TENENTE DE MARINHA

alla Biblioteca
della Regia Scuola Navale Superiore
di
Genova

Um caso de determinação da velocidade de exercicio mais conveniente para um vapor de comercio

POR

Angelo Scribanti

of.
Cesar Ferreira
24.
Genova 1917

LISBOA
Typografia de J. F. Pinheiro
R. Jardim Regedor, 39 e 41

1917

Permitiu-nos o Eng. Angelo Scribanti que traduzissemos este seu trabalho para os *Anais* do *Club Militar Naval*, e com bastante prazer o fazemos, agradecendo a S. Ex.ª a amabilidade da sua permissão.

* * *

§ I. O armador de um vapor de carga, tendo uma tonelagem global de mercadoria e carvão (deadweight), $K = 14.000$ ton., para o qual, na navegação em carga e em lastro, o deslocamento e a constante do almirantado teem os valores

$$\textit{em carga} \begin{cases} D = 20000^t \\ C = 330 \end{cases} \qquad \textit{em lastro} \begin{cases} D' = 11000^t \\ C' = 310 \end{cases}$$

sendo :[1]

$$\textit{em carga} : \alpha = \frac{D^{\frac{2}{3}}}{C} = 2{,}232 ; \qquad \textit{em lastro} : \beta = \frac{D'^{\frac{2}{3}}}{C'} = 1{,}595.$$

deseja aplicar este navio a uma linha comercial regular directa entre dois portos distantes de $M = 6.480$ milhas

---

[1] α e β representam a potencia da maquina (em cavalos indicados) precisa para dar ao navio a velocidade de 1 nó ; para a velocidade de V nós a potencia será respectivamente αV^3 e βV^3.

maritimas, com a exigencia de embarcar no porto de partida todo o carvão de que necessita para fazer tanto a viagem de ída em carga completa como a de volta em lastro.

O armador deseja que o engenheiro naval lhe indique as velocidades de melhor rendimento, V e W, com que deve fazer as viagens, respectivamente de ída em carga e de volta em lastro, sendo as condições do mercado maritimo tais que o frete μ por tonelada de mercadoria transportada e o custo ν por tonelada de carvão no porto de partida tenham os valores

$$\mu = 25 \text{ frs.} \qquad \nu = 16 \text{ frs.}$$

Supõem-se conhecidos estes dados complementares:

a) As despezas de embarque e desembarque da mercadoria, de embarque do carvão, de porto e outras, são de $\sigma = 25.000$ frs. por cada viagem completa de ída e volta.

b) O consumo de carvão por cavalo indicado e por hora, tendo em vista o tipo de aparelho motor instalado no navio é $q_c = 0{,}0007$ t.; a titulo de reserva o navio embarca uma fracção $r = 0{,}1$ do carvão necessario para a navegação.

c) Tendo em conta a necessidade das reparações ordinarias e limpeza do casco, no decorrer de um anno os dias utilizaveis para a navegação e para as operações de carga e de descarga nos portos reduzem-se a $n_1 = 350$.

d) As operações de embarque no porto de partida e de desembarque no porto de chegada exigem em globo um numero de dias $n_2 = 6$ por cada viagem e um consumo de carvão $q_g = 5$ t. por dia.

e) As despezas com pagamentos á guarnição, alimento, manutenção de exercicio, amortisação, seguro do navio, taxa sobre rendimento, etc., em suma, as despezas que teem um valor independente da velocidade de exercicio da linha, que indicaremos por S'', mas de que não interessa, na presente questão, conhecer o valor numerico.

§ **2**. Fixos estes dados, observe-se que tendo chamado respectivamente *V* e *W* as velocidades desconhecidas (em nós) do exercicio mais conveniente da linha, respectivamente nas viagens de ída em carga e de volta em lastro, o número de dias empregados nas correspondentes navegações será expresso por

$$\frac{M}{24\ V} \qquad \frac{M}{24\ W}$$

e portanto o tempo necessario para fazer uma viagem completa de ída e volta, tendo em conta a permanencia no porto para as operações de embarque e desembarque, será de

$$H = n_2 + \frac{M}{24}\left(\frac{1}{V} + \frac{1}{W}\right) \quad \text{dias.}$$

Consequentemente o número total das viagens de ída e volta que o navio póde realizar no período de um ano, no regimen de exercicio considerado, será

$$N = \frac{n_1}{H}$$

ou

$$N = \frac{n_1}{n_2 + \frac{M}{24}\left(\frac{1}{V} + \frac{1}{W}\right)}$$

A quantidade de carvão que o navio deverá consumir em cada viagem completa, tendo em vista tanto o consumo em navegação como o consumo no porto, será:

$$Q = q_c \frac{M}{V} \alpha V^3 + q_c \frac{M}{V} \beta V^3 + n_2 q_g \quad \text{ton.}$$

ou

$$Q = q_c M (\alpha V^2 + \beta W^2) + n_2 q_g \quad \text{ton.};$$

mas a quantidade de carvão que o navio deverá tomar a bordo no principio de cada viagem, tendo em conta a necessidade de uma reserva, será

$$Q_1 = (1 + r)\ q_c\ M\ (\alpha\ V^2 + \beta\ W^2) + n_2\ q_g \qquad \text{ton.}$$

Assim, a tonelagem lucrativa fica reduzida a

$$K_1 = K - Q_1$$

e o valor dos fretes realizados pelo navio num ano será de francos

$$I = \mu\ K_1\ N$$

enquanto que no mesmo espaço de tempo a despeza relativa ao combustivel será de francos

$$S' = v\ Q\ N.$$

Para o mesmo período de um ano, montam respectivamente a francos

$$S'' = \sigma\ N \qquad \text{e} \qquad S'''$$

as despezas devidas a embarque, desembarque e de porto, e aquelas devidas a elementos independentes da velocidade de exercicio.

§ **3**. E' claro que o ganho realizavel no período de um ano, definido em geral por

$$P = I - S' - S'' - S'''$$

póde ser expresso pela relação

$$P = [\mu\ K_1 - v\ Q - \sigma]\ N - S'''$$

a qual, substituindo K_1, Q e N pelos valores obtidos nos precedentes paragrafos:

$$K_1 = K - (1 + r)\ q_c\ M\ (\alpha\ V^2 + \beta\ W^2) - n_2\ q_g$$

$$Q = q_c\ M\ (\alpha\ V^2 + \beta\ W^2) - n_2\ q_g$$

$$N = \frac{n_1}{n_2 + \frac{M}{24}\left(\frac{1}{V} + \frac{1}{W}\right)}$$

se transforma imediatamente em uma outra que exprime o ganho realizavel num ano em função explicita da velocidade de exercicio

$$P = 24\, n_1 \frac{A - B\, M\,(\alpha\, V^2 + \beta\, W^2)}{24\, n_2 + M \left(\frac{1}{V} + \frac{1}{W}\right)} - S'''$$

onde para simplicidade de escrita se pôz

$$A = \mu\, K - (\mu + \nu)\, n_2\, q$$

$$B = [\mu\,(1 + r) + \nu]\, q_e$$

Ora as velocidades de exercicio mais convenientes esrão as que tornem simultaneamente

$$\frac{d\,P}{d\,V} = o \qquad\qquad \frac{d\,P}{d\,W} = o$$

ou seja — feitas as operações de derivação parcial — as que satisfaçam ás relações

$$-\left[24\, n_2 + M\left(\frac{1}{V} + \frac{1}{W}\right)\right] 2\,\alpha\, B\, V + \left[A - B\, M\,(\alpha\, V^2 + \beta\, W^2)\right] \frac{1}{V^2} = o$$

$$-\left[24\, n_2 + M\left(\frac{1}{V} + \frac{1}{W}\right)\right] 2\,\beta\, B\, W + \left[A - B\, M\,(\alpha\, V^2 + \beta\, W^2)\right] \frac{1}{W^2} = o$$

que é o mesmo que dizer, que satisfaçam ao sistema de equações simultaneas

$$\left\{ \begin{array}{l} \left[24\, n_2 + M\left(\frac{1}{V} + \frac{1}{W}\right)\right] 2\,\alpha\, B\, V^3 = A - B\, M\,(\alpha\, V^2 + \beta\, W^2) \\ \left[24\, n_2 + M\left(\frac{1}{V} + \frac{1}{W}\right)\right] 2\,\beta\, B\, V^3 = A - B\, M\,(\alpha\, V^2 + \beta\, W^2) \end{array} \right.$$

A' primeira vista poderá supôr-se que este sistema apresente dificuldades em ser resolvido; mas realmente não apresenta nenhuma.

De facto, dividindo uma pela outra as duas equações, vê-se que, nas condições de mais conveniente exercicio, a velocidade de volta em lastro fica ligada á velocidade de ída em carga pela relação

$$\beta B W^3 = \alpha B V^3$$

isto é

$$W = m V \quad \text{sendo} \quad m = \sqrt[3]{\frac{\alpha}{\beta}}$$

Este valor de W introduzido na primeira das equações do sistema, transforma-a em

$$n^2 V^3 + \frac{1}{16}\left(1 + \frac{1}{m}\right) M V^2 = \frac{1}{48} \frac{1}{\alpha} \frac{A}{B}$$

equação cubica, que com a sua raiz positiva dará o valor da velocidade mais conveniente na viagem de ída.

Obtidos assim os valores V e W das velocidades de ída e volta, poderá ser computado mediante a expressão dada no § 3 o maximo proveito P realizavel em um ano de exercicio do navio nas condições prefixas; é obvio porêm, que este computo supõe o conhecimento numerico da quota S''' de despezas devidas a elementos independentes da velocidade de exercicio.

§ 4. No caso concreto que vinhamos estudando teremos os dados numericos:

$$\alpha = 2{,}232 \qquad M = 6480' \qquad \mu = 25 \text{ fr.} \qquad n_2 = 6 \text{ dias}$$

$$\beta = 1.595 \qquad K = 14000 \text{ t.} \qquad v = 16 \text{ fr.} \qquad q_g = 5 \text{ t.}$$

$$m = \sqrt[3]{\frac{\alpha}{\beta}} = 1.118 \qquad \sigma = 25000 \text{ frs.} \qquad r = 0.1 \qquad q_c = 0^t{,}0007$$

os quais dão lugar a

$$\mu + \nu = 41 \qquad \mu\,(1 + r) = 27.5 \qquad \mu\,K = 3 = 350000$$

$$(\mu + v)\,n_2\,q_g = 1230 \qquad \mu\,(1 + r) + v = 43.4 \qquad 1 + \frac{1}{m} = 1{,}894$$

e para os coeficientes

$$\frac{1}{16}\left(1 + \frac{1}{m}\right) M = 767$$

$$A = \mu\,K - (\mu + v)\,n_2\,q_g - \sigma = 323770$$

$$B = [\mu\,(1 + r) + v]\,q_c = 0{,}03045$$

$$48\,\alpha\,B = 3{,}262291 \qquad \frac{1}{48}\,\frac{1}{\alpha}\,\frac{A}{B} = 99245$$

De tais elementos deduzem-se as equações determinantes da velocidade de exercicio mais conveniente nas viagens de ída em carga completa e volta em lastro :

$$6\,V^3 + 767\,V^2 = 99245 \qquad W = 1.118\,V$$

donde se tiram os valores

$$V = 10{,}92 \qquad W = 12{,}21 \quad \text{nós,}$$

que resolvem a questão proposta.

§ **5.** Apresentam-se então as seguintes observações :

1.ª Os valores da velocidade de exercicio mais conveniente são independentes do número n_1 dos dias durante os quais o navio fica inutilizado para reparações, entrada em doca, etc., o que de resto era de prever.

2.ª A relação de dependencia das velocidades de ída e de volta

$$\beta\,W^3 = \alpha\,V^3$$

mostra que as velocidades de exercicio são aquelas para as quais é igual o desenvolvimento de potencia motora na ída e na volta.

§ **6.** As condições do mercado caracterizadas pelos valores de momento, no porto de partida, do frete da mercadoria (μ) e do custo do carvão (v) influem nos valores da velocidade de exercicio mais conveniente dum dado navio em serviço numa dada linha.

Suponhamos que por mudança nas condições do mercado, tais valores, ficando constantes os outros elementos do problema, sejam sujeitos respectivamente ás variações $d\,\mu$ e $d\,v$, ás quais corresponderão as variações

$$d\,A = K\,d\,\mu - n_2\,q_g\,(d\,\mu + d\,v) \qquad d\,B = [(1 + r)\,d\,\mu + d\,v]\,q_e$$

dos coeficientes auxiliares introduzidos no calculo.

A correspondente variação dV da velocidade de exercicio mais conveniente do navio em serviço na linha considerada será a que fica definida pela relação que se obtêm diferenciando a equação determinante de tal velocidade:

$$\left[3\,n_2\,V^2 + \frac{1}{8}\left(1 + \frac{1}{m}\right)M\,V\right]d\,V = \frac{1}{48}\,\frac{1}{\alpha}\,\frac{B\,dA - A\,dB}{B^2}$$

Reconhecer-se-ha que:

1.° A um aumento de frete corresponde uma elevação de velocidade de exercicio mais conveniente;

2.° A um aumento de custo de carvão corresponde uma redução da dita velocidade.

Por exemplo, no caso considerado, no qual teremos os valores numericos

$$3\,n_2 = 18 \qquad A = 323770 \qquad V = 10{,}92$$

$$\frac{1}{8}\left(1 + \frac{1}{m}\right)M = 1534 \qquad B = 0{,}03045 \qquad V^2 = 119{,}29$$

$$\alpha = 2{,}232 \qquad B^2 = 0{,}00093 \qquad 48\,\alpha\,B^2 = 0{,}09931$$

para cada aumento

$$d\,\mu = 1 \text{ fr.}$$

no preço do frete, corresponderá uma elevação dV na velocidade de exercicio mais conveniente na ída, que poderá ser calculada formando os valores

$$dA = (14000 - 30) \times 1 = 13970$$

$$dB = 1.1 \times 1 \times 0{,}0007 = 0{,}00077$$

donde

$$B\,dA = 425{,}4 \qquad A\,dB = 249{,}3$$

e

$$3\,n_2\,V^2 = 2146 \qquad \frac{B\,dA - A\,dB}{48\,\alpha\,B^2} = \frac{176{,}1}{0{,}09931} = 1773$$

$$\frac{1}{8}\left(1 + \frac{1}{m}\right) dV = \frac{16751}{18897}$$

e finalmente

$$dV = \frac{1773}{18847} = 0',09$$

Este aumento de cêrca de um decimo de nó na velocidade, correspondente ao aumento de um franco no frete da mercadoria, é pouco sensivel, e pode-se dizer que seria dificilmente realizavel com segurança na prática da navegação. Mas se o aumento do frete fosse de cinco francos, então a variação em aumento da velocidade de exercicio mais conveniente seria cêrca de meio nó, e esta seria uma variação perfeitamente apreciavel e realizavel.

O leitor poderá reconhecer com analogo procedimento que ao aumento de um franco no custo do carvão corresponderá a diminuição de pouco mais de um decimo de nó na velocidade de exercicio mais conveniente.

§ **7.** Um navio empregado em uma linha de navegação de comprimento M milhas, sendo V a velocidade de exercicio mais conveniente de ída, em geral admitirá uma outra diversa da primeira de um valor dV, quando em igualdade de todas as outras circumstancias fôr adaptado a uma linha mais comprida dM do que a primeira.

E a relação de dependencia entre dV e dM será

$$\left[3 n_2 V^2 + \frac{1}{8}\left(1+\frac{1}{m}\right) M V\right] d V = -\frac{1}{16}\left(1+\frac{1}{m}\right) V^2 dM$$

ou então

$$d V = -\frac{1}{2} \frac{1}{\frac{M}{V} + \frac{24 n_2}{1+\frac{1}{m}}} dM$$

No caso do precedente exemplo, no qual é

$$M = 6480 \text{ milhas} \qquad n_2 = 6$$

$$V = 10{,}92 \text{ nós} \qquad 1 + \frac{1}{m} = 1{,}894$$

$$\frac{M}{V} = 593.4 \qquad \frac{24 n_2}{1+\frac{1}{m}} = 76$$

obtem-se para $dM = 100$ milhas

$$dV = -\frac{1}{2} \frac{100}{669} = -0{,}075\, n$$

§ **8**. Tambem o número de dias de estada no porto para operações de embarque e desembarque de mercadoria influe sobre o valor da mais conveniente velocidade de exercicio.

A uma variação $d\, n_2$ do dito número de dias corresponderá uma variação do coeficiente A expressa por

$$dA = -(\mu + v)\, q_g \,.\, d\, n_2$$

á qual por sua vez corresponderá na velocidade de exercicio mais conveniente uma variação dV tal que

$$V^3 d n_2 + 3 n_2 V^2 dV + \frac{1}{8}\left(1+\frac{1}{m}\right) M V dV = \frac{1}{48} \frac{1}{\alpha} \frac{dA}{B}$$

No caso do precedente exemplo numerico para $d\ n_2 = 1$ dia achar-se-hia $dV = -0{,}072$ nós.

Entende-se que todos estes problemas de variações da velocidade de exercicio mais conveniente se aplicam apenas no caso de serem pequenas as variações dos elementos, dos quais por cada vez se indaga a influencia. Se essas fossem importantes teria que se resolver a equação determinante da velocidade mais conveniente nas novas condições do problema.

§ **9**. O leitor adquirirá facilmente o convencimento de que o desenvolvimento d'esta questão póde ser de utilidade, não só pela determinação da velocidade de exercicio mais conveniente, mas tambem porque fica indicado o caminho a seguir em muitos outros casos que podem aparecer na exploração de linhas de navegação, e emfim porque mostra os criterios que presidem á determinação da melhor velocidade dos navios de comercio, os quais diferem completamente daqueles donde resulta a determinação da velocidade economica do navio militar.

Genova, Novembro, 1916.

CESAR FERREIRA,
2.º tenente.