

ESTUDO DO RISCO DE ACIDENTE ECOLÓGICO NO MAR E O IMPACTO DECORRENTE DA POSSIBILIDADE DE ALTERAÇÃO DA REGULAMENTAÇÃO 13G

CARLOS FRANCISCO SIMÕES GOMES
Capitão-de-Corveta
D.Sc e M.Sc em Engenharia de Produção
FERNANDO AYRES DE CASTRO FILHO
Professor, M.Sc

RESUMO

Este trabalho é parte de um estudo desenvolvido pelo CASNAV (Centro de Análises de Sistemas Navais da Marinha) e apresentado pela delegação brasileira na IMO (International Maritime Organization), para demonstrar que o prolongamento da vida útil de um grupo de navios-tanques, apresentados no texto, além das datas propostas pelo novo regulamento 13G, não aumentariam os riscos de poluição pelo derramamento de óleo. Estão aqui apresentados apenas os aspectos lógicos, probabilísticos e econômicos que apoiaram o estudo.

INTRODUÇÃO

Este trabalho será desenvolvido obedecendo-se à seguinte seqüência:

a) Estudos Estatísticos e Probabilísticos: serão apresentados três estudos, onde o primeiro demonstrará que os navios-tanques não são a maior causa de acidente ecológico no mar [1][7], e que a quantidade média de vazamentos de óleo nos oceanos

está diminuindo a cada década; o segundo estudo demonstrará que a quase totalidade de acidentes que provocam a destruição no fundo dos navios penetra verticalmente menos que 1,5 metro; e o terceiro estudo demonstrará que a probabilidade de um navio sofrer um acidente não está diretamente relacionada com a sua idade, e que a rota que os navios brasileiros, normalmente, operam não é a mais suscetível a acidentes.

ESTUDOS ESTATÍSTICOS E PROBABILÍSTICOS

b) Modelo Econômico/Financeiro para Justificar a Necessidade de emprego, durante 25 Anos de Serviço, para Navios-Petroleiros: será demonstrado que um navio só terá viabilidade econômica[4] se operar por pelo menos 25 anos.

c) Conclusão Final: concluir-se-á que os navios que possuam casco duplo, com espaçamento (intervalo) entre cascos no fundo maior ou igual a 1,5 m, e não obedecem ao previsto na Marpol, podem operar até o limite da sua vida útil de 25 anos, sem oferecerem um aumento de riscos que determine a sua retirada antecipada de operação[2].

Tipos de acidentes causadores de danos ecológicos no mar

Tomando como base a Tabela I, é fácil demonstrar que os navios não são os maiores causadores de danos ecológicos no mar. A Tabela I tem como fonte de dados o site <http://www.itopf.com/stats.html> e indica a porcentagem de danos ecológicos no mar, no mundo, por causas, desde 1974 a 1999.

	Derramamento de óleo e suas causas no período de 1974-1999 (Mundial)	Porcentagem do total
Operações em terminais	9.690	53,22%
Colisão de navios-tanques	950	5,22%
Acidentes de navios com terra (encalhe)	1.036	5,69%
Outros tipos de acidentes	6.532	35,87%
Total	18.208	100,00%

Tabela I

A Tabela I mostra que os terminais marítimos e não os navios foram os maiores causadores de danos ecológicos no mar. Os vazamentos da Tabela II estão em toneladas de óleo. A Tabela II tem como fonte de dados o site <http://www.nrc.uscg.mil/mode.html>

Tipos de acidente nos EUA	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Navios pré-Marpol	0	0	0	2	2	4	2	2	7
Porcentagem do total	0,00%	0,00%	0,00%	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	0,02%
Navios Marpol	0	0	16	33	12	53	17	6	8
Porcentagem do total	0,00%	0,00%	0,05%	0,10%	0,04%	0,18%	0,06%	0,02%	0,03%
Outras causas	25.754	27.185	29.832	32.903	33.069	29.381	27.408	29.195	30.160
Porcentagem do total	100,00%	100,00%	99,95%	99,89%	99,96%	99,81%	99,93%	99,97%	99,95%
Total	25.754	27.185	29.848	32.938	33.083	29.438	27.427	29.203	30.175

Tabela II

Com os dados da Tabela II, verifica-se que a porcentagem de danos ecológicos causados por navios, nos EUA, é muito pequena, e teve, na década de 90, o seu pior ano em 1996, quando o dano foi inferior a 0,2% do total ($100 - 99,81 = 0,19$).

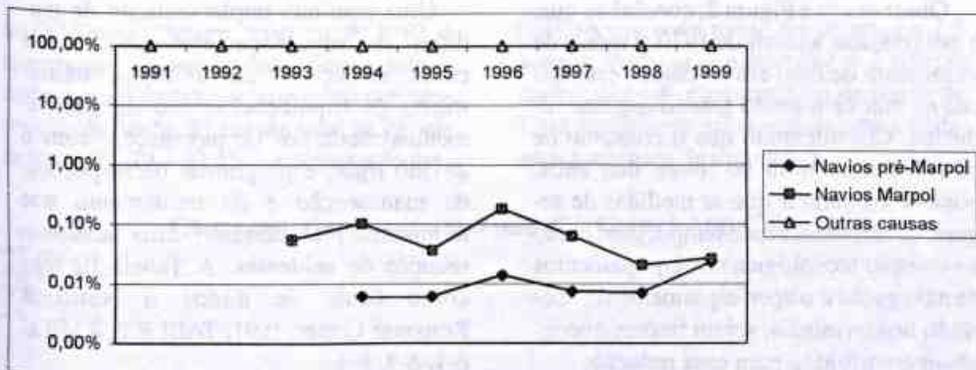


Figura 1 - Visualização Gráfica da Tabela II

Constata-se, também, que os navios que cumpriram as recomendações da convenção da Marpol, nos EUA, causaram mais acidentes do que os navios que não cumpriram a convenção (Figura 1). A Figura 2 tem como fonte de dados o site <http://www.itopf.com/stats.html>.

Numbers of spills over 700 tonnes

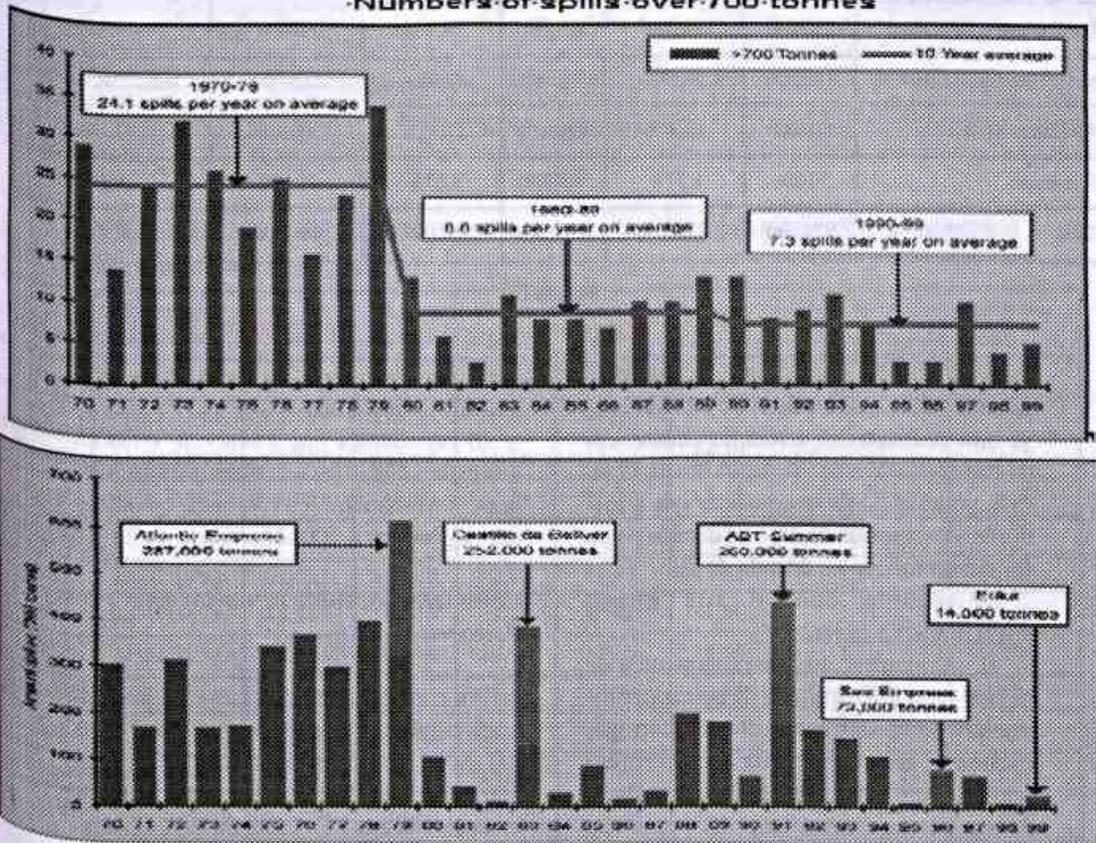


Figura 2

Observando a Figura 2, conclui-se que, a cada década, a partir de 1970, a média de vazamento de óleo em acidentes ecológicos no mar vem sendo gradativamente reduzida. Considerando que o consumo de petróleo aumentou ao longo dos anos, pode-se conjecturar que as medidas de segurança impostas nesse tempo, bem como a evolução tecnológica nos equipamentos de navegação e o aperfeiçoamento da operação nos terminais, sejam fatores que tenham contribuído para essa redução.

Uma contínua implementação de medidas de segurança nos navios, tais como inspeções, casco duplo, treinamento de tripulações e uso de equipamentos modernos de navegação, com o devido rigor, e programas de inspeções, de manutenção e de treinamento nos terminais, possibilitarão uma contínua redução de acidentes. A Tabela III tem como fonte de dados o National Response Center, 1991, TABLE 2, TABLE 6-1, 6-3, 6-4.

Ano	Vazamentos de óleo				Redução no período de 1981 a 1990	
	Tons	Porcentagem	Tons	Porcentagem	Tons	Porcentagem
	1990	1990	1981	1981		
Porão e óleo combustível	250.000	43,86%	310.000	20,67%	60.000	19,35%
Navio - perdas operacionais	160.000	28,07%	710.000	47,33%	550.000	77,46%
Acidentes com Navios	110.000	19,30%	410.000	27,33%	300.000	73,17%
Terminais	50.000	8,77%	70.000	4,67%	20.000	28,57%
Total	570.000	100,00%	1.500.000	100,00%	930.000	62,00%

Tabela III

A Tabela III mostra que, olhando-se pontualmente os anos de 1990 e 1981, houve uma redução dos acidentes causadores de danos ecológicos. Com auxílio da Figura 2, pode-se também constatar que a média de vazamentos de óleo na década de 80 foi menor do que na década de 70.

De acordo com o site <http://www.itopf.com/stats.html>:

a) A maioria dos derramamentos de navios-tanque é resultado de operações rotineiras como carregamento, descarregamento etc., que normalmente acontecem em portos ou em terminais de óleo. A maioria desses derramamentos operacionais são "pequenos", aproximadamente 92% destes

derramamentos envolve quantidades inferiores a 7 toneladas.

b) Acidentes que envolvem colisões e encalhes dão lugar a derramamentos maiores, normalmente envolvendo quantidades superiores a 700 toneladas.

Considerações sobre os navios da Petrobras

Foi considerado relevante e de interesse de estudo, para as apreciações sobre os navios da Petrobras, o gráfico da Figura 3, que tem como fonte de dados a estatística apresentada por J.C. Card, da USCG, existente no Report on IMO Comparative Study

on Oil Tanker Design, fevereiro de 1992, e mostra que, até aquela data, a quase totalidade dos acidentes que provocaram a destruição do fundo, 27 em um total de 29 acidentes (27 / 29 = 93,1%), a penetração ver-

tical no casco do navio foi inferior a 1,5 metros. Pode-se concluir que a distância entre cascos do chapeamento de fundo de 1,5m é suficiente para garantir uma significativa margem de segurança.

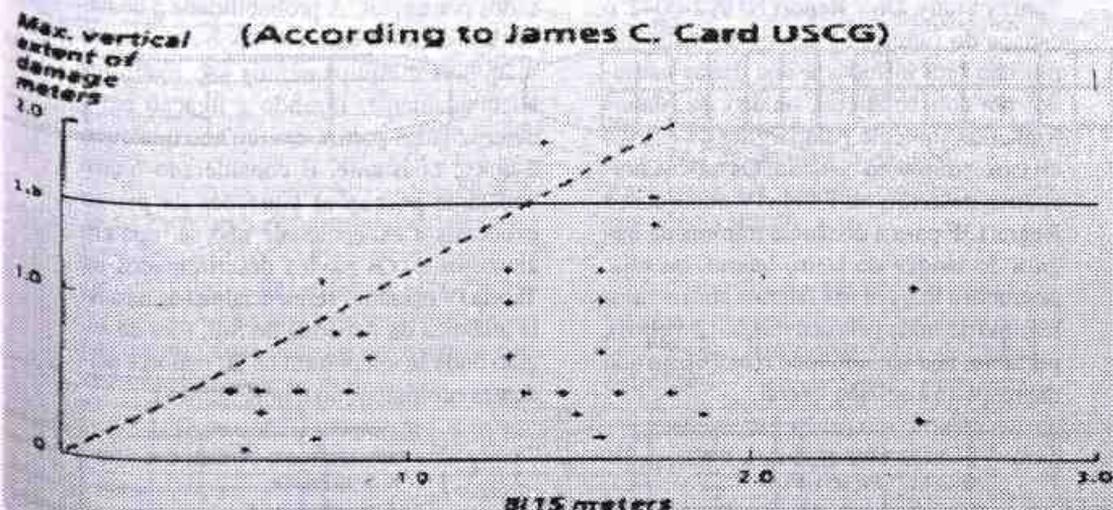


Figura 3

A Tabela IV, que se segue, tem como fonte de dados a Petrobras, detentora da posse dos navios submetidos a avaliação.

Nome	Data de entrega	Dwt	Lpp (m)	Boca (m)	Pontal (m)	Calado (m)	Altura tq lastro duplo fundo (m)	Mínimo regra (m)
Piquete	01/01/1989	66.721	213,00	32,26	18,30	13,52	1,70	2,00
Pirai	02/04/1990	66.721	213,00	32,26	18,30	13,52	1,70	2,00
Pirajui	01/08/1990	66.721	213,00	32,26	18,30	13,52	1,70	2,00
Potengi	02/10/1991	68.025	218,00	32,20	18,00	12,15	1,60	2,00
Pedreiras	15/01/1993	68.025	218,00	32,20	18,00	12,15	1,60	2,00
Poti	13/05/1993	68.025	218,00	32,20	18,00	12,15	1,60	2,00
Itabuna	06/07/1993	44.555	172,00	32,00	17,20	11,90	1,70	2,00
Itajubá	17/11/1993	44.555	172,00	32,00	17,20	11,90	1,70	2,00
Itaperuna	30/06/1994	44.555	172,00	32,00	17,20	11,90	1,70	2,00
Lobato	19/08/1993	44.783	174,60	29,00	17,00	12,90	1,50	1,93
Londrina	08/12/1994	44.783	174,60	29,00	17,00	12,90	1,50	1,93
Lorena Br	28/08/1996	44.783	174,60	29,00	17,00	12,90	1,50	1,93

Tabela IV

Conforme se observa na Tabela IV, todos os navios da Petrobras citados possuem entre 1,5m e 1,7m de distância entre cascos (altura do duplo fundo). Segundo informações obtida na Det Norske Veritas Classification A/S, em IMO Comparative Tanker Study, DnV Report N° 992-0042, o espaço do fundo dos navios de casco duplo não tem influência nos danos causados por colisão lateral, sendo esses danos limitados somente pela largura do espaço do casco duplo no costado. Os navios brasileiros descritos na Tabela IV obedecem à Regra 13F para a distância mínima de largura do tanque de lastro lateral, ou seja, possuem a largura nas laterais com o valor mínimo definido pela convenção (2 metros), portanto, não adicionando risco[6], no que diz respeito à colisão lateral.

Rotas e probabilidades de acidentes

A Figura 4 tem como fonte de dados o site <http://www.itopf.com/stats.html>. Ela mostra a localização dos maiores derramamentos de óleo (acidentes ecológicos) causados por navios. A probabilidade p de haver um acidente com um navio cujo casco, máquinas e equipamentos são mantidos adequadamente, fazendo a ligação entre determinados portos, em um ano qualquer, é quase constante. É considerado quase constante porque as situações de perigo eventuais e excepcionais não se repetem anualmente. Os navios discriminados na Tabela IV operam, preferencialmente, na costa atlântica da América do Sul, fora da região onde se encontram os 20 maiores acidentes ecológicos no mar (Figura 4).

- | | |
|-----------------------|-----------------|
| 1 Atlantic Empress | 11 Jakob Maersk |
| 2 ART Summer | 12 Braer |
| 3 Castillo de Bellver | 13 Khark 6 |
| 4 Amoco Cadiz | 14 Aegean Sea |
| 5 Haven | 15 Sea Empress |
| 6 Odyssey | 16 Katina P. |
| 7 Torrey Canyon | 17 Assimi |
| 8 Urquiola | 18 Metula |
| 9 Hawaiian Patriot | 19 Wafra |
| 10 Independencia | 20 Exxon Valdez |

Locations of selected major oil spills

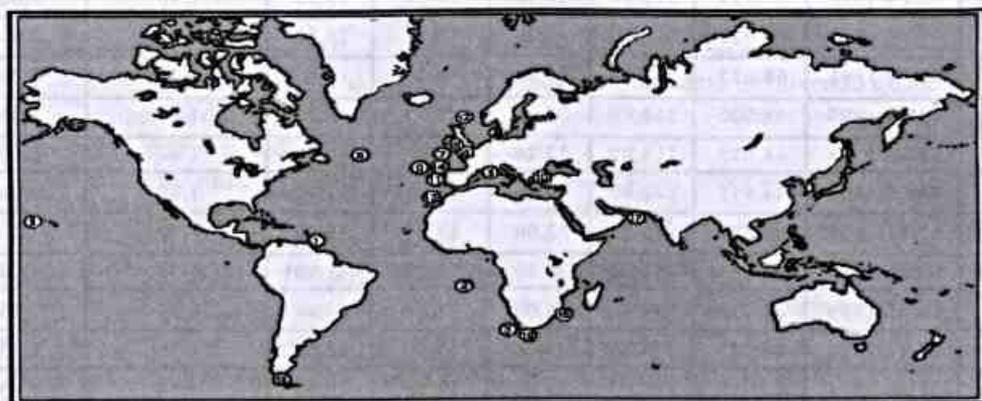


Figura 4

A hipótese de se associar um aumento de probabilidade de acidente à idade do navio só seria válida se não houvesse inspeção e manutenção adequadas, que determinam, numa dada idade, a inviabilidade técnica e econômica de reparos, passando o navio para sucata.

Assim, se há maior incidência de acidentes com navios mais antigos, isso pode ser interpretado como uma lei natural de probabilidade: quanto maior for o período de vida útil de um navio, maior será a probabilidade de um acidente. A probabilidade de haver pelo menos um acidente com um navio em "x" anos é dada pela fórmula abaixo: $P = 1 - (1 - p)^x$ [3]. A Fronape teve quatro acidentes nas últimas duas décadas provocando derramamento de óleo no mar:

1. Em 27 de setembro de 1984, o navio *Jacuí* teve um acidente com terra em Qingdao, na China;

2. Em 30 de outubro de 1986, o navio *Brotas* teve um acidente de colisão com outro navio no Rio de Janeiro, no Brasil;

3. Em 5 de março de 1990, o navio *Jacuí* teve um acidente de colisão em Angra dos Reis, no Brasil;

4. Em 28 de agosto de 1992, o navio *Araxá* teve um acidente com terra no Rio Grande, no Brasil.

A expansão do número de navios da Fronape em operação está indicada na Tabela V, que tem como fonte de dados a Petrobras.

Ano	Número de navios	Quantidade de acidentes	Estatística de acidentes	Ano	Número de navios	Quantidade de acidentes	Estatística de acidentes
1980	57	0	0,00%	1990	72	1	1,39%
1981	62	0	0,00%	1991	71	0	0,00%
1982	64	0	0,00%	1992	72	1	1,39%
1983	66	0	0,00%	1993	76	0	0,00%
1984	66	1	1,52%	1994	78	0	0,00%
1985	68	0	0,00%	1995	73	0	0,00%
1986	69	1	1,45%	1996	70	0	0,00%
1987	69	0	0,00%	1997	67	0	0,00%
1988	67	0	0,00%	1998	61	0	0,00%
1989	69	0	0,00%	1999	61	0	0,00%

Tabela V

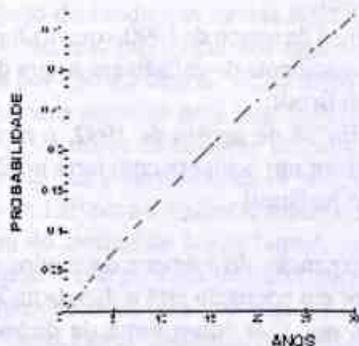
A Petrobras operou, na década de 80 e 90, com a média de 67,9 navios por ano. Com as informações de acidentes e com o número de navios em operação, há diversas formas de se obter um valor estimado para a probabilidade de um navio sofrer um acidente com extravasamento de óleo para o mar.

Esta estimativa poderá sempre ser colocada sob suspeita, devido à ordem de grandeza da amostra utilizada em um processo extremamente complexo envolvendo ho-

mens, equipamentos, o próprio navio e a natureza. Entretanto, pela falta de maior número de informações, pode ser feita uma manipulação do que é disponível e obter um valor que tende a ser um valor majorante do verdadeiro, permitindo assim tirar conclusões conservadoras.

Em 1984, essa probabilidade pode ser estimada como $1/66 \cong 0,0152$. Em 1986, 1990 e 1992 como, respectivamente, $1/69 \cong 0,0145$, $1/72 \cong 0,0139$ e $1/72 \cong 0,0139$.

A média aritmética de todas essas probabilidades é 0,0029 ou 0,29%; este valor poderia ser considerado uma estimativa pouco conservadora, pelo seu valor diminuto. Assim sendo, para assumir um valor seguramente conservador considerar-se-á o maior



valor anual estimado, que é 0,0152 (pior situação nas décadas de 80 e 90). Portanto, com o valor de "p" igual a 0,0152, a probabilidade de um navio ter pelo menos um acidente ao longo de um período de 30 anos evolui conforme apresentado na Figura 5.

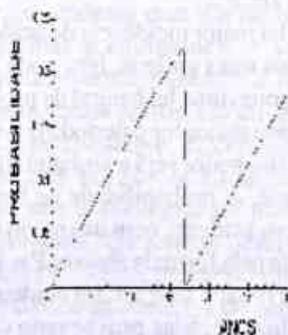


Figura 5

Pode-se também afirmar que, se um navio não teve acidente até um determinado ano, a "contagem" recomeçará a partir daquele ano, conforme apresenta a Figura 5, para um navio que não teve acidentes, por exemplo, até o 17º ano.

Conclusões dos Estudos Estatísticos e Probabilísticos

a) Segundo os dados da Tabela I, os danos ecológicos causados por colisões (5,22%) e acidentes com terra (5,69%), no mundo, para o período de 1974-99, representam 10,91% dos acidentes, de modo que os navios não são por si só a maior causa de acidentes ecológicos no mar.

b) A média de vazamento de óleo no mar, por década, considerando as décadas de 70, 80 e 90, vem diminuindo.

c) Pela análise da quase totalidade de acidentes que já ocorreram, provocando a destruição do fundo do navio (Figura 3), pode-se concluir que a distância entre cascos do chapeamento de fundo de 1,5 m (a

mínima existente nos navios da Fronape) é suficiente para garantir uma margem de segurança estimada em 93%.

d) O estudo indica de forma simples que um navio pode ter uma vida útil prolongada se os serviços de manutenção, reparo e inspeção forem executados de forma eficiente e responsável, sem permitir a degradação de casco, máquinas e equipamentos. Este procedimento permite o sucateamento na ocasião adequada (término da vida útil do navio).

e) A idade do navio não influencia na probabilidade de acidentes, desde que este navio faça uma manutenção adequada.

MODELO ECONÔMICO/FINANCEIRO PARA JUSTIFICAR A NECESSIDADE DE EMPREGO, DURANTE 25 ANOS DE SERVIÇO PARA NAVIOS-PETROLEIROS

Dado: Custo Inicial da Compra - CI;
Custo (e despesas) de Manutenção

Anual - CM; Custo de Revisão e Reparos a cada 2,5 anos - CR (pode ser variável com o tempo); Impostos Anuais (Internacionais / Federais / Estaduais /

Municipais) - IMP; Receita Anual - R (esperada ou realizada); Valor Como Sucata - S; Valor ou lucro ao fim de "n" anos - V(n).

Observação:

Valor da receita diária: 10.000 a 15.000 US\$/ dia;	Duração da docagem: 10 a 15 dias (em fração de ano: 1/d);
Frequência de docagens para revisões: 2,5 anos;	INT: valor inteiro.

Custo de impostos 3,5% receita - CI 3,5%	
--	--

Equação do Valor:

$$V(n) = R \times n + S - CI - CM \times n - INT(n / 2,5) \times CR - INT(n / 2,5) \times R \times (1/d) - IMP \times n$$

A Tabela VI, que tem como fonte de dados a Petrobras, mostra a estimativa de custo de seus navios com idade entre 5 e 10 anos.

Estimativa de Custos de Navios

Parte idade	Quanto Custa no mercado	Custo diário estimado	Custo docagem estimado	CI 3,5 %	Receita diária mercado	Peso leve (ton)	Valor sucata	Valor atual mercado
65.000 Dwt 10 anos-DH	45.000.000	4.500	800.000		14.000	13.300	2.261.000	21.000.000
65.000 Dwt 7 anos-DH	45.000.000	4.200	700.000		14.000	14.400	2.448.000	22.000.000
45.000 Dwt 6 anos-DH	40.000.000	4.000	700.000		11.500	9.600	1.632.000	22.000.000
45.000 Dwt 6 anos-DH	35.000.000	4.000	500.000		11.000	10.800	1.836.000	22.000.000
45.000 Dwt 5 anos-DS	40.000.000	3.000	500.000		11.500	10.150	1.725.500	25.000.000

Tabela VI

Todos os valores da Tabela VI estão em USD, são médios e sujeitos a variações devido ao mercado, rota do navio, custos, tripulação exterior, dias de docagem (of hire) etc.

Adotado o valor de *scrap* (sucata) 170 USD/ton Valor/Mercado.

DS - duplo costado.

DH - casco duplo.

Propósito da análise:

Verificar a evolução do desembolso/retorno na operação de um navio-petroleiro e, dentro do que for considerado razoável, ajustar os valores para justificar que somente em torno de 25 anos de vida útil pode ser obtido um retorno economicamente viável.

A Figura 6 é obtida a partir da aplicação dos dados que se seguem na equação do valor $V(n)$ anteriormente definida. Navio: SHIP - 65000 DWT - 10 anos de utilização média.

Custo Inicial CI	\$45.000.000,00	Impostos	\$178.850,00
Custo Manutenção Anual CM	\$1.600.000,00	Receita Anual R	\$5.110.000,00
Custo De Revisão 2,5 CR	\$800.000,00	Valor Sucata S	\$2.261.000,00

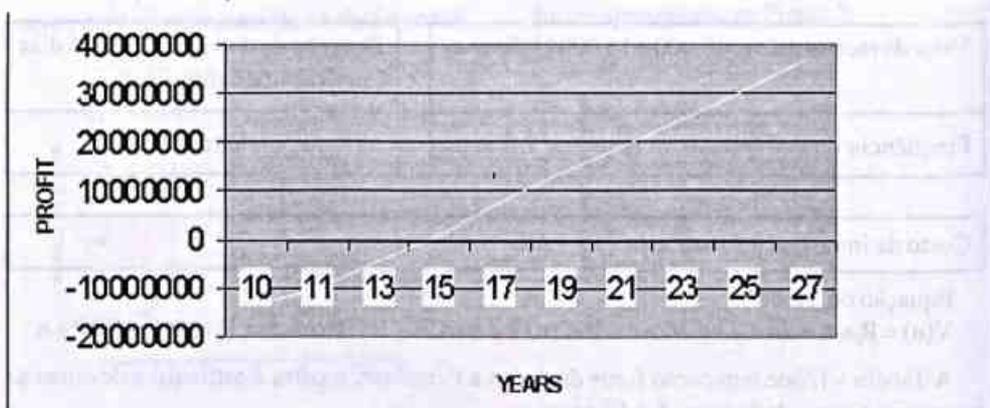


Figura 6

A Figura 7 é obtida a partir da aplicação dos dados que se seguem na equação do valor $V(n)$ anteriormente definida. Navio: SHIP - 65000 DWT - 7 anos de utilização média.

Custo Inicial CI	\$45.000.000,00	Impostos	\$178.850,00
Custo Manutenção Anual CM	\$1.500.000,00	Receita Anual R	\$5.110.000,00
Custo De Revisão 2,5 CR	\$700.000,00	Valor Sucata S	\$2.448.000,00

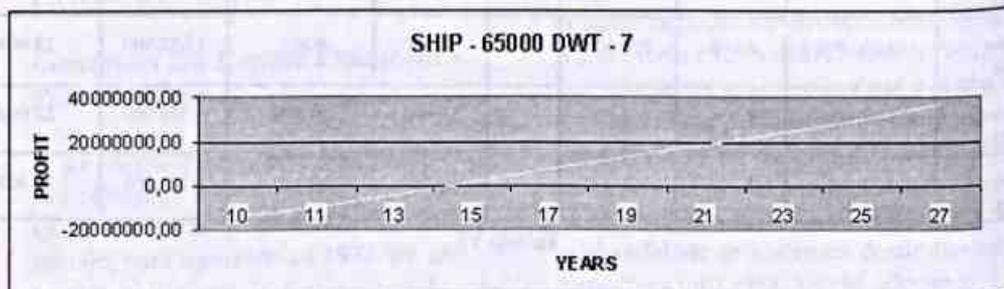


Figura 7

A Figura 8 é obtida a partir da aplicação dos dados que se seguem na equação do valor $V(n)$ anteriormente definida. Navio: SHIP - 45000 DWT - 6 anos de utilização média.

Custo Inicial CI	\$40.000.000,00	Impostos	\$147.000,00
Custo Manutenção Anual CM	\$1.400.000,00	Receita Anual R	\$4.200.000,00
Custo De Revisão 2,5 CR	\$700.000,00	Valor Sucata S	\$1.632.000,00

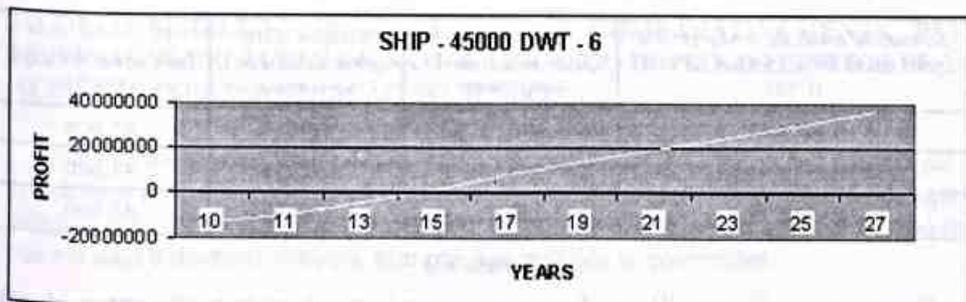


Figura 8

A Figura 9 é obtida a partir da aplicação dos dados que se seguem na equação do valor $V(n)$ anteriormente definida. Navio: SHIP - 45.000 DWT - 6 anos de utilização média.

Custo Inicial CI	\$35.000.000,00	Impostos	\$140.525,00
Custo Manutenção Anual CM	\$1.400.000,00	Receita Anual R	\$4.015.000,00
Custo De Revisão 2,5 CR	\$500.000,00	Valor Sucata S	\$1.836.000,00

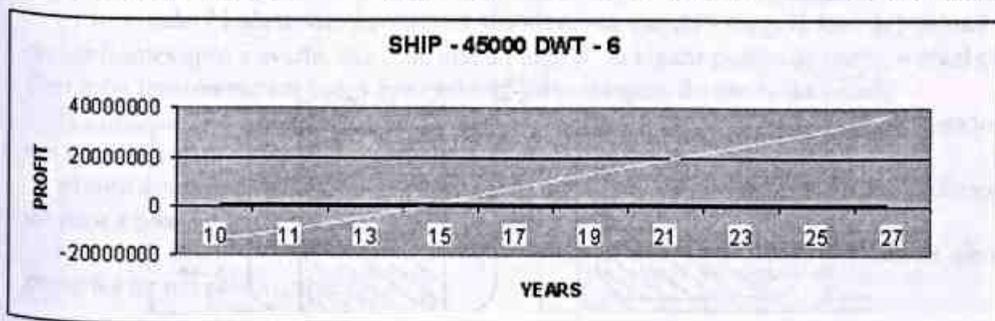


Figura 9

A Figura 10 é obtida a partir da aplicação dos dados que se seguem na equação do valor $V(n)$ anteriormente definida. Navio: SHIP - 45000 DWT - 5 anos de utilização média.

Custo Inicial CI	\$40.000.000,00	Impostos	\$147.000,00
Custo Manutenção Anual CM	\$1.095.000,00	Receita Anual R	\$4.200.000,00
Custo De Revisão 2,5 CR	\$500.000,00	Valor Sucata S	\$1.725.500,00

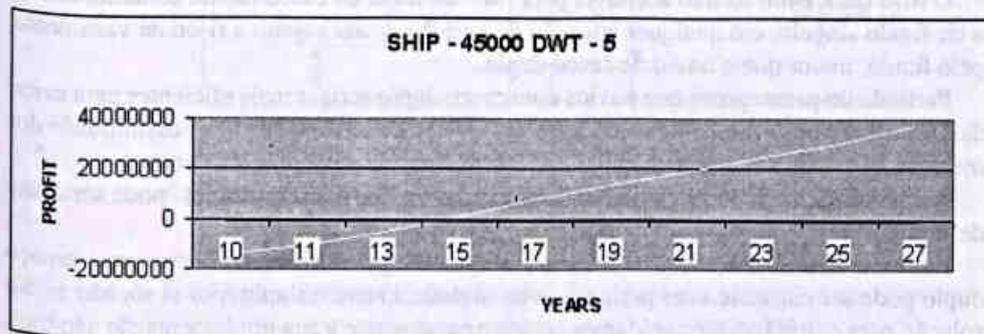


Figura 10

Somatório anual da renda gerada pelo navio após 25 anos de uso (US\$)	Custo de um navio novo (US\$)	Relação lucro gerado/custo de aquisição	Tonelagem do navio (DWT)
\$32.254.083,33	\$45.000.000,00	0,716757	65.000
\$24.513.000,00	\$40.000.000,00	0,612825	45.000
\$26.973.908,33	\$35.000.000,00	0,770683	45.000

Tabela VII

Observando a Tabela VII, verifica-se que a renda gerada pelo navio, por si só, não permite a aquisição de um outro navio, tornando-se necessário um investimento desta renda, para que, ao final da vida útil, o armador/empresa possa adquirir um navio novo.

CONSIDERAÇÕES SOBRE O CASCO DUPLO

De acordo com estudo da Nippon Kaiji Kyokai, incluído no Report On, IMO Comparative study on Oil Tanker Design, de fevereiro de 1992[1], não existe diferença considerável, em termos de vazamentos de óleo, em um acidente com terra de um navio de casco duplo e um navio Mid-deck (Figura 11), se o navio chocar-se com velocidade de 15 nós.

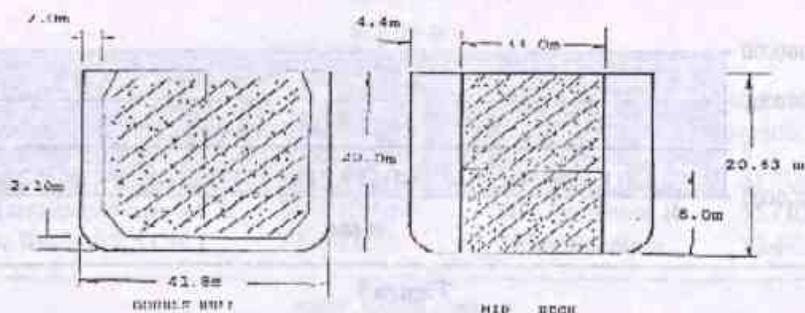


Figura 11

De acordo com o Report to the IMO Committee On Oil Tanker Designs, Structural Residual Strength Of Oil Tanker Designs, A Comparative Study By American Bureau Of Shipping, de fevereiro de 1992, navios tipo Mid-deck (Figura 11) possuem uma ligeira superioridade, para evitar derramamento, sobre os navios tipo casco duplo, em colisões no costado.

O Mid-deck é um padrão aceitável pela IMO no lugar do casco duplo, contudo, devido a ter fundo singelo, em qualquer situação de encalhe estará sujeito a risco de vazamento, pelo fundo, maior que o navio de casco duplo.

Partindo do pressuposto que navios com casco duplo seriam mais eficientes para evitar danos ecológicos em acidentes com terra, ou colisão de navios, existe a possibilidade dos mesmos agravarem as conseqüências em outros tipos de acidentes, tais como:

A concentração de hidrocarbonetos, no espaço entre os cascos duplos, pode ser causa de combustões.

Em caso de colisões, além de possíveis explosões pelos hidrocarbonetos, este espaço duplo pode ser causa de uma perigosa instabilidade. O casco duplo, por si só, não será a solução para evitar todos os acidentes ecológicos no mar, e a sua implementação não trará de todo vantagens para a segurança mundial.

MODELO SIMPLIFICADO PARA AVALIAR COMPARATIVAMENTE, PARA DIVERSAS TONELAGENS DE NAVIOS DE CASCO DUPLO, OS EFEITOS DE UM ACIDENTE COM PENETRAÇÃO NO FUNDO

Inicialmente são apresentadas as variáveis envolvidas e as equações físicas que as relacionam para um navio de casco duplo. Na modelagem é levada em consideração a situação antes e depois de um acidente com terra. Simplificações e aproximações são usadas em todo o desenvolvimento, sem que isso invalide as conclusões.

Assunções do modelo:

- será considerado que toda a área de armazenamento de óleo e o casco do navio possuem secção reta retangular;
- o restante do navio será aproximado para um triângulo (porões e paióis de proa) e um trapézio (praça de máquinas, porões e paióis de popa);
- não é considerada a possibilidade de alguma forma de armazenamento de óleo, ou permanência de água, após o acidente nos espaços da proa e popa;
- são desprezadas influências das anteparas e irregularidades estruturais;
- todos os tanques de lastro não são necessariamente comunicantes, ficando comunicantes após a avaria, isto é, ao invadir algum, ou alguns porões de lastro, o nível do óleo sobe igualmente em todos que estão na parte rompida do fundo do casco;
- a pressão na superfície do óleo em todos os porões é a atmosférica, e não são levados em consideração os efeitos de correntes e marés;
- com a variação da carga, será considerado que o navio só varia o calado, não inclinando para a proa ou popa, ou adernando para um dos bordos;
- após o equilíbrio, não será retida água no navio, que, portanto, pela perda de óleo, passará a ter um calado menor.

As Figuras 12 (secção vertical de um navio) e 13 (secção horizontal e vista lateral de um navio) apresentam as posições relativas das variáveis.

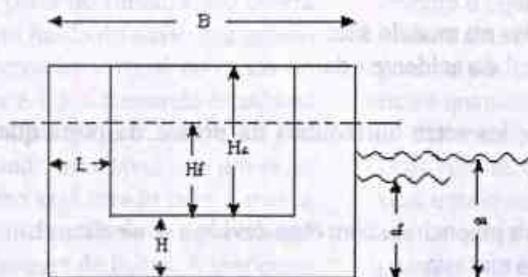


Figura 12

Calado antes do acidente – ca.

Calado estável após o acidente – cf.

Altura do tanque de lastro no fundo – H.

Largura do tanque de lastro na lateral – L.

Altura do óleo no tanque antes do acidente – Ha.

Altura estável do óleo no tanque após o acidente – Hf.

Boca do navio – B.

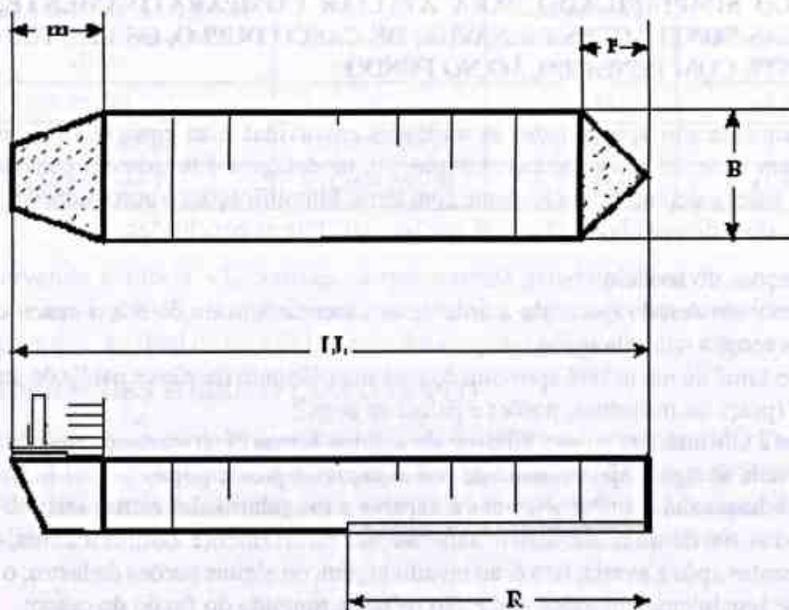


Figura 13

Comprimento total do navio - LL.

Comprimento do porão de colisão e paíóis da proa - p.

Comprimento da casa de máquinas, porões e paíóis da popa - m.

Boca do navio - B.

Extensão longitudinal de tanques rompida pelo impacto - R.

Outras variáveis envolvidas no modelo são:

Densidade da água no local do acidente - da.

Tonelagem - DWT.

Soma das áreas das secções retas horizontais da proa e da popa que influem na flutuabilidade do navio - Spp.

Volume do tanque - VT.

Volume do tanque de lastro preenchido com óleo devido a acidente - vL.

Volume de óleo perdido no mar - vp.

Densidade do óleo - do.

Para cálculo dos volumes submersos da proa e da popa, é usada uma variável Spp, que é a soma das áreas das secções retas horizontais da proa e da popa.

O valor de R é sempre considerado como múltiplo do comprimento de cada tanque longitudinal, identificando assim quantos tanques foram atingidos e qual o volume de óleo que estará disponível para ser extravasado.

As equações que relacionam as variáveis são:

$$(H_f + H) \times d_o = c_f \times d_a \quad (\text{equilíbrio hidrostático})$$

$$V_T = (B - 2 \times L) \times H_a \times (LL - m - p)$$

$$v_L = (H_f + H) \times B \times (R - p) - H_f \times (B - 2 \times L) \times (R - p) \quad (\text{todo tanque de lastro é comunicante})$$

$$v_p = R \times (B - 2 \times L) \times (H_a - H_f) - v_L$$

$$v_p \times d_o = (c_a - c_f) \times d_a \times [B \times (LL - m - p) + S_{pp}] \quad (\text{Princípio de Arquimedes})$$

Os valores de S_{pp} normalmente são aproximadamente iguais a 20% da área total da projeção horizontal do navio, enquanto os valores da soma "m + p" são em geral cerca de 24% de LL.

Os valores que podem ser adotados para as densidades são:

$$d_a = 1,025$$

$$d_o = 0,87$$

As equações permitem uma análise estática do modelo após ser estabelecido o equilíbrio. É concordante com o modelo do trabalho do Tsukuba Institute, apresentado no Report on IMO Comparative Study on Oil Tanker Design[1]. Este trabalho descreve ainda a dinâmica ao ocorrer destruição do casco na sua parte do fundo. Caso ocorra um acidente no fundo do navio que provoque uma penetração vertical no casco do navio superior a 1,5m, apesar da existência de casco duplo, haverá inicialmente um jato de óleo, tornando inevitável que um certo volume de óleo seja levado para o mar, e simultaneamente um fluxo de água do mar inundará os tanques de lastro. A tendência seguinte é prevalecer o equilíbrio hidrostático, sempre obedecendo ao Princípio de Arquimedes, e então o óleo começa a ocupar os porões de lastro e o fluxo de óleo para fora do navio vai tendendo a se anular. Este processo sempre ocorrerá, independentemente da altura do tanque de lastro do fundo. Pode ser admitido que o volume do

óleo retido no tanque de lastro é relacionado com o volume do tanque de lastro, e que a diferença de volumes de dois tanques de lastro diferentes de dois navios idênticos nas demais variáveis é relacionada com a diferença de volumes de óleo extravasado por cada um deles. Isso se justifica porque, embora o equilíbrio hidrostático resulte na mesma altura nos dois navios, aquele que possuir um tanque de lastro maior reterá maior quantidade de óleo, durante a dinâmica das transferências de fluidos, havendo mais volume com pressão atmosférica, haverá uma quantidade maior de óleo dentro dos tanques de lastro até a expulsão quase completa da água que houver entrado.

Assim será admitido que, na pior das hipóteses, a diferença entre os volumes extravasados será igual à diferença de volumes dos tanques de lastro, devido às diferenças das alturas. Esta condição será utilizada adiante para demonstrar que os efeitos de menor altura do tanque de lastro do fundo resultam, no máximo, num excesso

de óleo extravasado desprezível em relação ao total.

Há uma relação entre as variáveis R, vp, VT e a tonelage do navio.

É mostrado que há proporcionalidade entre R e a tonelage, no Apêndice I do parecer do Tsukuba Institute, em Report on IMO Comparative Study on Oil Tanker Design, de fevereiro de 1992: quanto maior a massa, maior o dano no casco. Por sua vez, a tonelage é, obviamente, proporcional ao volume do tanque de carga, e pode ser extrapolada uma relação entre R e VT.

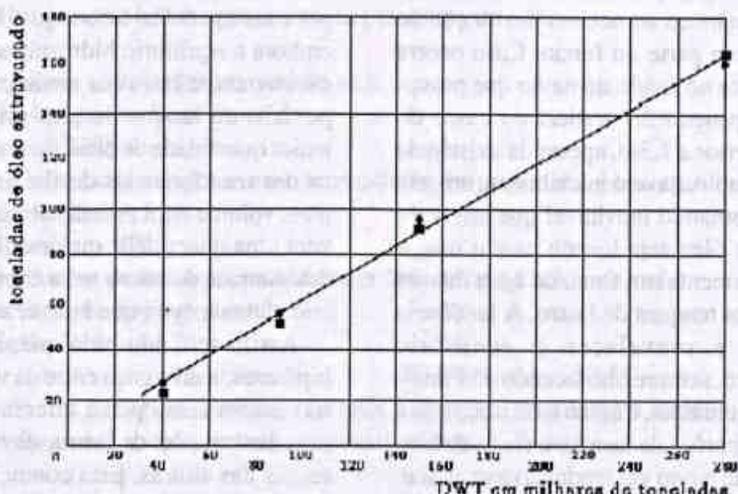
O volume do óleo extravasado vp é também considerado proporcional a VT e R. Sendo o propósito avaliar o volume de óleo extravasado em um encalhe, é desenvolvida uma relação direta entre a tonelage e o volume de óleo que vasa para o mar.

Segundo as tabelas conclusivas nos trabalhos "An Analysis of Expected Oil Outflow From Tankers In Collision And Grounding Using A Simplified Method", do Lloyd's Register e "A Simplified Method for Evaluation of the Expected Oil Outflow From Tankers in Collision and Grounding", do

Registro Italiano Navale, ambos apresentados no Report on IMO Comparative Study on Oil Tanker Design[1], cada tonelage e modelo de navio de casco duplo, no que diz respeito às repartições dos porões, porém obedecendo aos padrões de largura e altura dos tanques de lastro preconizados pela Marpol, apresenta uma determinada expectativa de vazamento de óleo.

Usando um "modelo médio" dos apresentados nos trabalhos citados no parágrafo anterior e agrupando os resultados calculados pelas duas entidades, chega-se a uma relação média entre o valor do DWT, em milhares de toneladas, e o óleo extravasado em toneladas. Este resultado é modelado pela função linear apresentada abaixo:
$$vp = 0,56 \times DWT + 4,33$$

O gráfico desta função está apresentado na Figura 14, onde são indicados os pontos correspondentes aos resultados dos cálculos dos vazamentos médios de óleo (toneladas) versus a tonelage (em milhares de toneladas) dos navios, considerando as informações advindas das duas entidades anteriormente citadas.



■ REG. ITALIANO NAV. ♦ LLOYD'S

Figura 14

Uma vez que os navios da Fronape, nas diferentes tonelagens existentes, apresentam uma altura do tanque de lastro inferior ao padrão da Marpol, há possibilidade de que o extravasamento de óleo seja superior à média representada pela função plotada na Figura 14.

Esses extravasamentos adicionais de óleo, considerando as demais dimensões dos navios invariáveis, poderá ser no máximo igual à diferença entre o volume dos porões de lastro existentes e o volume que teriam caso atendessem à altura padronizada, conforme já foi admitido acima e como mostram a Tabela VIII e a Figura 15.

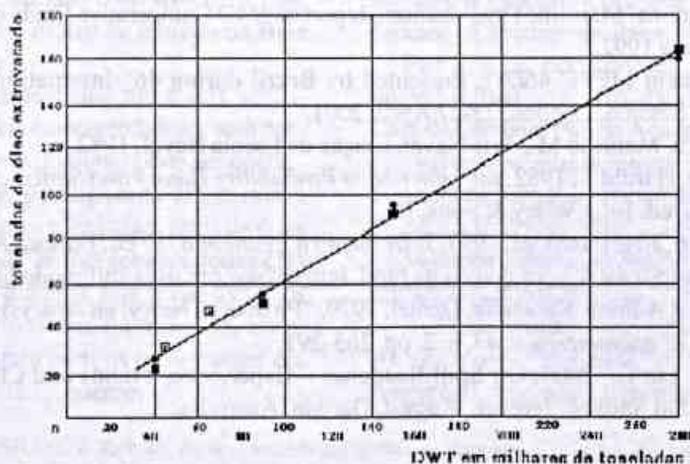
Possibilidade de extravasamento adicional dos navios da Fronape acima de navios de padrão Marpol.

DWT (ton)	H existente (m)	H padrão Marpol (m)	Óleo adicional extravasado (ton)
66.721	1,70	2	6
68.025	1,60	2	<u>8</u>
44.555	1,70	2	4
44.783	1,5	1,93	6

Tabela VIII

A Tabela VIII mostra numericamente que a diferença de óleo extravasado dos navios da Fronape, se comparados com os navios que obedecem à convenção da Marpol, é de no máximo 8 toneladas a mais de óleo.

A Figura 15 apresenta a plotagem dos vazamentos médios de óleo (toneladas) contra DWT (tonelagem em milhares de toneladas), mostrando a posição relativa que teriam os navios da Fronape, grupados nos valores próximos de 44.5/44,7 e de 66/68 mil toneladas.



■ REG. ITALIANO NAV. ● LLOYD'S ■ FRONAPE

Figura 15

Pode-se afirmar que a hipótese de acidente com terra está cada dia menos provável, tendo em vista a disponibilidade cada vez maior e mais barata de instrumentos de navegação por satélite (GPS), aumento de precisão e detalhamento das cartas náuticas, previsões meteorológicas mais rápidas e precisas, e maior histórico de acidentes, criando uma cultura específica dessa problemática.

6 - Conclusão Final

Em face do acima exposto, verifica-se que a utilização dos navios brasileiros de casco duplo, por um período de seis anos após 2015 (permitindo aos mesmos uma vida útil de pelo menos 25 anos), não acarretará um aumento da probabilidade de acidentes ecológicos, pois:

a. uma porcentagem muito pequena dos acidentes é causada por navios - 10,91% (Tabela I);

b. a rota que os navios brasileiros em estudo (Tabela IV) operam não é a que possui os maiores acidentes (Figura 4);

c. a Petrobras tem um baixo índice de acidentes. Foram quatro acidentes do tipo encalhe ou colisão com vazamento de óleo, em duas décadas, operando no mínimo 57, máximo 78 e média de 67,9 navios por ano (Tabela V), e os navios em estudo obedecem à regra mínima para tanque de lastro lateral;

d. os acidentes causados por choques de navios tiveram uma penetração no casco inferior a 1,5m (Figura 3). Assim sendo, os navios brasileiros atendem perfeitamente às normas de segurança;

e. são necessários 15 anos (em média) para que um navio "zere" o seu investimento e possibilite iniciar o acúmulo de capital. Serão necessários pelos menos outros dez anos para que se obtenha capital suficiente, para ser investido, e assim possibilitar a aquisição de um novo navio;

f. as medidas de segurança ora em vigor já vêm acarretando a diminuição de vazamento de óleo em acidentes ecológicos no mar ao longo dos anos (Figura 2).

BIBLIOGRAFIA

[1] International Maritime Organization, Report on IMO Comparative Study on Oil Tanker Dedig, February 1992.

[2] Document MEPC 46/2/1, presented by Brazil during 46^o International Maritime Organization Session, London, 23-27 April, 2001.

[3] Fonseca, Maurilio M., Arte Naval, Edição da Escola Naval, 1982.

[4] Larson, Harold J., 1982, *Introduction to Probability Theory and Statistical Inference*. Third Edition, ed. John Wiley & Sons, Inc.

[5] Rossetti, José Paschoal, 1997, *Introdução a Economia*. 17 ed. Editora Atlas, Brasil.

[6] Sites: <http://www.itopf.com/stats.html>, <http://www.nrc.uscg.mil/mode.html>.

[7] Tversky, Admos, Kaneman, Daniel, 1979, "Prospect Theory: an Analysis of Decision Under Risk", *Econometrica*, v. 47, n. 2, pp. 263-291.

[8] White, Ian C., 2000, Oil Spill Response – Experience, Trends and Challenges, 8th International Oil Spill conference, August, Darwin, Australia.

CLASSIFICAÇÃO PARA ÍNDICE REMISSIVO:

<PODER MARÍTIMO> / Navios-Tanques /; Vida útil ; Poluição;