

MARINHA DO BRASIL
CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE GRAÇA ARANHA
ESCOLA DE FORMAÇÃO DE OFICIAIS DA MARINHA MERCANTE

MARIANA MIRANDA DA HORA

NAVEGAÇÃO EM ÁGUAS RASAS E EFEITO SQUAT

RIO DE JANEIRO
2015

MARIANA MIRANDA DA HORA

NAVEGAÇÃO EM ÁGUAS RASAS E EFEITO SQUAT

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência para obtenção do título de Bacharel em Ciências Náuticas do Curso de Formação de Oficiais de Náutica da Marinha Mercante, ministrado pelo Centro de Instrução Almirante Graça Aranha.
Orientador: Prof. Renan dos Santos Silva

**RIO DE JANEIRO
2015**

MARIANA MIRANDA DA HORA

NAVEGAÇÃO EM ÁGUAS RASAS E EFEITO SQUAT

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência para obtenção do título de Bacharel em Ciências Náuticas do Curso de Formação de Oficiais de Náutica da Marinha Mercante, ministrado pelo Centro de Instrução Almirante Graça Aranha.

Data da Aprovação: ____/____/____

Orientador: Prof. Renan dos Santos Silva

Assinatura do Orientador

NOTA FINAL: _____

Dedico este trabalho aos meus pais pelo apoio incondicional em todas as fases da minha vida, possibilitando que eu conseguisse concluir o sonho que sempre almejei.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me ajudado a superar todas as dificuldades que surgiram durante essa árdua trajetória; ao meu pai Adalfredo e minha mãe Emília por terem me criado com muito amor, carinho e respeito, e terem sempre me incentivado a estudar; e agradeço especialmente meu namorado Daniel por ter batalhado ao meu lado para que esse sonho se tornasse realidade.

RESUMO

Este trabalho tem por finalidade mostrar a variação evolutiva dos efeitos e manobrabilidade da embarcação quando navegando em águas rasas, apresentar medidas preventivas que venham a evitar acidentes com elevados danos materiais e prejuízos a meio ambiente, bem como descrever o fenômeno de Efeito *Squat*. A importância desse assunto se dá em vista do aumento contínuo do porte e calados dos navios mercantes e da preocupação incessante dos armadores em manter a segurança da navegação. A seguir, foram listadas algumas ferramentas que possibilitam alcançar o objetivo principal da monografia.

Palavras-chave: águas rasas, manobrabilidade, *squat*, velocidade

ABSTRACT

This work aims to show the evolutionary change of the effects and maneuverability of the ship when navigating in shallow water, introduce preventive measures that can avoid accidents with extensive material damages and prejudice to the environment, and also describe the phenomenon of Squat Effect. The importance of this subject is because of the constant increasing the size and draft of merchant ships and because of the preoccupation which ship-owners have in keep the safety of navigation. Next, were listed some tools that allow reaching the main objective of the monograph.

Keywords: shallow water, maneuverability, squat, speed

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Desenvolvimento dos navios	11
Figura 2 – Zonas de pressão e efeito de banco	13
Figura 3 – Configuração de banco	14
Figura 4 – Registro de encalhe	15
Figura 5 – Passando Fase 1	15
Figura 6 – Passando Fase 2	16
Figura 7 – Passando Fase 3	17
Figura 8 – Ultrapassagem Fase 1	18
Figura 9 – Ultrapassagem Fase 2	18
Figura 10 – Ultrapassagem Fase 3	19
Figura 11 – Pressão sobre as pás do hélice	20
Figura 12 – Pressão lateral resultante	21
Figura 13 – Correntes do hélice	22
Figura 14 – Tabela de ação do propulsor no governo da embarcação	23
Figura 15 – Componentes do vento aparente	24
Figura 16 – Manobra de orçar	24
Figura 17 – Manobra de arribar	25
Figura 18 – Região de sombra	25
Figura 19 – Correntes de ressaca	27
Figura 20 – Curva de giro	28
Figura 21 – Propulsor de passo controlável	30
Figura 22 – Propulsor cicloidal	31
Figura 23 – Propulsores azimutais	31
Figura 24 – Hélices gêmeos	32
Figura 25 – Tubo <i>Kort</i>	33
Figura 26 – <i>Bow Thruster</i>	33
Figura 27 – Efeitos do Trim e <i>Squat</i>	36
Figura 28 – Seção a meio-navio	40
Figura 29 – Navio <i>Herald of Free Enterprise</i> encalhado	42
Figura 30 – Valor máximo de <i>Squat</i> , de acordo com a velocidade do navio em nós e valores típicos de C_B , para navegação em águas confinadas e irrestritas	43
Figura 31 – Tabela de coeficientes de bloco (C_B) para cada tipo de navio	44

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	NAVEGAÇÃO EM ÁGUAS RASAS	11
2.1	Sucção de banco	13
2.2	Interação navio/navio	15
2.3	Ultrapassagem	17
3	FATORES QUE INFLUENCIAM NA MANOBRABILIDADE	20
3.1	Pressão lateral das pás	20
3.2	Descarga na carena	21
3.3	Sucção no leme	22
3.4	Corrente de esteira	22
3.5	Efeitos do vento	23
3.6	Efeitos da corrente	26
3.6.1	Correntes de maré	26
3.6.2	Correntes de ressaca	27
3.7	Curva de giro	27
3.8	Efeitos dos ângulos de banda e compasso no governo do navio	28
4	TIPOS DE PROPULSORES APLICADOS NA NAVEGAÇÃO EM ÁGUAS RASAS	30
4.1	Hélices de passo controlável (CPP)	30
4.2	Propulsor Cicloidal	30
4.3	Propulsão Azimutal	31
4.4	Hélices Gêmeas	32
4.5	Tubo Kort	33
4.6	Tunnel Thrusters	33
5	EFEITO SQUAT	35
5.1	Fatores que influenciam o efeito Squat	35
5.2	Profundidade de influência	38
5.3	Largura de influência	39
5.4	Cálculo do valor do Squat	39
5.5	Acidentes causados pelo efeito Squat	41
5.6	Medidas preventivas	42

6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	45
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47

1 INTRODUÇÃO

A resistência de uma embarcação em uma certa velocidade é fortemente modificada quando a navegação se dá em águas rasas, ou seja, quando há restrição de profundidade. Há alterações no escoamento potencial junto ao casco, devido ao aumento da velocidade da água, quando comparada com o escoamento em águas profundas.

Maior velocidade leva à menor pressão estática e ao acréscimo de afundamento, de trim (inclinação longitudinal) e de resistência ao avanço do casco. Ocorre também uma variação sensível do trem das ondas gerado pela embarcação. Tais efeitos podem influenciar diretamente na manobrabilidade da embarcação.

Com o aumento, cada vez mais evidente, do porte dos navios e seus respectivos calados, e manutenção das dimensões de áreas portuárias e vias navegáveis interiores, o amplo conhecimento dos efeitos de águas rasas torna-se indispensável à segurança da navegação.

O trabalho apresentado tem por objetivo aprimorar os conhecimentos no que tange os efeitos sofridos por uma embarcação quando navegando em águas rasas, apresentar medidas preventivas que venham a evitar acidentes com elevados danos materiais e prejuízos a meio ambiente, e descrever o fenômeno de Efeito *Squat*.

No Capítulo 2, conheceremos os efeitos que um navio sofre ao navegar em águas rasas e suas causas, bem como a interação que pode ocorrer quando duas embarcações se cruzam ou realizam uma ultrapassagem em áreas restritas.

O Capítulo 3 apresenta um conjunto de fatores internos e externos à embarcação que podem influenciar juntos ou separadamente na sua manobrabilidade. Cada situação será única, mas a influência de cada fator poderá ser aproveitada nas manobras em águas limitadas para contrariar certas tendências de guinada do navio.

O capítulo 4 abordará os tipos de propulsores mais eficientes usados para compensar os efeitos de água rasa, a fim de facilitar as manobras de atracação e desatracação, uma vez que quanto menor o tempo de duração destas manobras, menores serão os custos operacionais.

Por fim, no Capítulo 5 explicaremos porque ocorre o Efeito *Squat*, os fatores que o influenciam, e os métodos de calculá-lo. É importante ressaltar que, devido à complexidade do assunto, especialistas não possuem a fórmula absoluta para o cálculo do valor do *Squat*. Entretanto, através de seus resultados, obteremos uma razoável aproximação do comportamento do navio.

2 NAVEGAÇÃO EM ÁGUAS RASAS

Uma série de fatores influencia no governo de uma embarcação. Atualmente, com o aumento considerável do porte dos navios, a relação entre profundidade e calado sofreu grande alteração, pois os navios passaram a ter suas quilhas mais próximas do fundo, modificando consideravelmente as condições de manobra.

Na imagem abaixo, é possível analisar as mudanças no porte e características dos navios mercantes ao longo do tempo.

Figura 1 – Desenvolvimento dos navios

Aumento do Porte e Dimensões dos Navios					
GERAÇÃO	Tipo	Comprimento	Calado	TEU*	Velocidade (nós)
PRIMEIRA Geração (1956-1970) 	Navio Cargueiro Convertido	135,0m	9,0m	500	10/12
	Navio Tanque Convertido	200,0m	9,0m	800	10/12
SEGUNDA Geração (1970-1980) 	Navio Container Celular	215,0m	10,0m	1.000/ 1.200	12/18
TERCEIRA Geração (1980-1988) 	Classe Panamax	250,0m	11,0m	3.000	18
		290,0m	12,0m	4.000	22
QUARTA Geração (1988-2000) 	Post Panamax	275,0m 305,0m	11,0m 13,0m	4.000 5.000	22/26
QUINTA e SEXTA Gerações (2000-2011) 	Post Panamax Plus	335,0m 365,0m	14,0m 15,0m	6.000 12.000	28 (+)
	Super Porta-Contêiner (Emma Maersk)	397,0m	15,5m	14.500	15,5/14,4

* TEU: Twenty feet Empty Unit

Fonte: Seminário Portuário Anual Latino Americano – 27NOV2012

Águas rasas para uma embarcação é quando a folga entre a quilha e o fundo do mar é inferior à metade do seu calado e, navegando nesta situação, o navio obedece mais lentamente ao leme e hélice.

De modo geral, o efeito das águas rasas é aumentar a resistência longitudinal à propulsão. Isso ocorre devido à restrição do espaço abaixo do casco para a passagem dos filetes líquidos que circundam a carena; a pressão da água torna-se maior e as ondas que se formam na superfície, na proa e na popa aumentam. Há, portanto, perda da potência de propulsão em decorrência da formação de ondas. A água escassa sobre a quilha e, conseqüentemente, no hélice também causa uma redução de velocidade e governo.

Se um cais tiver píeres altos, as ondas formadas por um navio em grande velocidade têm seus efeitos agravados, podendo avariar outros navios, embarcações e instalações portuárias junto às margens.

Uma característica interessante, comprovada em experiências com modelos em tanques de provas, é que um navio em movimento tem um calado ligeiramente maior do que quando parado em águas tranquilas. A causa disto é a elevação e depressão da água em torno da carena, em virtude das formas da proa e popa.

Nas velocidades moderadas, o aumento de calado é igual na proa e na popa, contudo, em velocidades maiores, a proa começa a levantar e a popa continua a descer ligeiramente, estabelecendo-se uma diferença de calado. É possível observar esse fenômeno em lanchas a altas velocidades. Este trim pela popa torna-se maior quando o navio está navegando em águas rasas, porque, como citado antes, há maior formação de ondas na proa e popa da embarcação.

Por estes fatores, um navio pode tocar no fundo e vir a encalhar, ainda que seu calado em águas tranquilas seja menor que a profundidade do canal. É necessário, portanto, reduzir a velocidade quando navegando em águas rasas.

A experiência mostra que, quando a lazeira em relação ao fundo não é maior que 10% do calado do navio, há um aumento de calado em pés igual à cerca de 22,8% da velocidade do navio em nós. Por exemplo, um navio com calado de 30 pés tocará no fundo de 33 pés de profundidade quando atingir a velocidade de 14 nós.

Pelos motivos acima expostos é recomendada a velocidade de 5 nós para a navegação em canais rasos e estreitos. Outro efeito decorrente das águas rasas é que a velocidade angular de evolução é menor, ou seja, o navio responde lentamente às guinadas.

Quando um navio de grande calado se aproxima de um porto e encontra águas pouco profundas, sua manobrabilidade será afetada de forma considerável por duas razões principais:

- I. O aumento da resistência das águas provoca uma redução no deslocamento avante;

II. As rotações da máquina são aumentadas pela redução da densidade, com conseqüente diminuição da ação do leme.

2.1 Sucção de banco

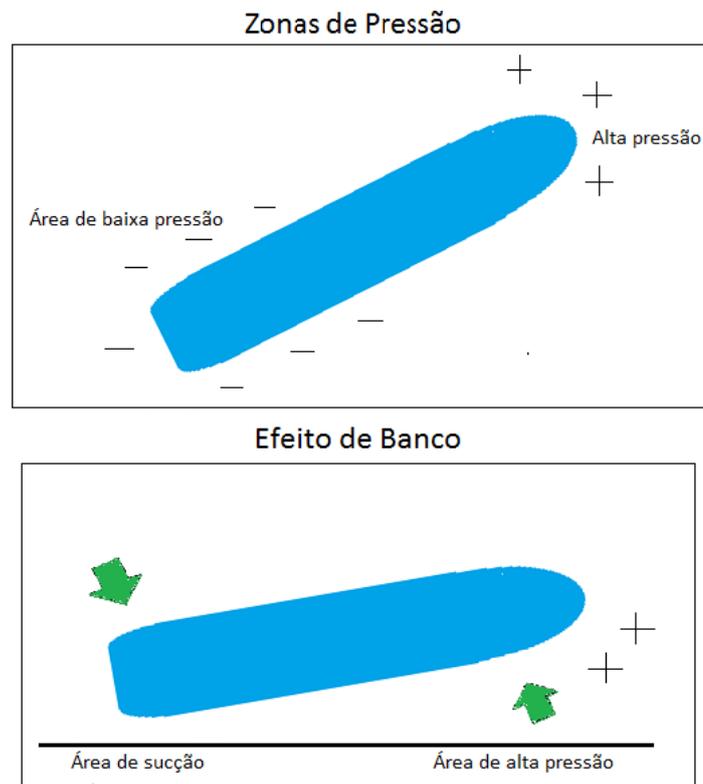
Quando o navio está navegando, uma área de pressão positiva surge avante do ponto *pivot* (centro de rotação do navio), enquanto que a ré surge uma área de baixa pressão.

Se o navio passa perto de uma obstrução vertical, como uma área rasa ou um banco em um canal, ocorre uma restrição e o navio será então influenciado pelas forças resultantes que se formam, ou seja, a pressão positiva na proa e a negativa na popa.

Como resultando dessas duas forças, a popa é sugada na direção do banco ou margem e é muito difícil quebrar esta tendência; é necessário usar o leme e a potência do motor, às vezes fortemente, para controlar a proa do navio.

Neste caso, a velocidade excessiva deve ser evitada, pois é um fator crucial para reduzir o efeito de banco, uma vez que a magnitude das forças atuantes varia de acordo com o quadrado da velocidade ou do fluxo de água.

Figura 2 – Zonas de pressão e efeito de banco



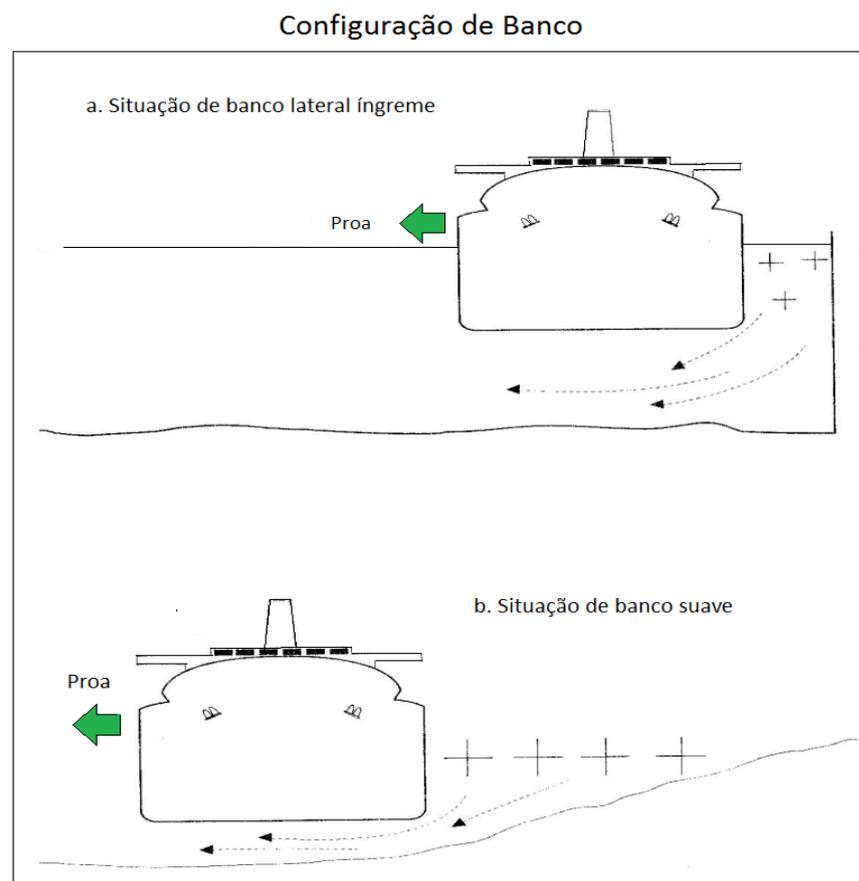
Fonte: Desenho de autoria própria

É errôneo pensar que o efeito sucção de banco ocorre somente em canais e rios com margens altas. Para um navio navegando em águas rasas com margens de lama ou areia, como um estuário, e em área de rio de pouco declive, o efeito pode ser muito violento. Há relatos de acidentes de encalhes e colisões nestas áreas devido à drástica perda de governo do navio.

Neste caso, o Comandante deve reduzir imediatamente a rotação do hélice, parar a máquina ou usar grandes ângulos de leme, dando uma paletada com a máquina a vante, a fim de recuperar o controle do navio. Essas são orientações de caráter geral, porém muitos eventos são ditados pelas circunstâncias.

O somatório de forças originadas pela situação de águas rasas, efeito de banco, velocidade alta e trim avante pode gerar graves acidentes.

Figura 3 – Configuração de banco



Fonte: CRENSHAW, R. S. Jr. Naval Ship Handling.

Na figura seguinte, podemos analisar o registro de encalhe do navio ALGONTARIO, apontando a sucção de banco e o efeito *squat* como uma das possíveis causas.

Figura 4 – Registro de encalhe

GROUNDING ALGONTARIO BULK CARRIER CANADA 18883 CANADA	05/04/1999	While upbound in St. Mary's River and altering course into Middle Neebish Channel, the vessel overshot the turn and grounded in the adjacent shallower channel. Extensive damage to bottom plating.	Turn orders given too late. Squat and bank suction - retarded the initial rate of turn. Speed not reduced sufficiently to account for lower than usual water levels.
--	------------	--	--

Fonte: <http://www.popa.com.br/docs/tecnicas/SQUAT/squat.htm>

2.2 Interação navio/navio

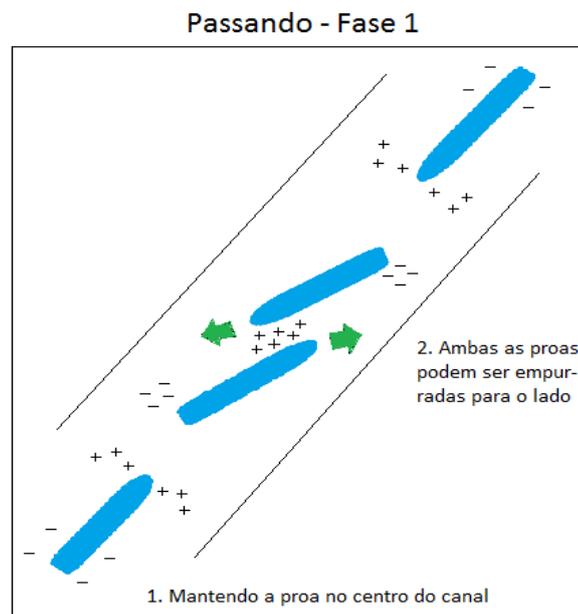
Extremo cuidado deve ser tomado quando se cruza com outro navio num canal ou em uma ultrapassagem. Para se evitar situações de risco, é aconselhável reduzir a máquina quando se estiver a cerca de trinta comprimentos do outro navio; a distância de cruzamento entre os navios não deve nunca ser inferior à boca do maior navio.

O essencial é estar a par de todas as forças que atuam nessa situação. Para facilitar o entendimento, as manobras serão ilustradas em três fases:

Fase 1- Passando

Se o navio ficar muito perto da margem ou banco, ele pode sofrer o efeito de banco e ser jogado na direção do outro navio, com graves consequências. Quando as duas proas se aproximam, as zonas de pressão entre elas crescem e encorajam as respectivas proas a se afastarem uma da outra. O leme deve ser usado para evitar a guinada.

Figura 5 – Passando Fase 1



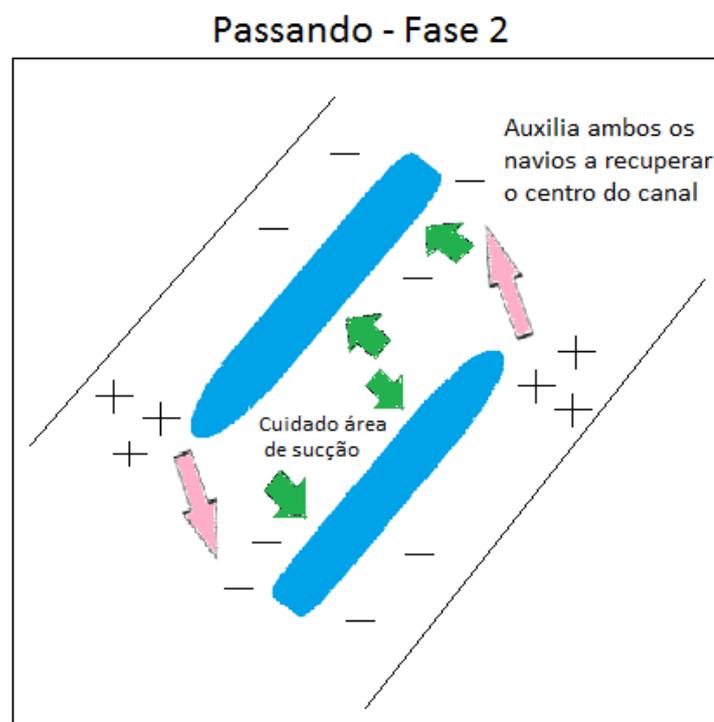
Fonte: Desenho de autoria própria

Fase 2

Quando os navios estão com os traveses próximos um do outro, uma combinação da área de baixa pressão com área de sucção existe entre eles. Se estiverem muito próximos, há possibilidade de serem sugados um pelo outro e causarem colisão.

Neste estágio, a proa de cada um começa a sentir a área de baixa pressão a ré do outro; é usual que eles guinem em direção ao outro e é oportuno que tentem voltar para o centro do canal.

Figura 6 – Passando Fase 2



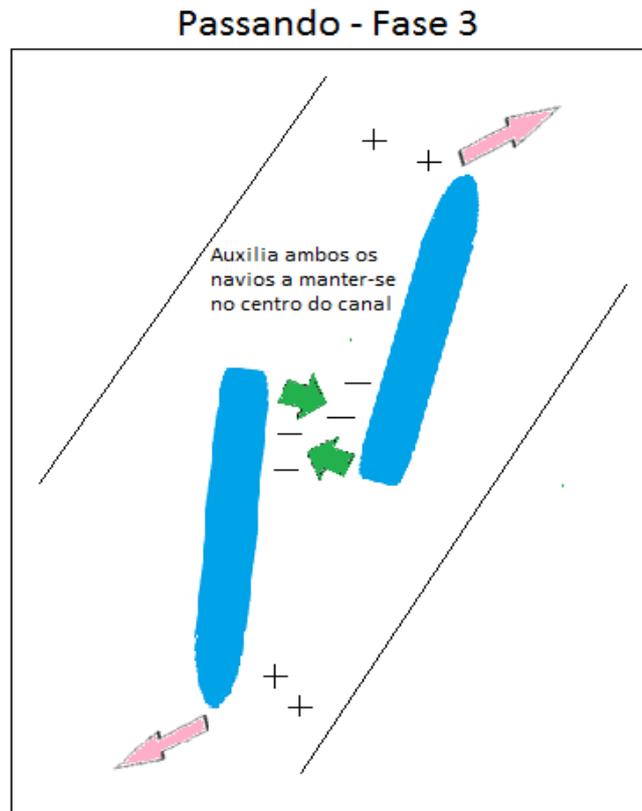
Fonte: Desenho de autoria própria

Fase 3

Tendo guinado para o centro do canal, passa a ocorrer o oposto: quando as duas popas passam uma pela outra, elas são atraídas pela zona de baixa pressão e a tendência é realinhá-las com a direção do canal.

Estes efeitos, ainda que sejam pouco notáveis, visto que os navios passam rapidamente por esta zona de baixa pressão, devem ser sempre previstos e usados corretamente para obter vantagem. O leme também deve ser usado para as correções, quando necessário.

Figura 7 – Passando Fase 3



Fonte: Desenho de autoria própria

2.3 Ultrapassagem

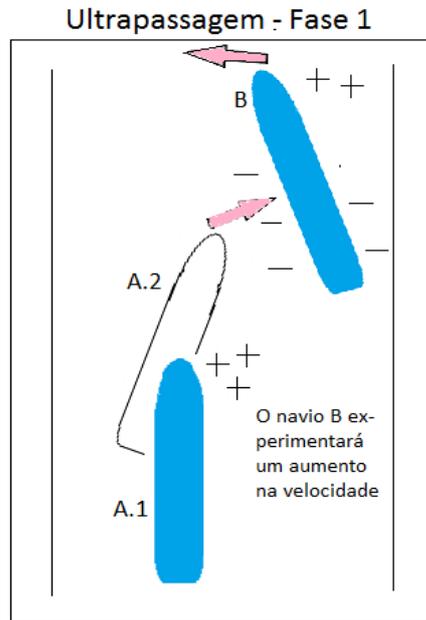
Fase 1

O navio sendo ultrapassado não deve efetuar nenhuma manobra sem antes considerar o efeito de banco e o perigo de atravessar no canal e atrapalhar o alcançador. Isto se aplica mais aos pequenos navios que são facilmente influenciados pelos maiores.

O navio A sente também a área de baixa pressão a ré de B e tem a tendência de guinar em direção ao outro navio (B).

Estas são forças poderosas que podem exigir todo leme e muita potência para contrabalançar o seu efeito.

Figura 8 – Ultrapassagem Fase 1



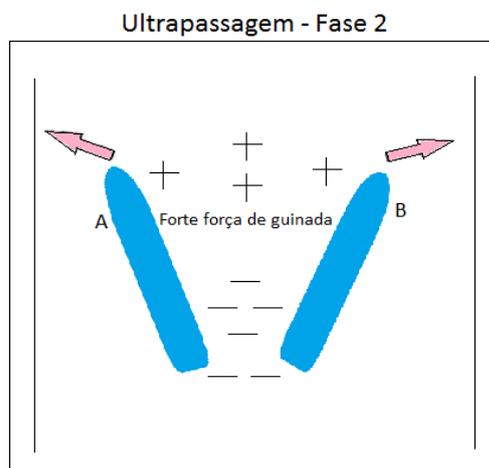
Fonte: Desenho de autoria própria

Fase 2

Na fase 2, com os navios pelo través, uma poderosa zona de pressão existe entre as proas, enquanto que uma área de baixa pressão ocorre entre as popas. Estas forças resultam em um afastamento entre as proas. São forças poderosas e medidas corretivas rigorosas podem ser necessárias.

Adicionalmente às forças de guinadas, há também uma sucção submersa entre os dois navios, aproximando-os ainda mais.

Figura 9 – Ultrapassagem Fase 2



Fonte: Desenho de autoria própria

Fase 3

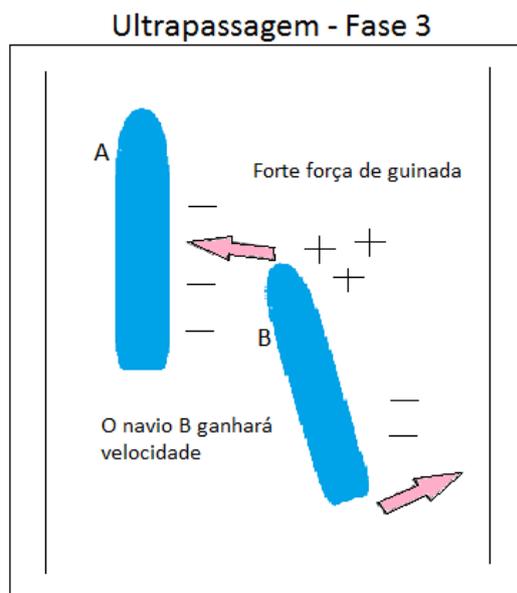
Na fase 3, após a ultrapassagem, o navio B pode ser influenciado por duas forças poderosas:

1. O efeito de banco próximo à margem;
2. A área de baixa pressão do alcançador.

Essa combinação causa uma guinada forte e requer uma ampla ação corretiva.

O leme do navio A pode se afetar com a pressão positiva, quando passa pela zona de pressão em torno de B, particularmente se for um navio grande. Isto pode fazer com que o navio A gire para cima do alcançado (B). O navio B, por sua vez, pode ter a velocidade aumentada ao ser atingido pela área de sucção de A.

Figura 10 – Ultrapassagem Fase 3



Fonte: Desenho de autoria própria

3 FATORES QUE INFLUENCIAM NA MANOBRABILIDADE

Dentro de uma gama de fatores que podem influenciar juntos ou separadamente a manobrabilidade de uma embarcação, alguns são de origem externa ao navio, tais como vento, condições climáticas, altura das ondas, corrente de maré e corrente de ressaca; e outros são de origem interna, tais como hélices gêmeos, propulsores laterais (*Thrusters*), propulsores azimutais e cicloidais, controle da máquina no passadiço com sistema de hélice de passo controlável, hélice de passo fixo direito (sentido horário) e esquerdo (sentido anti-horário).

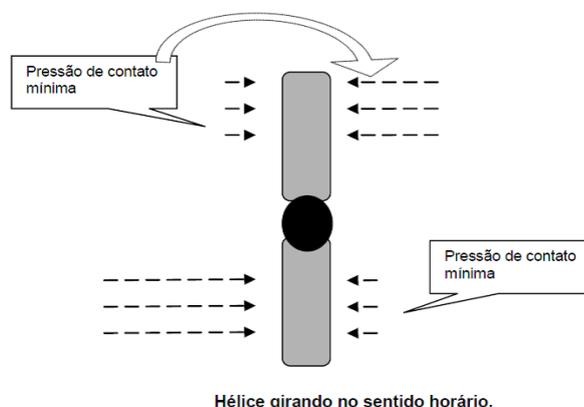
Os navios com hélice de passo fixo, por exemplo, possuem manobrabilidade restrita e estão submetidos a diversas forças que afetam seu governo durante as manobras. Tais forças serão apresentadas abaixo.

3.1 Pressão lateral das pás

Estando um hélice mergulhado na água e parado, as pressões se anulam de um lado e do outro, sendo as pressões no fundo maiores que as pressões mais próximas da superfície.

Se girarmos o hélice no sentido horário, as pás de cima irão para boreste e as pás de baixo, para bombordo. No alto, a pressão ficará menor a bombordo e maior a boreste, pois é deste lado que o hélice irá pressionar a água; enquanto isso, em baixo, ocorrerá exatamente o contrário: a pressão alta ocorrerá por bombordo e a pressão baixa, por boreste (bordo em que o contato com a água tende a diminuir). Visualize a situação na figura abaixo.

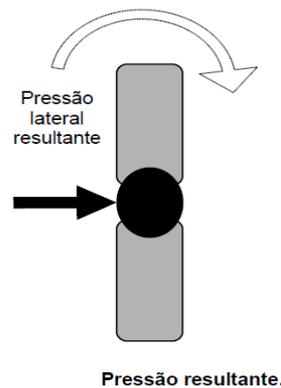
Figura 11 – Pressão sobre as pás do hélice



Fonte: MARINHA DO BRASIL, DIRETORIA DE PORTOS E COSTAS, ENSINO PROFFISIONAL MARÍTIMO, Manobra de Embarcações.

Decorre que, agora, as pressões não mais se anulam de um lado e do outro. Surgirão pressões resultantes em cima e em baixo. O surgimento dessas pressões resultantes implica que o hélice está sendo mais empurrado para boreste do que para bombordo, uma vez que a pressão resultante no fundo é maior do que a pressão resultante na superfície. Isso fará com que o hélice ganhe um movimento lateral para boreste ao girar.

Figura 12 – Pressão lateral resultante



Fonte: MARINHA DO BRASIL, DIRETORIA DE PORTOS E COSTAS, ENSINO PROFFISIONAL MARÍTIMO, Manobra de Embarcações.

Podemos concluir que um hélice que gire no sentido horário será empurrado lateralmente para boreste. Se girar no sentido anti-horário, será empurrado para bombordo. O leme deve ser usado a fim de compensar esses efeitos.

3.2 Descarga na carena

O acúmulo de água desigual em torno da carena, quando em máquinas atrás, pode provocar o deslocamento da popa para um dos dois bordos. Em navios de dois hélices que trabalhem com máquinas atrás com o mesmo número de rotações para ré, as pressões geradas dos dois lados da carena se anulam. Em qualquer situação diferente disso, haverá uma tendência para boreste ou bombordo, conforme o caso.

No entanto, quando o navio tem um só eixo, a descarga do propulsor na carena, com máquina atrás, atinge a popa da embarcação pelos dois lados. Sendo assim, o giro do hélice com máquina a ré vai empurrar a carena para um dos bordos, conforme o sentido de rotação.

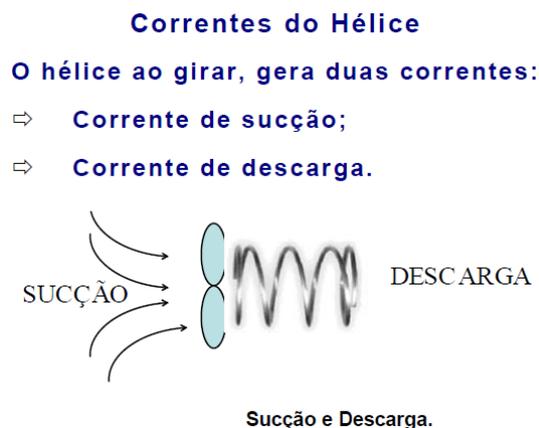
Se, com máquina atrás, o hélice gira no sentido horário, a popa é jogada para boreste e a proa, para bombordo. Se, com máquina atrás, o hélice gira no sentido anti-horário, a carena (na popa) é empurrada para bombordo, enquanto a proa segue para boreste.

O efeito que a descarga na carena provoca no governo da embarcação depende de máquina atrás, do bordo de incidência na carena, para embarcação de dois eixos, e do sentido de rotação, para embarcações de um eixo.

3.3 Sucção no leme

Com máquina atrás, a descarga do hélice é lançada para vante, enquanto atrás dela ocorre sucção. Pelo fato de situar-se a ré do hélice, o leme sofrerá esse efeito de sucção quando a máquina estiver em regime de máquina atrás.

Figura 13 – Correntes do hélice



Fonte: MARINHA DO BRASIL, DIRETORIA DE PORTOS E COSTAS, ENSINO PROFFISIONAL MARÍTIMO, Manobra de Embarcações.

O efeito de sucção no leme só ocorre com máquina atrás e leme carregado, e é o único ocasionado por uma pressão baixa.

3.4 Corrente de esteira

À medida que a embarcação se desloca, vai abrindo caminho na água. O fluido rapidamente se recompõe para desfazer o rastro deixado pela embarcação. A esse movimento da água no plano horizontal para desfazer o rastro do navio, denominamos corrente de esteira.

Em marcha a vante, a corrente de esteira neutraliza a pressão lateral das pás. Em marcha a ré, porém, não tem efeito.

Como são várias as forças que podem atuar na embarcação, interferindo na manobra, fica claro que o resultado final é imprevisível, se não houver uma análise caso a caso. Entretanto, de um modo geral, existem algumas forças que são notadamente mais eficientes para manobrar o navio, enquanto outras são reconhecidamente fracas. A tabela abaixo mostra o efeito destas forças no governo da embarcação.

Figura 14 – Tabela de ação do propulsor no governo da embarcação

TABELA		
RESUMO DOS EFEITOS DO PROPULSOR NO GOVERNO DOS NAVIOS DE UM SÓ HÉLICE (DE PASSO DIREITO)		
AÇÃO DO PROPULSOR	EFEITO NO GOVERNO	
	Marcha AV	Marcha AR
Corrente de sucção do hélice	não tem efeito	não tem efeito, com o leme a meio; aumenta a ação do leme, se ele tem ângulo
Corrente de descarga do hélice	a popa tende a cair para BB, com o leme a meio; aumenta a ação do leme, se ele tem ângulo	a popa tende a cair para BB
Pressão lateral das pás (só tem efeito sensível no início do movimento, ou se as pás no alto ficam emersas)	a popa tende a cair para BE	a popa tende a cair para BB
Corrente da esteira	neutraliza a pressão lateral das pás; reduz a ação do leme	não tem efeito

Fonte: FONSECA, MAURÍLIO M. Arte Naval.

3.5 Efeitos do vento

A resistência aerodinâmica está diretamente relacionada com a superfície vélica da embarcação, isto é, toda a estrutura da embarcação que fica emersa (obras mortas). Assim sendo, podemos observar que embarcações que tenham superestrutura e/ou borda livre com grandes áreas apresentarão maior resistência aerodinâmica.

A resistência aerodinâmica terá dois componentes:

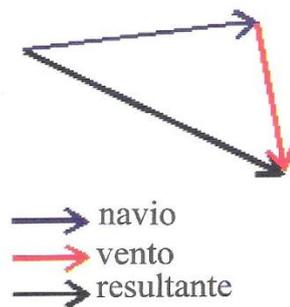
- I. Deslocamento do ar produzido pelo movimento da embarcação: consiste no efeito da resistência do ar em oposição à velocidade da embarcação, que será

tanto maior quanto maior for a velocidade e a superfície vélica desta embarcação;

- II. Vento real: consiste no deslocamento de ar produzido por fenômenos meteorológicos, incidindo na superfície vélica da embarcação.

O somatório desses dois efeitos denomina-se vento aparente, cuja intensidade obtém-se através do anemômetro, equipamento portátil ou instalado a bordo de embarcações.

Figura 15 – Componentes do vento aparente



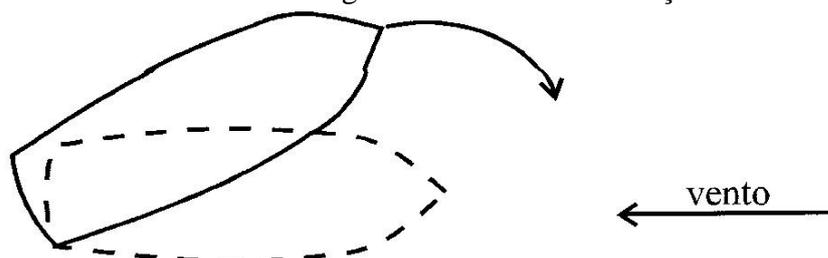
Fonte: DPC, ENSINO PROFISSIONAL MARÍTIMO. Manobra da Embarcação. 1996.

A ação do vento torna-se mais sensível com o navio parado, em marcha vagarosa ou quando estiver em máquina a ré. Contudo, sua influência pode ser aproveitada nas manobras em águas limitadas para contrariar certas tendências de guinada que alguns navios têm, principalmente, os de só um hélice.

De maneira geral, podemos executar duas manobras básicas em relação ao vento, com a finalidade de utilizar a resistência aerodinâmica para auxiliar no governo da embarcação:

- I. Orçar: manobrar de forma a colocar a proa na linha do vento, ou navegar com a proa mais próxima da linha do vento. Com esta manobra, pode-se quebrar o seguimento a vante da embarcação, reduzir a velocidade de aproximação e outras formas de auxílio em manobras específicas de atracação e fundeio.

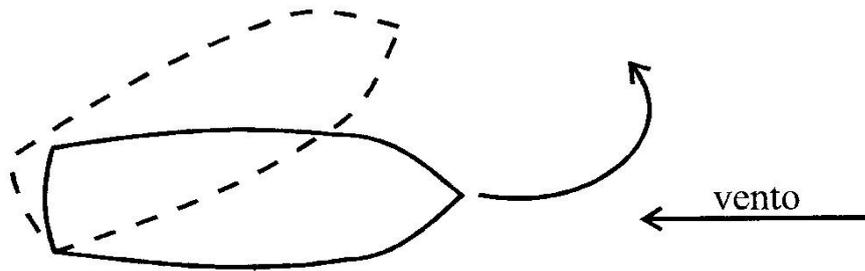
Figura 16 – Manobra de orçar



Fonte: DPC, ENSINO PROFISSIONAL MARÍTIMO. Manobra da Embarcação. 1996.

- II. Arribar: manobrar de forma a afastar a proa da linha do vento. Com esta manobra, pode-se alterar a ação do vento em relação à embarcação a fim de diminuir a resistência aerodinâmica, ou mesmo aumentar a ação evolutiva da embarcação utilizando a força do vento.

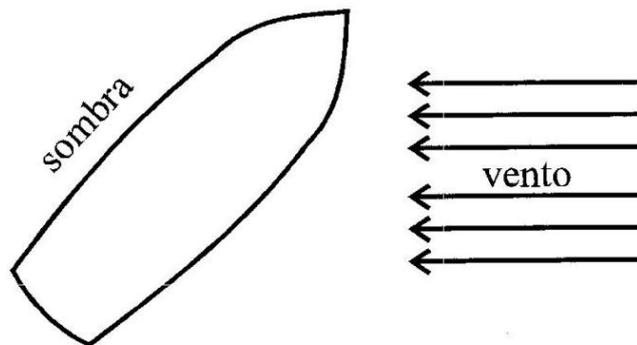
Figura 17 – Manobra de arribar



Fonte: DPC, ENSINO PROFISSIONAL MARÍTIMO. Manobra da Embarcação. 1996.

Ao realizar uma manobra de arribar, produz-se a sotavento (bordo pelo qual o vento sai) uma região de sombra, isto é, uma região de calmaria, que facilita o embarque de pessoas e cargas.

Figura 18 – Região de sombra



Fonte: DPC, ENSINO PROFISSIONAL MARÍTIMO. Manobra da Embarcação. 1996.

O vento, porém, poderá deformar a curva de giro, e esta deformação depende da força e direção do vento em relação ao rumo inicial do navio. A formação de ondas pela proa, por ocasião da ação do vento, também fará com que a cada caturro o hélice saia da água com rotações adicionais, trazendo perigos para o motor e conseqüente quebra do eixo.

3.6 Efeitos da corrente

A ação da corrente na carena de um navio pode ser representada por uma força que o faz mover no mesmo sentido que ela corre. Por exemplo, quando um navio evolui, a corrente deforma a curva de giro, alongando-a na direção em que a água corre, às vezes levando o navio bem longe da posição em que a guinada começou.

Alguns portos possuem pontos semafóricos onde se encontram os dados relativos às correntes e aos ventos reinantes. A água correndo ao longo das margens, nas boias ou em outras instalações portuárias, e a direção dos navios já fundeados, podem indicar a direção geral e, até mesmo, a velocidade aproximada da corrente.

Tal como os ventos, as correntes devem ser reaproveitadas para ajudar, ao invés de contrariar, a manobra desejada. Entretanto, é preciso levar sempre em conta que a distância de parada em águas rasas é superior à em alto-mar.

3.6.1 Correntes de maré

As correntes de maré também deverão ser levadas em conta na navegação em águas restritas, quando não se pode permitir que o navio afaste-se da derrota prevista. O conhecimento antecipado da direção e velocidade desta corrente facilitará o planejamento, não só da derrota, como também das manobras de atracação e desatracação e dos horários mais convenientes às manobras.

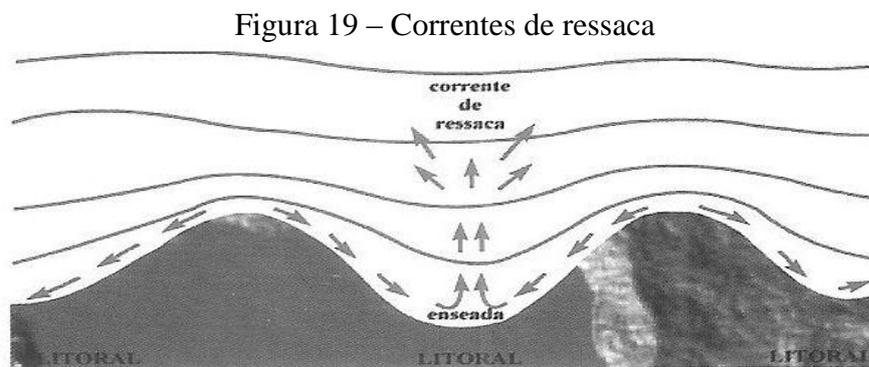
As correntes produzidas pela maré, de especial interesse dos navegantes em baías, enseadas e proximidades dos portos, são influenciadas pela geografia da região, resultando em um comportamento diferenciado da sua direção e velocidade ao longo do canal de acesso ao porto e nos demais pontos da baía ou enseada.

Isto significa que a corrente de maré observada em diversas embarcações vai depender da posição geográfica de cada embarcação, ou seja, se a embarcação está na entrada, no meio ou no fundo da baía ou enseada, ou mais próxima da costa ou à esquerda do canal ou bem à direita do canal, etc. Entende-se por características geográficas aspectos tais como: se a baía é rasa ou funda, se a entrada é estreita ou larga, se o canal de acesso é longo ou sinuoso, se existe pontas salientes e ilhas no interior da baía, etc. Em suma, aspectos que influenciam a circulação das águas durante a ocorrência das marés, tanto nas marés de enchente quanto nas marés de vazante.

A direção e a velocidade provável das correntes podem ser encontradas nas tábuas de marés, cartas de correntes de maré ou em cartas náuticas. Entretanto, tanto as correntes oceânicas, como as correntes nos portos e estreitos, resultantes da ação das marés, podem ser influenciadas pelo clima ou pelos ventos. É necessário, portanto, a verificação destes dados numa manobra de atracação e desatracação.

3.6.2 Correntes de ressaca

Outro aspecto a ser considerado na navegação costeira, bem próxima da costa, é o efeito de uma frente de ondas incidindo sobre o litoral. Esta incidência da frente de onda poderá resultar em onda de ressaca e corrente de ressaca. A onda de ressaca depende da configuração das isóbaras enquanto que a corrente de ressaca depende do acúmulo de massa d'água junto ao litoral e sempre flui na direção do alto-mar, influenciando a embarcação na estreita faixa marítima de sua atuação, com afastamento da costa.



Fonte: LOBO, PAULO ROBERTO VALGAS e SOARES, CARLOS ALBERTO.
Meteorologia e Oceanografia Usuário Navegante.

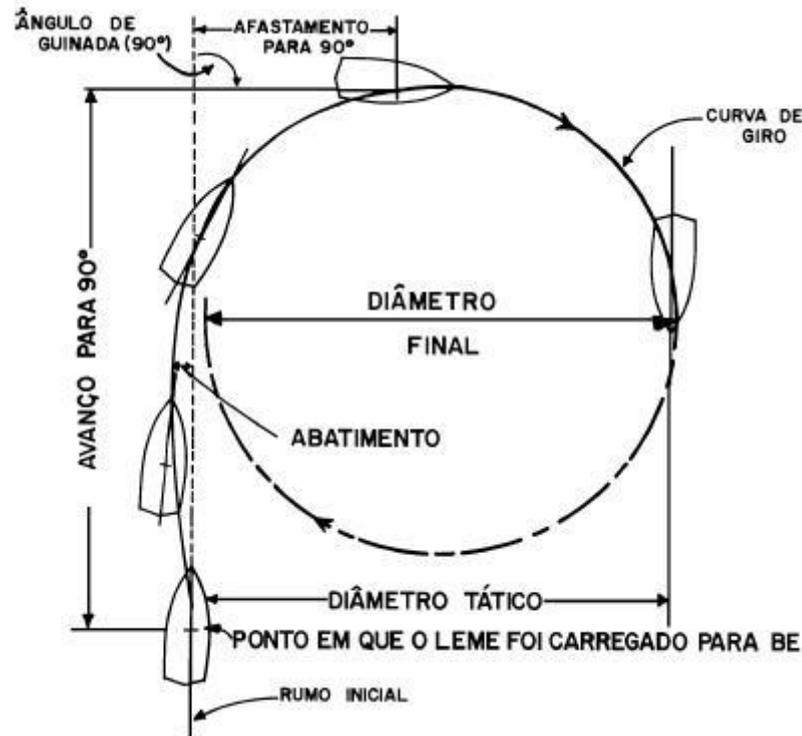
Quando uma frente de onda incide sobre o litoral, ocasiona um acúmulo de massa d'água e, conseqüentemente, uma corrente ao longo da costa. Se a linha da costa corresponde a uma enseada ou baía, essas correntes podem ser convergentes e resultarem em outra corrente de saída ou refluxo, denominada ressaca.

3.8 Curva de giro

Efeito provocado ao se guinar (mudar a direção), por meio do leme. O navio tende a manter a sua trajetória retilínea anterior, assumindo uma trajetória em espiral. Mais ainda,

tende a andar “de lado” para o bordo oposto ao da guinada, isto é, sofrer um abatimento, aumentando virtualmente o tamanho de sua boca. Esta situação é especialmente crítica quando o canal é estreito. E quanto menor a velocidade do navio, mais lentamente ocorrerá a mudança de rumo.

Figura 20 – Curva de giro



Fonte: MIGUENS, ALTINEU PIRES. Navegação: a ciência e a arte. Volume I.

3.8 Efeitos dos ângulos de banda e compasso no governo do navio

Quando um navio navega adernado, seu plano de simetria fica modificado e os filetes chegam ao leme com diferentes ângulos.

Ao haver maior volume submerso na parte inclinada, haverá maior resistência ao seguimento desta. O navio tenderá então a guinar a proa para o bordo adernado. Esta tendência é corrigida com a manutenção do leme a compensar para o bordo oposto.

A existência de um ângulo de leme permanente durante o deslocamento na situação acima acarretará perda de velocidade e conseqüente consumo extra de combustível.

O compasso pela popa influi no governo do navio, pois, ao estar derrabado, o navio manobrará muito bem em marcha a vante. Contudo, ao apresentar compasso pela proa, o governo da embarcação será prejudicado. Nestas condições, o leme terá seu efeito reduzido, uma vez que a superfície de porta submersa é menor, e o hélice trabalhará em meio menos denso, de maneira que o efeito da corrente de descarga e a pressão lateral das pás sejam alterados.

Em alguns portos, os Práticos se recusam a manobrar um navio que tenha trim pela proa, solicitando até, em algumas ocasiões, um pequeno trim pela popa, a fim de melhorar o governo da embarcação.

4 TIPOS DE PROPULSORES APLICADOS NA NAVEGAÇÃO EM ÁGUAS RASAS

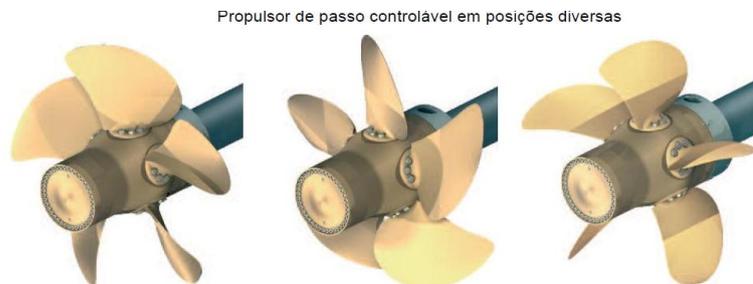
Os navios dotados de propulsores mais modernos e sofisticados podem compensar mais facilmente essas forças, ao contrário das embarcações de apenas um hélice de passo fixo. Atualmente, os armadores dotam seus navios com todos os avanços para facilitar as manobras de atracação e desatracação, pois quanto menor o tempo de duração destas manobras, menores serão os custos operacionais.

Citaremos as vantagens da utilização de cada propulsor durante as manobras.

4.1 Hélices de passo controlável (CPP)

Constituem um sistema de propulsão marítima projetado para dar maior eficiência de propulsão em uma ampla faixa de velocidade e condições de carga. Através desse mecanismo é possível controlar o ângulo das pás sem o uso de caixas inversoras, proporcionando um tempo de resposta mais rápido e economia de combustível.

Figura 21 – Propulsor de passo controlável



Fonte: <http://articles.maritimepropulsion.com>

4.2 Propulsor Cicloidal

O propulsor cicloidal é um exemplo de propulsor de sucesso e muito solicitado em embarcações rebocadoras, pois dispensa o leme, além de proporcionar imediata resposta ao comando. Sua rapidez na transição de direção e intensidade de empuxo permite, inclusive, que a embarcação anule o efeito de ondas, tornando-se absolutamente estável.

O sistema de propulsão cicloidal é composto por um conjunto de lâminas verticais móveis instaladas em um disco rotativo paralelo ao fundo do navio. O disco gira em

velocidade baixa e constante, produzindo uma força de intensidade e sentido controlados através do ângulo (passo) de cada uma das lâminas. O conceito é semelhante ao do hélice de passo controlável, porém com a diferença de que o posicionamento das pás é transversal à força exercida. As lâminas são semelhantes a um hidrofólio e, através do passo controlável, geram uma força de sustentação para qualquer direção em 360°.

Figura 22 – Propulsor cicloidal



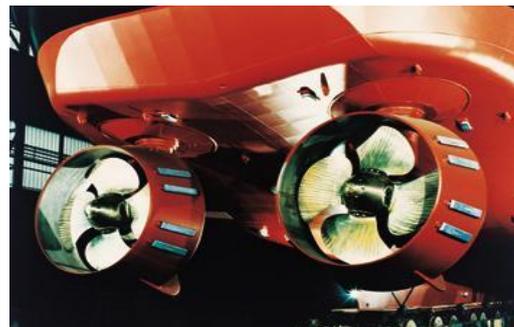
Fonte: <http://articles.maritimepropulsion.com>

4.3 Propulsão Azimutal

Seu princípio é a substituição do hélice com eixo fixo, que produz sempre uma força na direção longitudinal, por um propulsor que pode mudar o sentido de sua corrente de descarga, dirigindo sua força para qualquer ponto do azimute da embarcação.

Contido em um *pod* submerso fora do casco do navio, pode girar em torno de seu eixo vertical, de maneira a gerar livre propulsão para qualquer direção. O navio não necessita, portanto, de lemes.

Figura 23 – Propulsores azimutais



Fonte: <http://www.oceanica.ufrj.br>

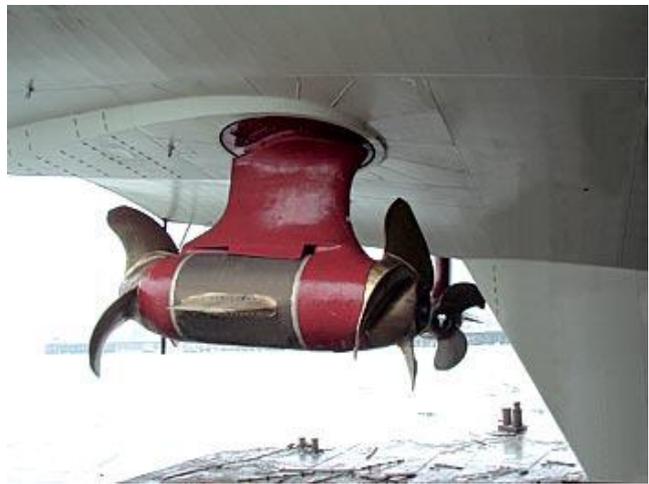
Com a propulsão azimutal, a manobrabilidade é excelente, há rápida resposta ao comando e economia de espaço no interior do casco dos navios, permitindo maior liberdade para o projeto do navio.

4.4 Hélices Gêmeos

É equipado com dois hélices que giram sobre um mesmo eixo e no mesmo sentido de rotação. O sincronismo dos hélices e do tubo de governo, com aletas integradas, proporciona um aumento significativo da eficiência se comparados a unidades com apenas um hélice.

A tecnologia de hélices gêmeos distribui a potência em dois hélices, reduzindo a carga em cada um e aumentando a eficiência do sistema. Eles estão dispostos entre si de tal maneira que a esteira de turbulência do hélice frontal passa por entre as pás do hélice de pressão posterior sem obstruí-lo. Desta forma, o movimento de rotação produzido pelo fluxo do hélice frontal é recuperado.

Figura 24 – Hélices gêmeos



Fonte: <http://portosmercados.com.br>

Vantagens: diminuição da carga na superfície das pás, devido à distribuição da potência nos dois hélices; menor risco de cavitação; menos flutuações na pressão; e diminuição nas emissões de ruídos.

4.5 Tubo Kort

Consiste em tubos fixos que envolvem o hélice, organizando o fluxo de descarga, aumentando a aceleração da água e possibilitando um ganho na tração a vante de até 30%. São utilizados em rebocadores e embarcações de apoio *offshore*.

Figura 25 – Tubo Kort



Fonte: <http://www.westbourne-model.co.uk>

4.6 Tunnel Thrusters

Esse tipo de *thruster* possui atuação unicamente transversal, isto é, somente é capaz de direcionar sua descarga para o través de boreste ou de bombordo. Logo, geram forças transversais na proa (*Bow Thruster*) ou na popa (*Stern Thruster*).

Figura 26 – *Bow Thruster*



Fonte: <http://cruisewebdaily.com>

Esse propulsor ajuda a manobra nas proximidades de navios, plataformas e portos, tornando-se obrigatório em embarcações envolvidas no serviço *offshore* e grandes navios.

Disponibiliza controle preciso a baixas velocidades em navegação sob pontes e em canais estreitos e rasos. Os *tunnel thrusters* são utilizados em todo o mundo, em operações que demandem manobras precisas.

5 EFEITO *SQUAT*

O mais importante efeito experimentado por um navio em águas rasas é o Efeito *Squat*, que pode ser causado de duas maneiras. Na maioria das ocasiões, o *Squat* é causado pelo movimento a vante de um navio.

Pode ser entendido como a diminuição da distância entre a quilha da embarcação e o fundo do mar, rio ou canal navegável, causada pelo movimento a vante da embarcação. Durante o seu deslocamento, o navio causa uma aceleração do fluxo de água em torno do costado, criando uma depressão na distribuição de pressão nesta área, principalmente a meio-navio.

À proporção que se movimenta para vante, a embarcação desenvolve um leve afundamento, acrescido de um efeito de compasso. A soma algébrica do afundamento do casco e a diferença de trim (a vante ou a ré) é conhecida como efeito *Squat*.

A segunda maneira pela qual ocorre o efeito se dá quando o navio encontra-se atracado ou amarrado a um píer em situação de maré baixa. A velocidade da maré ao longo do navio parado produz, assim como na situação anterior, componentes de afundamento do casco e efeitos de trim. Os dois combinados dão efeito *Squat* para o navio parado.

Este efeito ocorre tanto em águas restritas quanto em águas profundas, ainda que em menores proporções.

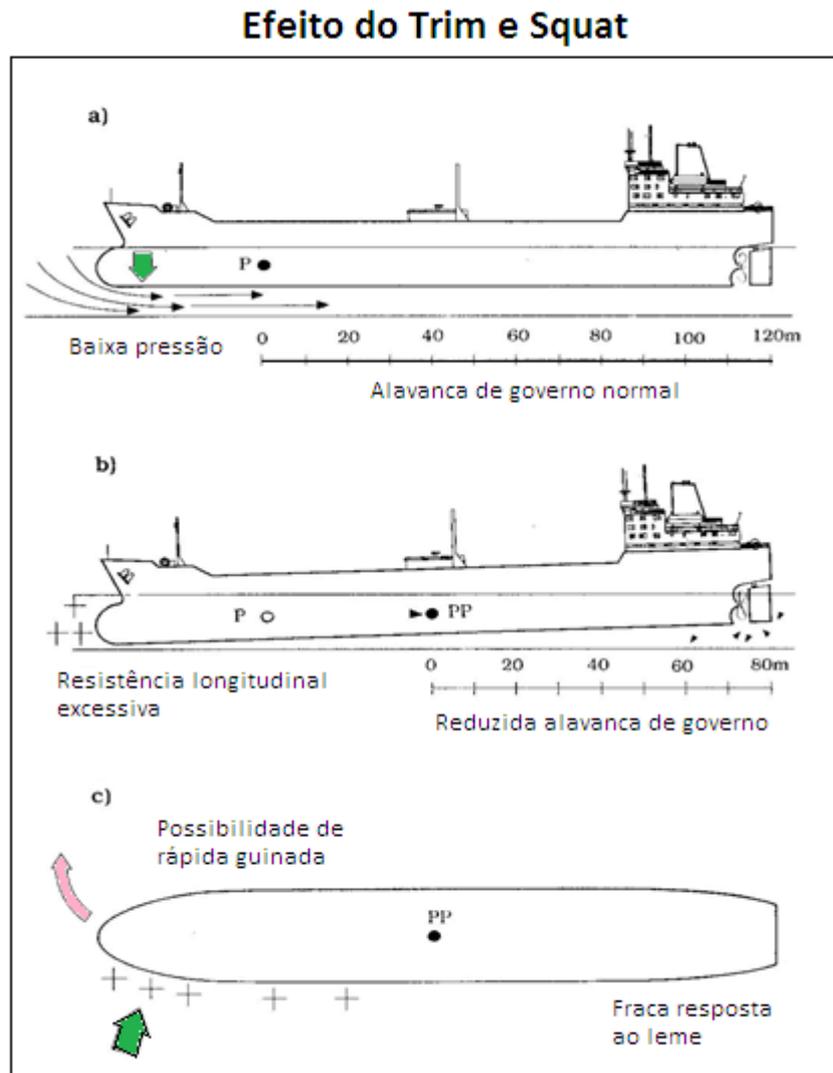
5.1 Fatores que influenciam o efeito *Squat*

Em águas rasas, com a profundidade menor que duas vezes o calado da embarcação, ocorre uma obstrução que pode provocar sérios problemas, conforme mostrado na Figura 27.

Neste caso, o navio está em situação de águas parelhas, com uma pequena lâmina d'água abaixo da quilha, ou seja, a água que normalmente passava abaixo da quilha é severamente restringida. Isto resulta em:

I. A água é forçada a passar sob a proa com velocidade maior que o normal, criando uma área de baixa pressão e perda de flutuabilidade (Figura 27.a);

II. A pressão da água a vante aumenta a resistência longitudinal e empurra o ponto *pivot* (centro de rotação do navio) para trás, isto é, de P para PP (Figura 27.b). O navio fica, portanto, com calado maior a vante.

Figura 27 – Efeitos do Trim e *Squat*

Fonte: CRENSHAW, R. S. Jr. Naval Ship Handling.

Atualmente é de conhecimento geral que grandes navios navegando em águas rasas podem apresentar um *squat* de até 2 metros. O sistema de ondas gerado pela embarcação também poderá afetar o trim, por um curto período de tempo, e aumentar o efeito *squat*.

Pode ocorrer ainda possibilidade de encalhe, com a perda do controle da embarcação e saída violenta do canal navegável. Se o Oficial de Náutica permitir que o movimento lateral do navio se desenvolva, as forças de pressão longitudinal atuarão na proa (Figura 27.c) e o navio poderá sofrer uma guinada violenta na mesma direção em que o leme está carregado. Será, então, difícil corrigir essa tendência, uma vez que o governo do navio é reduzido pelo *squat*.

Se o navio não responder ao comando, ele poderá ser violentamente jogado para o bordo oposto e uma reação em cadeia se iniciará, fazendo com que o navio tenha seu rumo alterado de um lado para o outro, sem responder corretamente ao leme. Reduzir a velocidade é a melhor solução para que isso não ocorra.

Experiências realizadas com um navio de 27 metros de boca e 11 metros de calado obtiveram os seguintes resultados:

- I. Em um canal aberto, cercado por embarcações de 6 metros, com uma profundidade de 13 metros e largura de 90 metros, navegando com a velocidade de 7 nós, o navio teve um assentamento de 1 metro;
- II. Em um canal semelhante, mas fechado nas margens, os valores variaram de 0.5 a 2,0 metros;
- III. Na velocidade de 2,4 a 5,0 nós, não houve alteração de calado. Com o aumento da velocidade, proa e popa mergulharam, com maior efeito na proa. O assentamento de proa e popa se igualou a 16 nós e, acima deste valor, a popa apresentou maior assentamento.

Foram feitos, então, estudos a respeito dos dados acima, que acabaram por concluir:

- I. O valor da imersão de proa depende das dimensões do navio, da sua velocidade e da profundidade da água;
- II. Com navio carregado e com compasso, seja embicado ou derrabado, há sempre um aumento do compasso;
- III. Há sempre um aumento do calado médio, ou seja, ainda que o mergulho de proa seja maior, a popa também assenta. Se o navio já está derrabado, há sempre o perigo de a popa roçar no fundo, em águas rasas;
- IV. Com o navio à meia carga ou vazio, o assentamento é menor do que quando carregado, nas mesmas condições de velocidade e profundidade.

Ao verificar a fórmula para o cálculo do Efeito *Squat*, vemos que seu valor varia de acordo com o quadrado da velocidade da embarcação. Portanto, ao dobrarmos a velocidade, estaremos quadruplicando o valor de *Squat*. A diminuição da velocidade é, então, o principal fator de prevenção do efeito.

O *Squat* também é diretamente proporcional ao valor de coeficiente de bloco C_B , que por sua vez é diretamente proporcional ao valor de calado. Baseando-se nos valores de C_B , os navios petroleiros e graneleiros apresentariam um maior efeito *Squat* em relação aos navios de

passageiros e porta-contêineres. A velocidade de retorno e o encontro com outra embarcação em rios ou canais são outros fatores que podem aumentar o *Squat* em até duas vezes.

A relação entre a profundidade da água (H) e o calado médio estático (T) também poderá influenciar. De acordo com pesquisas, o efeito *Squat* torna-se particularmente interessante quando a relação H/T varia de 1,10 a 1,40. Ou seja, conforme a relação H/T diminui, há aumento do *Squat*.

A presença de banda, que influencia diretamente no valor de coeficiente de bloco, também contribuirá para o aumento do efeito *Squat*, bem como a presença de bancos em canais ou rios, próximos ao costado lateral do navio em movimento.

5.2 Profundidade de influência

Uma embarcação comporta-se de maneira diferente quando se encontra em águas rasas, sendo perceptíveis as seguintes mudanças:

- Maior criação de ondas na proa do navio;
- O navio torna-se mais lento para manobrar;
- O navio pode começar a vibrar de repente, causando ressonância;
- Os movimentos de balanço, cabeceio e arfagem diminuem devido ao colchão de água criado abaixo do navio.

Outra maneira de saber quando o navio entra em águas rasas é através do coeficiente de influencia F_D . Basta compararmos a relação entre a profundidade local (H) e o calado médio estático (T) com o fator de influência F_D . Se o valor de H/T for maior que F_D para um respectivo navio, não haverá aumento de resistência, variação de velocidade e, conseqüentemente, as rotações do hélice permanecerão constante, de maneira que não haja alteração de *Squat*. Portanto, o navio continua a operar em situações de águas profundas.

Se a relação H/T for menor que o valor de F_D , o navio estará operando em situação de águas rasas, começando a sentir seus efeitos, isto é, aumento de resistência ao avanço, redução da velocidade e RPM (Rotações Por Minuto) do propulsor, bem como aumento do efeito *Squat* à medida que H/T aproxima-se do valor de 1,10 – equivalente a 10% de espaço entre a quilha e o fundo.

O cálculo do fator de influência de profundidade F_D se dá de maneiras diferentes para cada tipo de navio, porém será sempre proporcional ao calado do navio em metros (T), como é possível analisar a seguir:

Superpetroleiro	$F_D = 5,68 \times T$
Cargueiro	$F_D = 7,07 \times T$
Passageiro	$F_D = 8,25 \times T$
Ro-Ro	$F_D = 9,20 \times T$
Fragata	$F_D = 12,04 \times T$

5.3 Largura de influência

Um segundo fator que influencia no comportamento da embarcação é o de largura F_B , usado para determinar se o navio encontra-se em condições de águas restritas ou confinadas. Estando o navio em um canal ou rio com largura inferior a F_B , poderemos considerar como situação de águas restritas. Nesse caso, será percebido um aumento na resistência ao avanço, diminuição da velocidade e aumento do efeito *Squat*.

O cálculo do fator de influência de largura F_B também se dá de maneira diferente para cada tipo de navio, porém será sempre proporcional ao comprimento da boca moldada em metros (B), como é possível analisar abaixo:

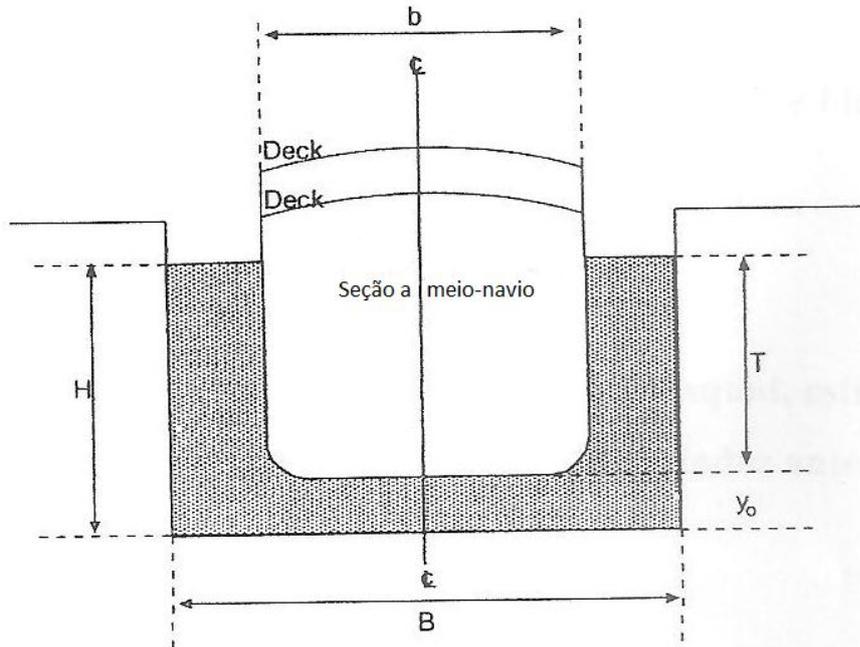
Superpetroleiro	$F_B = 8,32 \times B$
Cargueiro	$F_B = 9,50 \times B$
Rebocador	$F_B = 12,69 \times B$
Fragata	$F_B = 13,75 \times B$

5.4 Cálculo do valor do *Squat*

Cabe ressaltar que, devido à complexidade do assunto, especialistas ainda não possuem uma fórmula absoluta para o cálculo do valor do efeito *Squat*. Portanto, serão apresentados cinco métodos de cálculo que fornecem, como resultado, um valor aproximado.

Um importante fator para o cálculo do *Squat* é o fator de bloqueio S, caracterizado como a relação entre a área da seção transversal média da embarcação ($b \times T$) e a seção transversal do canal ou rio ($B \times H$), isto é, $S = b \times T / B \times H$.

Figura 28 – Seção a meio-navio



Fonte: BARRASS, C. B. Ship Squat.

A partir deste fator, é possível obter o fator de velocidade de retorno S_2 , através da fórmula $S_2 = S / 1 - S$. O valor da velocidade de retorno é usado para o cálculo do efeito *Squat* máximo, em metros, no método 1. Uma simples análise, porém, permite concluir que em todos os métodos expostos abaixo o valor aproximado do efeito *Squat* é sempre diretamente proporcional à velocidade do navio em nós V_K .

Método 1:

Squat máximo = $S_{\text{máx}} = C_B / (30 \times S_2^{2/3} \times V_K^{2,08})$ metros, usado para águas confinadas ou mar aberto.

Método 2:

Squat máximo = $S_{\text{máx}} = (C_B \times V_K^2) / 100$ metros, usado apenas em mar aberto.

Método 3:

Squat máximo = $S_{\text{máx}} = K \times (C_B \times V_K^2 / 100)$ metros, usado para águas confinadas ou mar aberto, onde $K = (6 \times S) + 0,400$.

Método 4:

$Squat$ máximo = $S_{m\acute{a}x} = 2 \times (C_B \times V_K^2 / 100)$ metros, usado para águas confinadas, quando o fator de bloqueio S varia entre 0,100 e 0,265.

Método 5:

$Squat$ máximo = $S_{m\acute{a}x} = V_K^2 / 100$ metros, usado por Práticos para estimar um valor com maior margem de segurança em relação aos outros métodos citados anteriormente.

Além do cálculo do valor máximo, é importante saber que o ponto de maior efeito do *Squat* no navio poderá variar de acordo com duas situações distintas. A primeira situação é estando a embarcação trimada para ré (derrabada) ou para vante (embicada), pois, além do afundamento natural do efeito *Squat*, haverá um aumento do trim para ré ou para vante, respectivamente.

A segunda situação é estando o navio em águas parelhas, pois nesta situação a posição de ocorrência do *Squat* depende do coeficiente de bloco. Após inúmeras experiências, constatou-se que, para navios com C_B maior que 0,7 – navios tanque e graneleiros -, o *squat* ocorrerá com maior influência na parte a vante da embarcação. Para navios com C_B menor que 0,7, o *squat* será mais perceptível à ré. E, finalmente, se o coeficiente de bloco no navio for igual a 0,7, o efeito consistirá somente no afundamento por igual da embarcação, sem variação de trim.

5.5 Acidentes causados pelo efeito *Squat*

Dois acidentes recentes ocorreram devido à ação do *Squat*. Em 1987, o navio *Roll On Roll Off Herald of Free Enterprise* deixou o porto com trim negativo e portas de embarque a vante abertas. Ao alcançar a velocidade de 18 nós em águas rasas, ocorreu afundamento e aumento do trim pela proa, resultando na entrada de água pelas portas de embarque a vante. Como resultado houve encalhe seguido de alagamento, além da morte de 188 pessoas, entre tripulantes e passageiros.

Figura 29 – Navio *Herald of Free Enterprise* encalhado



Fonte: <http://www.ilhasailing.com.br/historias/NaufraiosCemAnos.html>

Em 1992, o navio de passageiros *Queen Elizabeth 2*, que deixava o porto em condições de águas rasas, alcançou a velocidade de aproximadamente 25 nós e encalhou. Felizmente não houve vítimas, porém os prejuízos financeiros alcançaram valores superiores a 63 milhões de Libras Esterlinas.

Os dois exemplos citados acima ilustram como o efeito *squat* pode estar vinculado à prejuízos financeiros e, mais importante, à perda de vidas humanas.

5.6 Medidas preventivas

Uma maneira de prevenir *Squat* excessivo e seus efeitos é reduzir a velocidade. Este consiste no método mais eficiente. Outra maneira a considerar é aumentar o valor da relação H/T , que pode ser obtida através da descarga de água de lastro ou movendo o navio para águas profundas, uma vez que ocorrerá uma redução do valor de T .

Reduzir o calado, isto é, o valor de T também acarreta redução do coeficiente de bloco, que, por meio de fórmulas já mencionadas, reduzirá o valor do efeito *Squat*.

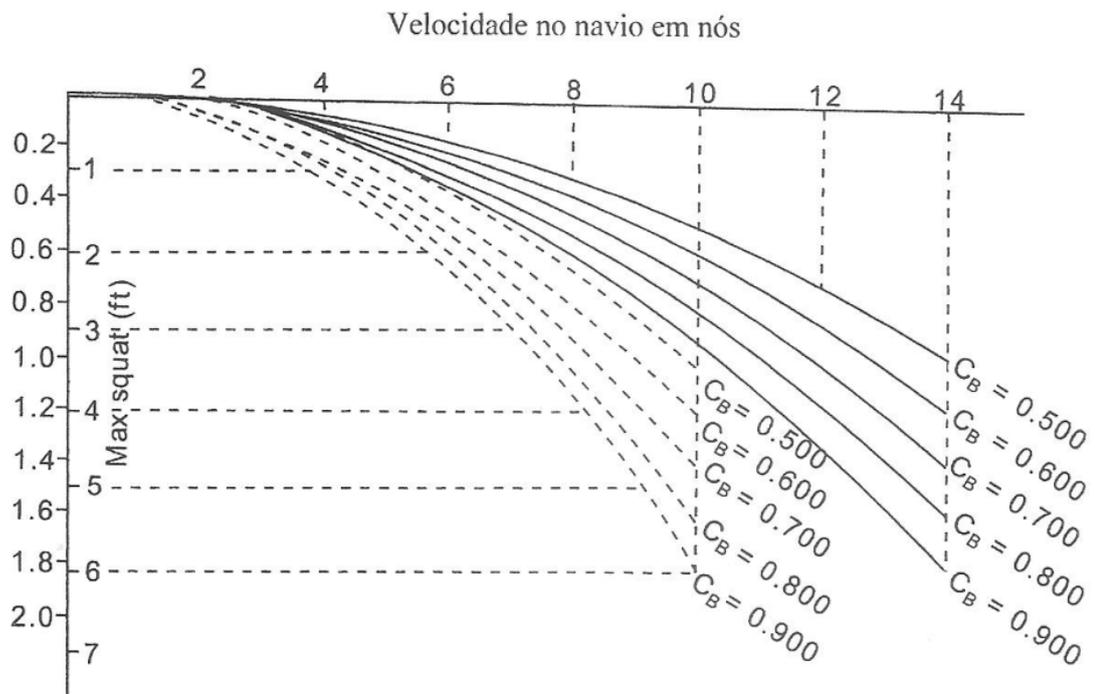
O uso de um programa de computador pode trazer grandes benefícios para os armadores e marítimos ao informar os seguintes dados:

- I. Se o navio encontra-se em mar aberto ou águas confinadas;
- II. Máximo *Squat* e onde este efeito ocorre;
- III. Profundidade na proa e na popa;
- IV. Velocidade na qual o navio pode vir a encalhar pela proa ou pela popa.

Esse programa de computador pode ser utilizado para todos os tipos de navios e velocidades e é capaz de fornecer informações tanto em mar aberto quanto em águas rasas. É importante que o pessoal de bordo saiba sobre a teoria do efeito e os possíveis danos que podem ser acarretados por ele.

Para uma navegação segura, entretanto, um simples gráfico de Velocidade do Navio x Máximo *Squat* colocado no passadiço pode ser uma medida preventiva eficaz, como visto na figura a seguir.

Figura 30 – Valor máximo de *Squat*, de acordo com a velocidade do navio em nós e valores típicos de C_B , para navegação em águas confinadas e irrestritas



Fonte: BARRASS, C. B. Ship Squat.

Figura 31 – Tabela de coeficientes de bloco (C_B) para cada tipo de navio

Tipo de navio	Típico coeficiente de bloco quando carregado	Tipo de navio	Típico coeficiente de bloco quando carregado
ULCC (Ultra Large Crude Carrier)	0,860	Carga geral	0,700
Super Petroleiro	0,825	Passageiros	0,625
Petroleiro	0,800	Full Container	0,565
Graneleiro	0,750	Rebocador Portuário	0,500

Fonte: BARRASS, C. B. Ship Squat.

O Oficial de Náutica pode observar rapidamente, através desse gráfico, a velocidade que pode vir a causar problemas e a velocidade ideal que deixaria a embarcação em uma situação segura em relação à profundidade do local.

Ainda que os valores obtidos em estudos sejam importantes para o estabelecimento de profundidades mínimas para canais e para uma navegação segura, outros fatores influenciam no calado, como o ângulo de banda, já analisado anteriormente, e as ondas causadas pelo vento.

Cada situação será única e não há possibilidade de adotar-se uma como regra. Seria irreal a determinação de normas para definir profundidades mínimas para canais, todavia, como regra prática, temos o seguinte:

- I. Uma lâmina d'água 15% maior que o calado para áreas em alto-mar;
- II. Uma lâmina d'água 10% maior que o calado para canais e águas abrigadas.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Devido à grande evolução no porte das embarcações mercantes e seus respectivos calados, iniciou-se uma crescente preocupação com os efeitos decorrentes da navegação em águas rasas, uma vez que as vias navegáveis e canais de acesso mantiveram sua profundidade local.

A diferença da pressão hidrodinâmica gerada quando uma embarcação adentra uma área de pouca profundidade ocorre em virtude do aumento da velocidade da água, visto que o volume de escoamento do fluido sofre uma redução exponencial. Dentre os efeitos, pode haver afundamento da embarcação, variação no trim, mudança no comportamento das ondas formadas e interação entre embarcações e entre uma embarcação e a margem.

De acordo com experimentos realizados desde 1960, a magnitude das forças de atração e afundamento do navio em águas rasas está diretamente ligada com a velocidade, e inversamente com a distância entre as embarcações ou entre a embarcação e a margem do canal navegável. Por isso, é necessário que toda a tripulação, especialmente o Comandante e os Oficiais de Náutica, estejam a par dos possíveis riscos resultantes dos efeitos de interação e Efeito *Squat*, para que em uma situação de perigo saibam as medidas adequadas a serem tomadas.

O efeito *Squat* pode ser definido como o afundamento e variação do trim durante o deslocamento de uma embarcação, em função da variação na distribuição da pressão hidrodinâmica ao longo do costado. Pode ocorrer inclusive com a embarcação atracada, devido ao efeito das correntes.

Em decorrência da complexa interação entre o meio fluídico e o costado do navio, não há fórmula absoluta para o cálculo do Efeito *Squat*, sendo possível apenas a aproximação do valor. Para uma determinação precisa, seria necessário experimento em tanque de provas para cada tipo de casco.

De maneira geral, os armadores têm investido cada vez mais em propulsores eficientes, que sejam capazes de agir rapidamente em situações de perigo, a fim de evitar situações de encalhe ou colisão que tragam perdas de vidas humanas, danos materiais, ambientais e financeiros.

A prática da navegação em águas rasas, em áreas que sejam ambientalmente sensíveis, também pode acarretar preocupações com relação à interferência ambiental decorrente da passagem de embarcações. Neste caso, devem ser quantificados os graus de suspensão de sedimentos que possam causar danos às plantas aquáticas e peixes.

Como a suspensão de sedimentos se mantém a custa da turbulência, é um fator muito importante a quantidade de embarcações que passam pelo mesmo trecho de águas rasas. Se a frequência for tal, que mantém a suspensão de sedimentos na água por longos períodos, o problema ambiental local será mais severo do que em uma situação na qual existe tempo de decantação do material suspenso entre as passagens de duas embarcações. Geralmente há necessidade de redução da velocidade de navegação em águas rasas para minimizar possíveis interferências ambientais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARRASS, C. B. **Ship Squat**. Humberside: The Nautical Institute, 1995.

CLARK, IAN C. **Ship Dynamics for Mariners**. 1st Edition. Londres: The Nautical Institute Press, 2005.

DAND, I. **Interaction**. Humberside: The Nautical Institute, 1995.

FONSECA, MAURÍLIO M. **Arte Naval**. Rio de Janeiro, 1954.

LEWIS, EDWARD V. **Principles of Naval Architecture**. Second Revision. Volume III. Jersey City: The Society of Naval Architects and Marine Engineers, 1988.

LOBO, PAULO ROBERTO VALGAS e SOARES, CARLOS ALBERTO. **Meteorologia e Oceanografia Usuário Navegante**. 2^a Edição. Rio de Janeiro, 2007.

MAC ELREVEY, DANIEL. **Shiphandling for the Mariner**. 2nd Edition. CPM: Cornell Maritime Press.

MANEN, J.D VAN and OOSSANEN, P. VAN. **Principles of Naval Architecture**. 3rd Edition. Jersey City: The Society of Naval Architects and Marine Engineers, 1988.

MARINHA DO BRASIL, DIRETORIA DE PORTOS E COSTAS, ENSINO PROFISSIONAL MARÍTIMO. **Interação**. Rio de Janeiro, 1993.

MARINHA DO BRASIL, DIRETORIA DE PORTOS E COSTAS, ENSINO PROFISSIONAL MARÍTIMO. **Manobra de Embarcações**. 1^a Edição. Rio de Janeiro, 2009.