

Avaliação “On-line” da Estabilidade em Navios da Marinha do Brasil

David L. L. Sicuro, MSc

**Instituto de Pesquisas da Marinha
Rua Ipirú, 2 – Ilha do Governador – Rio de Janeiro – RJ – Brasil**

e-mail: dlsicuro@gmail.com

RESUMO

O Módulo de Cálculo “On-line” da Estabilidade (MCOE) é parte integrante do Sistema de Controle de Avarias (SCAV) das Fragatas Classe “Niterói” da Marinha do Brasil. O MCOE tem por objetivo prover informações continuamente atualizadas sobre os principais parâmetros relacionados a estabilidade intacta do navio, traçando as curvas de estabilidade estática e dinâmica, além de verificar o Critério de Estabilidade de Sarchin and Goldberg para vento lateral. Outra funcionalidade importante é possibilitar simulações. O MCOE simula os efeitos do alagamento de compartimentos, os efeitos da introdução de cargas em qualquer ponto do navio, e também permite a introdução de diferentes valores de intensidade de vento lateral de modo a indicar restrições de segurança a possíveis manobras desejadas pelo comando do navio.

ABSTRACT

The Module for On-line Calculation of Stability (MCOE) is part of the Damage Control System (SCAV) of Brazilian Navy’s “Niterói” Class Frigates. The objective of this module is to furnish continuously updated information about the main parameters related to the intact stability of the vessel, in order to allow static and dynamic stability curves plotting and also to verify the Sarchin and Goldberg Stability Criteria for actual beam wind. Another important feature is to permit simulations. The MCOE simulates the effects of flooding compartments, the effects of added loads anywhere on the ship, and also allows to introduce different values of beam wind intensity in order to indicate some security restrictions to possible desired maneuvers of the ship’s command.

1. INTRODUÇÃO

O conhecimento do estado atual da estabilidade de um navio sempre será uma informação desejável ao seu comandante e a seus oficiais de máquinas e controle de avarias, especialmente em um navio de guerra, potencialmente mais sujeito a fatores que possam alterar sua estabilidade.

O Módulo de Cálculo “On-line” da Estabilidade (MCOE) é um sistema computacional que é parte integrante do Sistema de Controle de Avarias (SCAV) das Fragatas Classe “Niterói” da Marinha do Brasil.

A principal meta do MCOE é fornecer os parâmetros e curvas que expressam como está a estabilidade do navio a qualquer momento durante uma comissão no mar de forma rápida e com a maior precisão possível. Outra característica importante é possibilitar simulações de alagamento de compartimentos, adição de pesos em qualquer ponto do navio e também poder submeter o navio ao Critério de Estabilidade de Sarchin and Goldberg, em termos de vento lateral, com diferentes valores de intensidade do vento.

O objetivo deste trabalho é mostrar como o MCOE se apresenta, como são realizadas todas as etapas do cálculo e como as simulações são efetuadas.

2. VISUALIZAÇÃO GERAL DO MÓDULO

O MCOE é acionado através de uma tecla na tela principal do SCAV e se apresenta numa janela com as seguintes seções, conforme mostrado na Figura 1.

Diagrama de Alagamento

Nesta seção podemos ver representados na planta baixa dos diversos conveses do navio todos os compartimentos alagáveis. Na cor rosa, os compartimentos que, se alagados, contribuirão para a diminuição da estabilidade; na cor verde claro, os compartimentos que, se alagados, contribuirão para o aumento da estabilidade; e na cor amarela, os compartimentos que, se alagados, contribuirão para o aumento da estabilidade caso não ocorra o efeito de superfície livre. Sempre que ocorrer uma avaria de alagamento, o SCAV notificará o MCOE e este indicará com a cor verde o compartimento alagado com o seu percentual de alagamento e automaticamente toda a reavaliação da estabilidade do navio é feita e apresentada. Os compartimentos em simulação de alagamento serão indicados na cor laranja. A Figura 1 mostra um exemplo típico do que foi explicado.

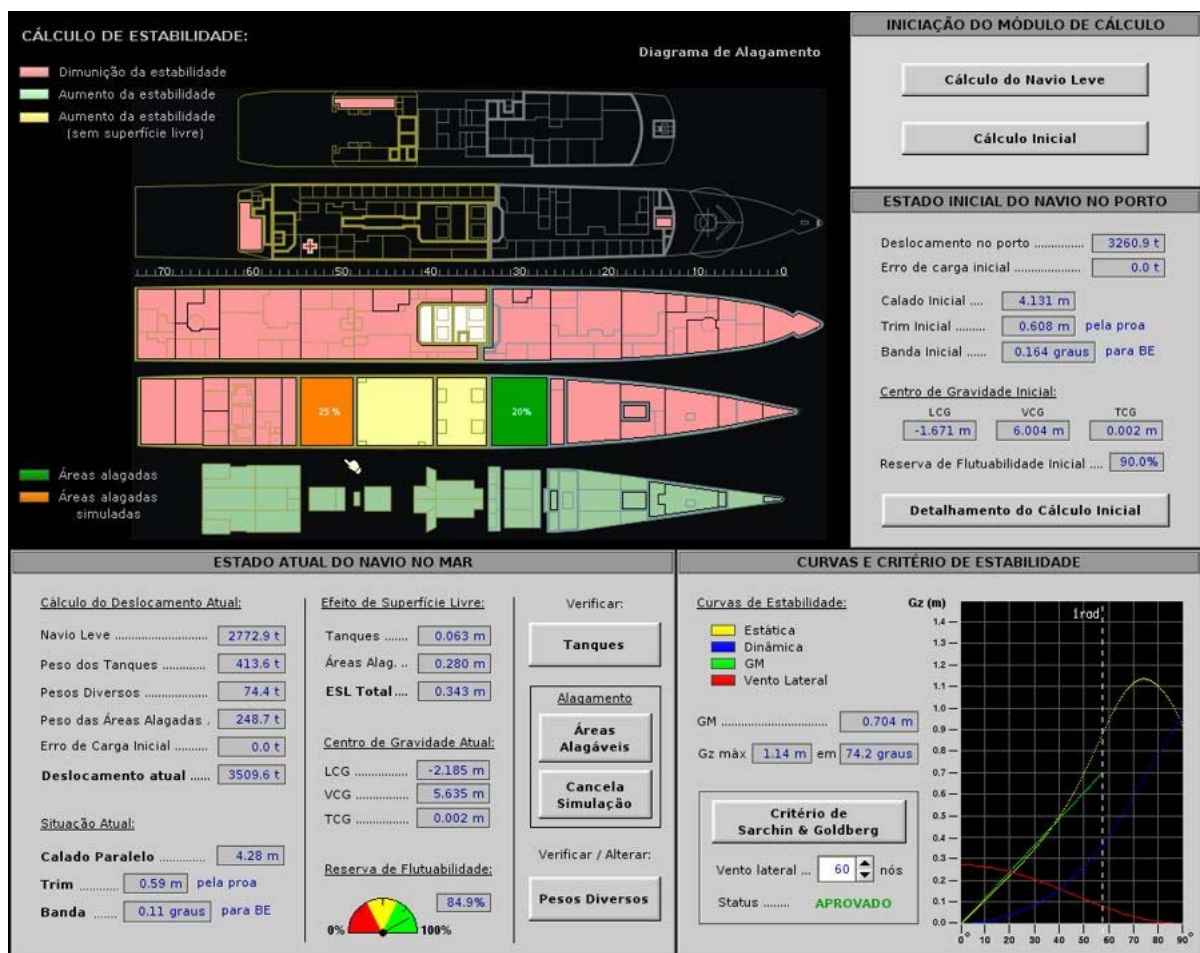


Figura 1

Iniciação do Módulo de Cálculo

Aqui o MCOE é iniciado através das teclas: Cálculo do Navio Leve e Cálculo Inicial.

Estado Inicial do Navio no Porto

Nesta seção são apresentados os dados referentes a situação do navio imediatamente antes de partir para uma comissão no mar. Existe ainda uma tecla que disponibiliza os principais parâmetros auxiliares usados para a obtenção dos resultados do Cálculo Inicial.

Estado Atual do Navio no Mar

Aqui os parâmetros mais importantes que demonstram o estado corrente da estabilidade são apresentados. Existem ainda teclas para verificar detalhadamente a situação dos tanques e áreas alagáveis, além de permitir a verificação e alteração de todos os pesos a bordo.

Curvas e Critério de Estabilidade

Aqui são apresentadas as curvas de estabilidade estática e dinâmica, GM e de vento lateral, além do status da aplicação do critério de Sarchin and Goldberg para o valor de vento lateral corrente. Há uma tecla que mostra detalhadamente os cálculos da aplicação deste critério.

3. ETAPAS DO CÁLCULO

3.1 Cálculo do Navio Leve

Esta etapa de iniciação do MCOE tem por objetivo obter o deslocamento e o centro de gravidade (CG) do Navio Leve. Os dados de referência para este cálculo são encontrados no relatório da última prova de inclinação que o navio realizou. Na verdade, esta etapa refaz os cálculos apresentados neste relatório de modo a obter os parâmetros do Navio Leve seguindo o mesmo procedimento computacional que será usado para obter o deslocamento e o CG na segunda parte da iniciação do módulo, isto é, no Cálculo Inicial. Toda esta preocupação visa minimizar as diferenças geradas por erros numéricos e de aproximações entre os resultados obtidos por duas formas computacionais diferentes: a do MCOE e a de quem gerou o relatório da prova de inclinação.

As Figura 2a, 2b e 2c mostram passo a passo a seqüência de janelas necessárias para a obtenção dos parâmetros do Navio Leve. Ao finalizar esta iniciação, os dados são gravados no banco de dados do SCAV e o MCOE estará habilitado para o Cálculo Inicial.

O objetivo deste comando é reproduzir o cálculo realizado durante a Prova de Inclinação, de modo a obtermos os seguintes parâmetros de iniciação do Módulo de Cálculo: o deslocamento do NAVIO LEVE e seu centro de gravidade.
É indispensável se ter em mãos o relatório da última Prova de Inclinação realizada pelo navio para se iniciar corretamente o Módulo de Cálculo. Sempre que o navio realizar uma nova Prova de Inclinação, este procedimento deverá ser efetuado novamente.

Documento de referência: M10/292-13A **Data:** 20/06/2000

Leitura dos calados:

	Vante	Meia nau	Ré <input checked="" type="checkbox"/>	Propulsor <input type="checkbox"/>	Espelho
Bombordo	4.03 m	4.14 m	4.15 m	0.00 m	4.18 m
Boreste	4.02 m	4.17 m	4.19 m	0.00 m	

Densidades:

	A-401-W	A-414-W	B-403-W	C-406-W	Água do mar no dique
Tanques de lastro	1.000 t/m ³	1.000 t/m ³	1.000 t/m ³	1.000 t/m ³	1.022 t/m ³

Parâmetros do Gráfico das Tangentes: a: 0.000449 b: -0.000310

Botões: Abrir, Cancelar, Voltar, Próximo, Finalizar

Figura 2a

Sempre que o navio sofrer alterações estruturais significativas, uma nova prova de inclinação deverá ser feita para obter os novos parâmetros do Navio Leve e então reiniciar o MCOE com estes dados.

Inicição do Módulo de Cálculo

Pesos considerados:
 1) Entre com os volumes dos tanques no momento da prova (em m³)
 2) Preencha as tabelas abaixo

Oleo Combustível

A-408-F	23.286
A-409-F	0.000
A-410-F	106.427
A-411-F	57.280
A-412-F	60.414
B-402-F	0.000
B-404-F	0.000
B-405-F	0.000
B-407-F	0.000
B-408-F	4.887
B-409-F	0.000
B-410-F	13.572

Pesos a deduzir:

	Peso (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	MSL (t.m)
Tanques	413.582	18.458	-0.521	2.102	219.728
Outros Tanques	26.722	-8.014	0.170	4.102	0.000
Pesos da prova	10.460	-26.409	0.054	11.626	
Pesos do navio	37.237	-24.260	0.079	6.934	
Outros	0.000	0.000	0.000	0.000	
Totais:	488.001	12.787	-0.425	2.785	219.728

Pesos a acrescentar:

	Peso (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)
Pesos do navio	0.000	0.000	0.000	0.000
Outros	0.000	0.000	0.000	0.000
Totais:	0.000	0.000	0.000	0.000

Abbrir Cancelar Voltar Próximo Finalizar

Figura 2b

Inicição do Módulo de Cálculo

Resumo do Navio na Prova de Inclinação:

Deslocamento na prova

Centro de Gravidade:

Longitudinal (LCG) Calado
 Vertical (VCG) Trim pela proa ESL
 Transversal (TCG) Banda para BE GM

Cálculo do Navio Leve Atual:

	Peso (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	MSL (t.m)
Navio na Prova	3260.936	-1.671	0.002	6.004	219.728
Pesos a deduzir	-488.001	12.787	-0.425	2.785	-219.728
Pesos a acrescentar	0.000	0.000	0.000	0.000	
NAVIO LEVE:	2772.935	-4.216	0.077	6.570	0.000

Abbrir Cancelar Voltar Próximo Finalizar

Figura 2c

3.2 Cálculo Inicial

Esta etapa da iniciação é a mais importante para que possamos partir para o mar com dados confiáveis que nos proporcionarão avaliações da estabilidade o mais perto possível da realidade em que o navio se encontrará.

A forma mais precisa de se obter o deslocamento de um navio é através da medição de seus calados, utilizando as curvas hidrostáticas ou as curvas de Bonjean/Vlasov. No entanto, este método é possível apenas com o navio atracado no cais. Uma vez navegando, o deslocamento só poderá ser obtido através do somatório de todos os pesos a bordo. Sendo assim, para que o Cálculo Inicial seja considerado válido, é necessário que os valores de deslocamento obtidos tanto pelos calados como pelo somatório de pesos sejam os mais próximos possíveis. Para

isso, imediatamente antes da partida do navio, os seguintes procedimentos devem ser executados: (1) todos os pesos devem ser contabilizados: a planilha de sondagem de todos os tanques, a planilha dos diversos pesos do navio (tripulação, mantimentos, sobressalentes, munição, etc.) e a planilha de compartimentos alagados devem ser atualizadas; (2) a densidade da água do mar onde o navio se encontra atracado e a densidade dos líquidos dos tanques de lastro devem ser medidas; e (3) os calados devem ser lidos com a maior precisão possível. Na medida em que todos os pesos considerados têm seu CG conhecido, podemos obter o deslocamento e o CG do navio pelo somatório dos pesos e momentos gerados por estes pesos. De posse de todos estes dados, o Cálculo Inicial poderá ser executado. A Figura 3 mostra a janela que é apresentada ao clicar na tecla “Cálculo Inicial”. Neste exemplo, os dados usados são os mesmos da prova de inclinação.

Cálculo Inicial

Informação importante:
 O cálculo inicial deve ser executado com o navio pronto para suspender, ou seja, com as suas condições de carregamento definidas (tanques, munição, provisões, tripulação, etc.). Neste momento, recomenda-se que sejam feitas as leituras dos calados, a leitura das densidades da água do mar no porto e dos tanques de lastro, e o preenchimento das planilhas de sondagem dos tanques e dos pesos diversos do navio. Isto levará a um cálculo inicial consistente, o qual servirá de base para todos os cálculos subsequentes durante a comissão do navio no mar.

Leitura dos calados:

	Vante	Meia nau	Ré <input checked="" type="checkbox"/>	Propulsor <input type="checkbox"/>	Espelho
Bombordo	4.03 m	4.14 m	4.15 m	0.00 m	
Boreste	4.02 m	4.17 m	4.19 m	0.00 m	4.18 m

Densidades:

	A-401-W	A-414-W	B-403-W	C-406-W
Líquido dos tanques de lastro	1.000 t/m ³	1.000 t/m ³	1.000 t/m ³	1.000 t/m ³
Água do mar no porto	1.022 t/m ³			

Cancelar Iniciar

Figura 3

A idéia é calcular e comparar os valores de deslocamento e CG obtidos pelos dois métodos - calados e curvas hidrostáticas versus somatório de pesos e momentos. Cabe lembrar que pelo método dos calados e curvas hidrostáticas apenas o centro de gravidade longitudinal (LCG) poderá ser calculado já que não temos disponíveis os parâmetros do gráfico das tangentes como numa prova de inclinação. Se a diferença entre os valores de deslocamento e LCG dos dois métodos de cálculo for inferior a 7%, o cálculo inicial será aceito como válido. Assim, o deslocamento e o LCG obtidos pelo método dos calados e os valores de centro de gravidade vertical e transversal (VCG e TCG, respectivamente), obtidos pelo método do somatório de pesos, serão assumidos como os dados iniciais do navio para a comissão no mar.

A diferença de valores de deslocamento será denominada Erro de Carga Inicial e terá seu LCG calculado. O TCG e VCG serão arbitrados idênticos aos obtidos pelo método do somatório dos pesos. Este erro é considerado como um peso virtual (positivo ou negativo) e será levado em consideração em todos os cálculos da estabilidade realizados no mar até que o navio retorne a um porto onde um novo Cálculo Inicial poderá ser realizado. A Figura 4 mostra a janela onde o detalhamento do Cálculo Inicial é apresentado.

Detalhamento do Cálculo Inicial

Cálculo do Calado Médio:
 Perp. AV: 4.021 | Meia Nau: 4.155 | Perp. AR: 4.180 | Calado Médio: 4.100

Cálculo do Trim Real: (inclinação da quilha = 0.800 m pela popa)
 Trim entre perpendiculares: 0.159 m pela popa | Trim Real: 0.641 m pela proa

Cálculo do Deslocamento:

1) Pelos Calados e Curvas Hidrostáticas:
 Deslocamento (Calado Médio, Trim real) 3225.839 t (1)
 Correção por tosamento de 0.055 m = 45.308 t (2)
 Deslocamento corrigido (1)+(2) 3271.146 t (3)
 Calado Correspondente ((3), Trim Real) 4.142 m
 Correção pela densidade no porto -10.211 t (4)
Resultados finais (sem deflexão):
 Deslocamento no porto (3)+(4) 3260.936 t (5)
 LCB -1.671 m | LCF -8.509 m | KMT 6.754 m
 Calado 4.131 m
 Trim 0.608 m pela proa
 Banda 0.164 graus para BE

2) Pelo somatório dos pesos:
 Peso do NAVIO LEVE 2772.935 t (6)
 Peso dos Tanques 413.582 t (7)
 Pesos Diversos 74.401 t (8)
 Peso das Áreas Alagadas 0.000 t (9)
 Deslocamento no porto (6)+(7)+(8)+(9) 3260.918 t (10)

Erro de Carga inicial:
 (5) - (10) = 0.018 t em LCG -25.526 m | VCG 6.004 m | TCG 0.002 m

Centro de Gravidade Inicial:
 1) Pelos Calados e C. Hidrost. LCG -1.671 m | VCG ... | TCG ...
 2) Pelo somatório dos pesos LCG -1.671 m | VCG 6.004 m | TCG 0.002 m

Esforço de Superfície Livre e GM:
 ESL Tanques 0.067 m + ESL Áreas Alag. 0.000 m = ESL Total 0.067 m
 GM sem ESL 0.750 m | com ESL 0.683 m

Fechar

Figura 4

3.3 Cálculo no Mar

Durante o tempo em que o navio estiver no mar, a grande preocupação é que todas as alterações nos pesos de bordo sejam contabilizadas. Nos navios em que haja monitoramento automático do nível dos tanques esta tarefa ficará mais simples. Caso contrário, deverá ser criada uma rotina de atualização da planilha de sondagens de tanques do SCAV. Variações

nos valores dos pesos diversos de bordo também deverão ser constantemente atualizadas na planilha de pesos do MCOE. Munição utilizada, provisões e mantimentos consumidos, um helicóptero que pousa no navio, ou seja, qualquer alteração para mais ou para menos deverá ser notificada ao MCOE. Possíveis alagamentos em compartimentos são automaticamente atualizados sempre que o SCAV detectar uma avaria de alagamento. Além disso, alterações na intensidade do vento lateral também terão que ser atualizadas na base de dados do sistema. Toda e qualquer alteração nestes parâmetros fará com que o cálculo no mar seja automaticamente refeito e assim todas as curvas e parâmetros relativos a estabilidade do navio serão atualizados.

4. SIMULAÇÕES

O MCOE permite 3 tipos de simulação: alagar compartimentos, alterar / adicionar pesos em qualquer ponto do navio e variar a intensidade de vento lateral para verificar se o navio seria aprovado ou não pelo Critério de Sarchin and Goldberg.

4.1 Alagamentos

Para simular um alagamento basta clicar o mouse num determinado compartimento. Neste momento uma pequena janela aparecerá para que se possa introduzir o percentual de alagamento desejado. Definido isto, o compartimento aparecerá na cor laranja e todo cálculo da estabilidade é refeito e rerepresentado. Como já mencionado, os alagamentos reais são representados na cor verde.

Área alagável	Posição	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	MSL(tm)	Peso Máx. (t)	Peso (t)	%
A-1-V	centro	59.000	0.000	5.000	0.000	26.7	0.0	0.0
A-101-M	centro	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0	0.0	0.0
A-201-A	centro	59.000	0.000	8.070	0.000	24.6	0.0	0.0
A-202-ABEL	centro	52.000	0.000	8.900	0.000	127.0	0.0	0.0
A-203-B	BE	45.000	1.837	8.500	0.000	78.7	0.0	0.0
A-204-AB	BB	42.400	-0.350	8.550	0.000	124.9	0.0	0.0
A-206-E	BB	39.200	-4.000	8.600	0.000	39.2	0.0	0.0
A-207-AL	centro	33.400	0.000	8.300	0.000	292.1	0.0	0.0
A-208-EL	centro	22.200	0.000	8.100	0.000	443.2	0.0	0.0
A-301-AE	centro	51.800	0.000	5.400	0.000	59.7	0.0	0.0
A-302-L	centro	42.400	0.000	5.300	0.000	194.8	0.0	0.0
A-303-AC	centro	34.600	0.000	5.300	0.000	156.8	0.0	0.0
A-304-E	centro	32.000	0.000	5.300	0.000	35.7	0.0	0.0
C.G. resultante (m):		0.000	0.000	0.000	0.000			
Peso total (t):		0.0		Esforço de Superfície Livre (m):		0.000		Fechar

Figura 5

Diversas simulações de alagamento podem ser feitas simultaneamente. Ao encerrar as simulações de alagamento através da tecla “Cancela Simulação” o navio volta a sua condição real. As informações detalhadas sobre o estado das áreas alagáveis pode ser obtidas pela tecla “Áreas Alagáveis”, como mostra a Figura 5.

4.2 Pesos Adicionais

Qualquer dos pesos pré-definidos do navio pode ser alterado a qualquer momento caracterizando uma simulação. Além disso, há a possibilidade da inclusão de até 3 pesos extras e seus respectivos CG em qualquer ponto do navio, através do preenchimento de alguns campos da janela obtida pela tecla “Pesos Diversos”, como mostra a Figura 6.

Descrição	Localização	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	Quantidade	Peso (t)
Municao 4.5mm	Pc. Municamento	45.000	0.000	8.000	20 unid.	1.007
Municao 40mm	Paiol Pronto Uso	18.000	0.000	17.500	200 unid.	0.097
Municao 40mm	A-405-M	36.000	0.000	2.000	300 unid.	0.146
Exocet	A-0214-B	12.000	0.000	16.000	6 unid.	7.200
Aspide	C-107-T	-40.000	0.000	9.500	4 unid.	1.000
Boroc 375mm	A-101-M	37.500	0.000	11.000	6 unid.	1.500
Torpedo	B-0112-M	-18.000	-4.500	13.000	10 unid.	2.365
Chaff	B-208-M	-14.000	-4.500	7.200	50 unid.	1.100
Peso Extra 1	Def. p/ operador	-24.731	0.074	7.963	1 unid.	47.679
Peso Extra 2	Def. p/ operador	-2.000	0.000	8.000	1 unid.	5.000
Peso Extra 3	Def. p/ operador	0.000	0.000	0.000	0 unid.	0.000
Outros Tanques (Pr. Incl.)	Diversos	-8.014	0.170	4.102	pre-definido	26.722
C.G. resultante (m):		-13.924	-0.080	7.666	Total (t):	93.816

At the bottom of the window, there are input fields for 'Peso Extra 2' (5.000 t), 'LCG' (-2.000), 'TCG' (0.000), and 'VCG' (8.000), along with 'Alterar' and 'Fechar' buttons.

Figura 6

4.3 Vento Lateral

A simulação do vento lateral é efetuada através da introdução de valores de intensidade num campo específico da seção de “Curvas e Critério de Estabilidade” da janela principal. A cada novo valor, a estabilidade é recalculada e seus parâmetros e curvas atualizadas. O MCOE permite um acompanhamento mais detalhado da aplicação do Critério de Sarchin and Goldberg. Ao clicar na tecla “Critério de Sarchin and Goldberg” uma janela surgirá apresentando as curvas de estabilidade estática e a curva do vento lateral, como mostra a Figura 7. Neste gráfico são visualizados o ponto de intersecção entre as curvas (c) e as áreas de interesse A1 e A2. De uma forma didática, as duas partes do critério são explicadas e o operador pode acompanhar as variáveis envolvidas sendo atualizadas automaticamente

sempre que o valor do vento é alterado ou haja qualquer alteração de pesos durante esta simulação. Para ser aprovado neste critério é necessário que as duas partes do critério sejam satisfeitas.

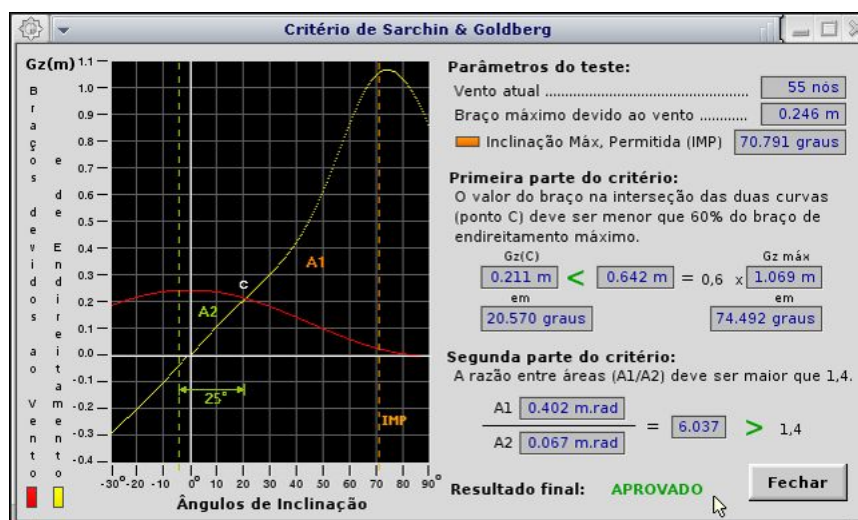


Figura 7

5. CONCLUSÃO

A automatização cada vez maior dos sistemas de controle de avarias tem sido uma preocupação constante na área naval, tanto para navios de guerra ou mercantes, como para plataformas de petróleo *offshore*. As vidas e os enormes patrimônios envolvidos nestas atividades justificam esta preocupação. O desenvolvimento do SCAV e, em particular do MCOE, vem de encontro a este esforço de melhorar as condições de segurança nos meios embarcados.

O MCOE foi a primeira iniciativa feita pela Marinha do Brasil, através do Instituto de Pesquisas da Marinha, de automatizar um procedimento extremamente necessário mas totalmente inviável de se realizar sem um suporte computacional: a avaliação on-line da estabilidade de um navio em comissão no mar. Apesar de não proporcionar uma informação totalmente precisa em função da intrínseca incerteza de alguns dados envolvidos no cálculo, o MCOE é uma ferramenta importante no dia-a-dia da operação do SCAV, pois dá uma idéia bastante confiável da estabilidade do navio enquanto estiver longe do porto.

Alguns aperfeiçoamentos no sistema poderão ser introduzidos nas próximas versões como submeter o navio a outros critérios de estabilidade além do que já é feito, como por exemplo o

Critério para Guinadas em Alta Velocidade ou o Critério para Içar Cargas Pesadas pela Borda do Navio, este último de extrema importância em pequenos navios polares ou oceanográficos, por possuírem guindastes a bordo. Outro aperfeiçoamento importante seria a introdução de um sistema de apoio a decisão para sugerir formas de compensar situações desfavoráveis da estabilidade do navio, indicando alterações na situação de tanques ou mesmo sugerindo sacrificar compartimentos através do alagamento, visando manter o navio equilibrado. Além disso, também pode-se introduzir o conceito de avaliação da estabilidade em avaria, onde parte do casco não contribui para a flutuação do navio.

6. BIBLIOGRAFIA

Comstock, J. P. (1967) **Principles of Naval Architecture**, SNAME, New York.

Marinha do Brasil (1977) **Fragata Constituição Stability Handbook**, Arsenal de Marinha do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

Marinha do Brasil (2000) **Prova de Inclinação da Fragata Liberal**, Arsenal de Marinha do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

Marinha do Brasil (2001) **Manual de Estabilidade**, Centro de Adestramento Almirante Marques de Leão, Rio de Janeiro.

Sarchin, T.H. and L.L. Goldberg (1962) **Stability and Buoyancy Criteria for U.S. Naval Surface Ships**, SNAME, New York.