

GERENCIAMENTO DE INTEGRIDADE ESTRUTURAL BASEADO EM RISCO PARA NAVIOS DE SUPERFÍCIE

Risk-based structural integrity management for surface ships

André Ricardo Mendonça Pinheiro¹, André Gustavo Barbosa²,
João Felipe Costa Casares³

Resumo: Este artigo apresenta estudo de inspeção, manutenção e reparo baseado em risco e avaliação global de estruturas de meios de superfície para subsidiar tomadas de decisão.

Palavras-chave: Gerenciamento de integridade estrutural. Risco.

Abstract: This paper presents a risk-based inspection, maintenance and repair study, and a global assessment of surface ship structures to support decision making.

Keywords: Structural integrity management. Risk.

1. INTRODUÇÃO

O envelhecimento de estruturas navais pode ser definido como sua deterioração progressiva por consequência do uso operacional e de influências ambientais. A deterioração estrutural é observada nas seguintes formas (ISSC, 2009): dano ao revestimento, corrosão, trinca, deformação e alteração nas propriedades do material.

A necessidade de contínua operação de meios em um cenário de restrição de recursos, no qual se fazem necessários menores custos operacionais, apresenta conflito com a natural deterioração das estruturas navais ao longo do tempo, cujas consequências afetam diretamente o meio ambiente e a segurança do navio e de seu pessoal e material embarcados.

Tal problemática demanda uma gestão otimizada das atividades que contribuem para a conservação da integridade de estruturas navais, pois a manutenção de um nível adequado de confiabilidade estrutural do navio se torna imprescindível para garantir o desempenho satisfatório durante seu ciclo de vida.

Dessa forma, considera-se o gerenciamento da integridade estrutural (GIE) um subprocesso da gestão do ciclo de vida (GCV), que tem por objetivo assegurar a adequada integridade estrutural do meio para sua missão (*fit for service*) durante todo o seu ciclo de vida, até seu desfazimento (CASARES, 2020a).

No ano de 2017, a Diretoria de Engenharia Naval foi incumbida pela Diretoria-Geral do Material da Marinha de implementar sistemática de gerenciamento de integridade estrutural de fragatas classe Niterói e da corveta classe Barroso. Para o atendimento de tal demanda foram necessárias diversas interações com sociedades classificadoras, com a Universidade de São Paulo, além de extensas pesquisas bibliográficas para elaborar uma especificação de serviço de Engenharia que buscasse técnicas no estado da arte. Por fim, foi realizado o processo licitatório nº 63007.002659/2017-15, denominado de “Análise de Integridade Estrutural (AIE)”, com assinatura de contrato em junho de 2018 com a sociedade classificadora RINA Brasil, de origem italiana, objetivando, por um

1. Chefe do Departamento de Sistemas de Casco da Diretoria de Engenharia Naval - Rio de Janeiro, RJ, Brasil. E-mail: andre.ricardo@marinha.mil.br

2. Encarregado da Divisão de Estruturas Navais da Diretoria de Engenharia Naval - Rio de Janeiro, RJ, Brasil. E-mail: andre.gustavo.barbosa@gmail.com

3. Ajudante da Divisão de Estruturas Navais da Diretoria de Engenharia Naval - Rio de Janeiro, RJ, Brasil. E-mail: casares@umich.edu

período de 15 anos, a identificação de providências referentes às intervenções corretivas e preventivas decorrentes do estudo.

No ano de 2020 foram entregues resultados das análises para a fragata *Constituição* e a corveta *Barroso*. Durante o desenvolvimento do trabalho para esses dois navios, que contou com participação técnica de engenheiros da Diretoria de Engenharia, foram aprofundados os conhecimentos no âmbito do gerenciamento de integridade estrutural (GIE), vislumbrando-se a necessidade de estender técnicas adquiridas a outros meios da Marinha do Brasil.

Todo o processo possibilitou o desenvolvimento, pela Diretoria de Engenharia Naval, de um método disciplinado de análise de risco aplicado a processos de inspeção, manutenção e reparo, considerado um legado do contrato. Tal metodologia, denominada de Risk-Based Inspection, Maintenance and Repair (RB[IMR]), foi utilizada de forma complementar aos resultados obtidos pela AIE, o que possibilitou o ranqueamento dos reparos indicados com relação a seus riscos associados, permitindo, assim, a otimização de recursos com redução dos custos atrelados a manutenções e reparos indicados aos meios.

A metodologia desenvolvida pela Diretoria de Engenharia Naval foi formalizada no estudo DEN-EST-MEIOS_DIV-841-001, tendo como consequente desenvolvimento o Manual Técnico DEN-MNT-MEIOS_DIV-841-001, *Manual de Inspeção e Avaliação Estrutural Baseada em Risco para Navios de Superfície*, denominado de “ENGENAINSPEC” (CASARES, 2020b).

2. OBJETIVOS

Os objetivos do GIE, balizado pelo RB(IMR), são: permitir a elaboração de um detalhado plano de inspeção e priorizar os reparos e manutenções com base em risco; estimar os custos associados à inspeção, manutenção e reparo para planos plurianuais com base em risco; otimizar a aplicação de recursos em inspeção, manutenção e reparo por meio de suas prioridades com base em risco; reduzir a subjetividade do processo de avaliação estrutural; reduzir o tempo no processo de inspeção e avaliação; majorar a confiabilidade na segurança do meio ambiente, do navio, do pessoal e do material embarcados; elencar um índice de zero a dez para a avaliação estrutural, associado a um juízo de valor, melhor subsidiando tomadas de

decisão; contribuir para a avaliação de meios dispostos à compra por oportunidade; e armazenar dados de inspeção, manutenção e reparo em banco de dados (histórico de registros).

É importante destacar que o objetivo do RB(IMR) não é reduzir o escopo de inspeção, manutenção e reparo, e sim utilizar os recursos dedicados a tais atividades de forma eficiente, reduzindo o risco global do sistema, o que é especialmente significativo em quadro de restrição de recursos. Assim, de forma metafórica, pode-se dizer que o RB(IMR) proporciona o “equilíbrio entre recursos e riscos”, em que os riscos se traduzem em níveis de necessidades de inspeção, manutenção e reparo (SERRATELLA et al., 2008).

3. METODOLOGIA

Uma das atividades mais relevantes para a avaliação técnica e o monitoramento da condição estrutural de um navio é a realização de uma criteriosa inspeção estrutural. Esta deve ser baseada em um planejamento com escopo de inspeção predefinido, de forma que se possam priorizar componentes de alto risco, determinar os intervalos de inspeção, observar os mecanismos esperados de falha, selecionar o melhor método de inspeção e definir os requisitos dos dados inspecionados (DNV, 2010). Dessa forma, torna-se necessário o estabelecimento de procedimentos que permitam orientar os navios e as Organizações Militares Prestadoras de Serviços (OMPS), com o objetivo de estabelecer “o que, quando, onde e como inspecionar” e “o que reportar”.

Segundo o estudo desenvolvido pela Diretoria de Engenharia Naval — DEN (CASARES, 2020a), verificou-se que a melhor maneira de abordar todos os processos no âmbito do GIE seria por meio de uma metodologia de análise de risco semiquantitativa, com abordagem do tipo *Preliminary Hazard Analysis* (PrHA). O PrHA é um método de avaliação de risco que define os perigos, cenários de acidentes e riscos de uma estrutura específica, processo ou sistema. Seu objetivo é desenvolver uma listagem ordenada de risco para o sistema que está sendo analisado, de forma a contribuir para tomada de decisão (WILCOX et al., 1996). Os resultados do PrHA permitem que a administração concentre esforços e recursos naquelas áreas de maior risco. É uma ferramenta útil e preliminar de avaliação de risco que não requer abordagem analítica significativa e pode ser um precursor para uma análise

mais aprofundada e quantitativa. O referido estudo também propõe em que nível de risco seria razoável evoluir a análise para quantitativa com respeito ao custo benefício.

O GIE concebido pela Marinha do Brasil, balizado pela RB(IMR), envolve três fases: fase I (planejamento), fase II (inspeção) e fase III (avaliação). As três são sequenciais e cíclicas, pois os dados colhidos na inspeção anterior alimentam informações para o planejamento da próxima inspeção.

O RB(IMR), alicerce de todo o processo, é composto de RBI, RBM e RBR e é disposto nas fases supracitadas da seguinte forma:

- RBI: fase de planejamento e inspeção (fases I e II);
- RBM e RBR: fase de avaliação (fase III).

3.1. FASE I: PLANEJAMENTO

Esta fase envolve todos os procedimentos, métodos e critérios utilizados para se estimarem, previamente à inspeção, as áreas de maior risco do meio a ser inspecionado (RBI). Com o ranqueamento de risco dessas áreas, é possível montar um escopo detalhado das atividades, frequências e métodos de inspeção, compondo o Plano de Inspeção (PI).

Esse ranqueamento é feito segundo o índice de risco (IR), definido como risco da unidade de inspeção (RUI). Tal índice é o maior valor entre outros dois: risco típico da unidade de inspeção (RTUI) e risco particular da unidade de inspeção (RPUI).

O RTUI é obtido por meio de análise de risco, via dados estatísticos, do tipo e das características do compartimento avaliado. Tais dados são obtidos do histórico de inspeção, armazenado pela administração em banco de dados. Ressalta-se que os dados armazenados por tipo de compartimento/região são oriundos das avaliações visuais da estrutura durante as inspeções realizadas, conforme os preceitos do item 3.2 deste artigo.

O RPUI é obtido pela análise de risco do chapeamento e dos reforçadores da unidade de inspeção. A avaliação dos elementos estruturais deverá ser feita mediante regra adotada pela administração. Para o estabelecimento do RPUI, necessita-se de planos do projeto original e documentos complementares da estrutura que contemplem possíveis alterações estruturais ao longo da vida do meio. Para subsidiar a análise de risco nas unidades de inspeção consideradas, realiza-se cálculo da razão entre verificações de propriedades estruturais de elementos primários, secundários e terciários em relação aos limites da regra adotada. Tais verificações compreendem

cálculos de tensão viga-navio, dimensionamento de seção transversal dos reforçadores e de espessura de chapeamento, cálculo de flambagem e de fadiga, considerando carregamentos, posicionamento longitudinal e o tipo de compartimento para a estimativa de perda de espessura por corrosão. A razão calculada permite ranquear a avaliação da unidade de inspeção em sete níveis de frequência de falha, um dos parâmetros utilizados na análise de risco, a qual será realizada de forma análoga à apresentada no item 3.3 deste artigo.

É importante mencionar que o RTUI é constantemente atualizado com os novos dados obtidos nas inspeções, enquanto o RPUI é fixo para cada classe de navio. Dessa forma, mesmo que não exista histórico inicial, a utilização da metodologia é válida ($RUI = RPUI$). No decorrer do tempo, com o histórico sendo armazenado pela administração e tendo a análise estatística aderido a padrões de tipicidade das regiões inspecionadas, o RTUI poderá ser utilizado.

3.2. FASE II: INSPEÇÃO

A inspeção do navio envolve a coleta de dados em regiões de análise considerando-se seis critérios predefinidos de inspeção:

- condição de pintura;
- corrosão generalizada;
- presença de *pitting*/alvéolos ou *grooving*;
- presença de deformação;
- presença de trincas;
- limpeza, manutenção e proteção catódica.

O procedimento é baseado no American Bureau of Ships Hull Inspection and Maintenance Program (ABS, 2017) com adaptações para meios militares.

A região sob análise será definida como unidade de inspeção (UI), sendo, prioritariamente, admitida como um compartimento do navio graças a sua praticidade de mapeamento no planejamento e no registro de dados de inspeção. Apêndices estruturais e hélices de passo fixo também serão considerados como UI e deverão ser avaliados no que couber quanto aos critérios de inspeção. O escopo de quais locais serão inspecionados é definido com base nas análises de risco na fase I (planejamento).

Cada um dos seis critérios é avaliado para cada UI segundo uma pontuação inteira de 1 a 7, denominada de índice de frequência de falha (IFF), que tem o intuito de ranquear, por julgamento de engenharia, a frequência de falha estimada com base na degradação da UI à luz dos critérios de

inspeção. O IFF de cada critério para cada UI irá denotar sua condição como boa, regular ou ruim e corresponderá a uma das três cores, respectivamente: verde, amarelo ou vermelho. O IFF de cada critério de inspeção possui para cada um dos sete níveis no “ENGENAINSPEC”: descrições detalhadas sobre a condição do material, ações/repares padronizados e registros fotográficos balizadores do estado do material.

Adicionalmente aos IFF, será atribuída para cada critério de inspeção uma pontuação inteira de 1 a 4, denominada de índice de consequência de falha (ICF). O ICF ranqueia, qualitativamente, a consequência da falha, a qual é avaliada como o grau do dano causado desde que tal falha ocorra (pequeno, significativo, severo ou catastrófico) e segundo três tipos de consequência (efeitos na segurança do pessoal, efeitos no navio e efeitos no meio ambiente). A consequência da falha, quando não envolve perda de estanqueidade, danos ao pessoal ou ao meio ambiente, pode ser avaliada em termos da resistência estrutural residual considerando a falha do elemento. Assim, de maneira

a possibilitar a adequada avaliação de consequência de falha em estruturas, os componentes estruturais são classificados de acordo com o impacto de suas falhas na resistência residual em três categorias de elementos: primário, secundário e terciário.

3.3. FASE III: AVALIAÇÃO

Representa-se o RUI como o maior risco entre os seis critérios avaliados naquela UI. O risco associado a cada um dos seis critérios é estabelecido por meio de uma matriz de risco 7x4, conforme adotado pela *IMO Guidelines on FSA* (IMO, 2018): uma pontuação é atribuída em uma escala discreta de 1 a 7 para a condição do material avaliada no critério em lide (IFF) e outra pontuação é atribuída em uma escala discreta de 1 a 4 para a consequência da falha em efeitos de segurança do pessoal, navio e meio ambiente (ICF). A matriz de risco é apresentada na Figura 1 (CASARES, 2020a).

O IR em cada um dos seis critérios é determinado pela Equação 1:

IFF	Frequência de Falha	MATRIZ DE RISCO				
7	Frequente	7	8	9	10	
6		6	7	8	9	
5	Razoável	5	6	7	8	
4		4	5	6	7	
3	Remota	3	4	5	6	
2		2	3	4	5	
1	Extremamente Remota	1	2	3	4	
Consequência de Falha		Pequena	Significante	Severa	Catastrófica	
TIPOS	Efeitos na segurança do pessoal	Somente um ferimento ou pequenos ferimentos	Multiplos ferimentos ou ferimento grave	Uma fatalidade ou multiplos ferimentos graves	Multiplas Fatalidades	
	Efeitos no navio	Avaria local	Avaria não severa no navio	Avaria severa no navio	Perda total do meio	
	Efeitos no Meio Ambiente	Pequeno efeito	Efeito local	Grande efeito	Efeito massivo	
ICF		1	2	3	4	
					Risco Alto	
					Risco Moderado	
					Risco Baixo	

IFF: índice de frequência de falha; ICF: índice de consequência de falha.

Figura 1. Matriz de risco.

$$IR = IFF + ICF - 1, \text{ logo } RUI = \max \{IR_i\}, \quad (1)$$

$i = 1, \dots, 6$ (critérios de inspeção)

Define-se:

Risco Estrutural do Navio (REN) = maior RUI entre todas as UI;

Condição Estrutural Geral (CEG) = mediana dos RUI.

Assim, a definição da avaliação estrutural do navio é realizada por meio da Tabela 1, que possui como dados de entrada os valores de REN (colunas) e CEG (linhas) e, como dado de saída, o valor de AEN (interseção da linha CEG com a coluna REN):

Para cada valor de AEN, apresenta-se seu juízo de valor e recomendam-se as seguintes ações:

- $10,0 \geq AEN \geq 8,5$ (excelente): somente riscos baixos. Nenhuma ação além de monitoramento e pequenas ações preventivas ou corretivas;

- $8,4 \geq AEN \geq 7,1$ (bom): quantidade majoritária de riscos baixos em relação aos moderados. Correção das não conformidades que apresentam risco moderado;
- $7,0 \geq AEN \geq 6,5$ (regular): quantidade majoritária de riscos moderados em relação aos baixos. Correção das não conformidades que apresentam risco moderado;
- $6,4 \geq AEN \geq 3,6$ (regular-ruim): quantidade majoritária de riscos baixos em relação aos moderados e/ou altos. Correção das não conformidades que apresentam risco alto e moderado. Prioritariamente das que apresentam risco alto;
- $3,5 \geq AEN \geq 2,0$ (ruim): quantidade majoritária de riscos altos e/ou moderados em relação aos baixos. Avaliar a aceitabilidade do custo-benefício dos reparos em detrimento do desfazimento do meio (do ponto de vista estrutural) ou da realização de análise computacional por elementos finitos da estrutura, considerando corrosão e

Tabela 1. Avaliação estrutural do navio.

AVALIAÇÃO ESTRUTURAL DO NAVIO (AEN)			REN									
			BAIXO				MODERADO		ALTO			
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
CEG	RUIM	10										0.0
		9.5										0.1
		9									0.8	0.2
		8.5									0.9	0.3
		8								1.4	1.0	0.4
		7.5								1.5	1.1	0.5
	7							1.8	1.6	1.2	0.6	
	6.5							1.9	1.7	1.3	0.7	
	REGULAR	6						6.5	3.2	2.8	2.4	2.0
		5.5						6.6	3.3	2.9	2.5	2.1
5						6.9	6.7	3.4	3.0	2.6	2.2	
4.5						7.0	6.8	3.5	3.1	2.7	2.3	
BOM	4				8.5	7.8	7.1	5.8	5.1	4.3	3.6	
	3.5				8.6	7.9	7.2	5.9	5.2	4.4	3.7	
	3			9.2	8.7	8.0	7.3	6.0	5.3	4.5	3.8	
	2.5			9.3	8.8	8.1	7.4	6.1	5.4	4.6	3.9	
	2		9.7	9.4	8.9	8.2	7.5	6.2	5.5	4.7	4.0	
	1.5		9.8	9.5	9.0	8.3	7.6	6.3	5.6	4.8	4.1	
1	10.0	9.9	9.6	9.1	8.4	7.7	6.4	5.7	4.9	4.2		

REN: risco estrutural do navio; CEG: condição estrutural geral.

Fonte: Casares (2020a).

carregamentos, de forma a prever manutenções necessárias para manter o navio em condição operativa por mais tempo; e

- $1,9 \geq AEN \geq 0,0$ (péssimo): quantidade significativa de riscos altos em relação aos demais riscos. Avaliar a aceitabilidade do custo-benefício dos reparos em detrimento do desfazimento do meio (do ponto de vista estrutural).

Na medida em que é comum não ser possível inspecionar todas as UI de um escopo de campanha de inspeção, definiu-se confiabilidade da inspeção (CI) como a razão da ponderação da quantidade de UI inspecionadas em relação à ponderação de todas as UI do escopo de inspeção, tomando-se como peso o RUI ou ICF de cada UI (o RUI das UI não inspecionadas será aquele estimado na fase de planejamento, conforme demonstrado no item 3.1 deste artigo. Alternativamente, o ICF poderá ser utilizado caso a fase de planejamento não tenha sido realizada). É considerada válida a inspeção com CI superior a 50%, que possibilita garantir a maior contribuição global de compartimentos relevantes (apresentam riscos mais altos) na avaliação do navio. Compartimentos com acesso visual inferior a 25% são considerados riscos desconhecidos e farão parte do escopo de inspeções futuras em curto prazo, juntamente com os riscos altos. Ressalta-se que uma inspeção estrutural pode ter um mapeamento de risco (MR) (razão da quantidade de UI inspecionadas em relação à quantidade total de UI) superior a 50% e possuir uma CI inferior a 50%. Nesse caso, conclui-se que os compartimentos inspecionados, de forma geral, são pouco relevantes em relação aos não inspecionados, em termos de risco.

4. RESULTADOS

A metodologia apresentada teve larga aplicação em diversas avaliações de estado do material no que tange ao sistema de estruturas para meios distritais, navios da Diretoria de Hidrografia e Navegação, navios de apoio e navios escoltas da Esquadra. Para estes últimos, a metodologia RB(IMR) teve especial importância no sentido de permitir, em um curto período de tempo (15 dias a partir da demanda inicial, considerando-se inspeções), a emissão de juízo de valor com

respeito à estrutura de seis navios-escolta, de forma criteriosa e balizada pelo risco, possibilitando melhores e tempestivos subsídios às decisões da Alta Administração Naval quanto à extensão da vida útil dos meios, dada a estimativa de incorporação das futuras fragatas classe “Tamandaré”.

Adicionalmente, a metodologia foi empregada para a avaliação do estado da estrutura de meios, originalmente não militares, requisitados para possíveis compras por oportunidade, o que demonstra a flexibilidade de sua aplicação.

Na medida em que os resultados aplicados aos meios da Marinha do Brasil são reservados, indicaremos os resultados do navio hipotético *Risco*, de forma a ilustrar a potencialidade da metodologia. O histograma da distribuição de riscos e o percentual de distribuição de riscos altos por critério de inspeção são apresentados na Figura 2.

Considerando-se as inspeções no navio *Risco*, apresentam-se:

- REN: 8 (alto);
- CEG: 3 (bom);
- AEN: 5,3 (regular-ruim);
- quantidade de UI: 355;
- quantidade de UI com risco alto: 17 (5% das UI do escopo da inspeção);
- quantidade de UI com risco moderado: 53 (15% das UI do escopo da inspeção);
- quantidade de UI com risco baixo: 171 (48% das UI do escopo da inspeção);
- MR: 68%;
- CI: 54% (aprovada).

A listagem de não conformidades é indicada em um formulário de inspeção (FI), o qual ordena as UI em ordem decrescente de riscos. Assim, as ações necessárias devem ser tomadas na ordem apresentada, considerando-se cada recomendação associada a seu respectivo nível de IFF para cada um dos seis critérios de inspeção (RBR e RBM).

Caso os riscos altos sejam eliminados, a AEN subirá para 7,3 (bom). Assim, os efeitos da mitigação de riscos altos são preponderantes para a avaliação estrutural do navio. A realização de reparos de baixo risco pouco influenciam na avaliação. Dessa forma, recomenda-se que os custos estimados para reparo considerem somente riscos altos e moderados, o que representa redução de custos em 48% das UI avaliadas, fato extremamente relevante em quadro de restrição orçamentária.

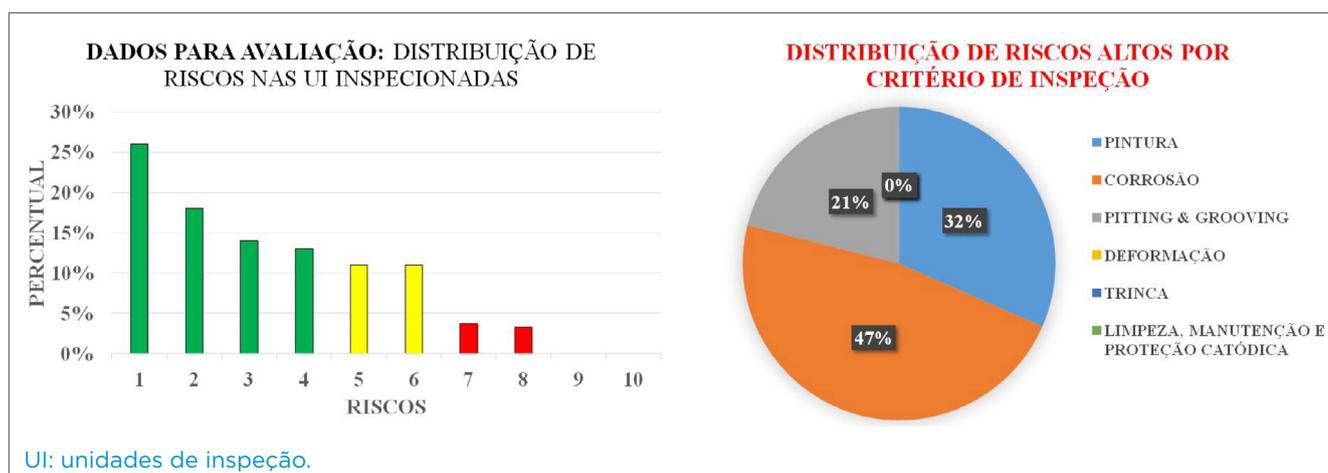


Figura 2. (A) Histograma da distribuição de riscos. (B) Percentual de distribuição de riscos altos por critério de inspeção.

5. CONCLUSÃO

A metodologia RB(IMR), utilizada de forma basilar com respeito ao processo de GIE, tem proporcionado resultados concretos perante as necessidades da Marinha do Brasil. As estratégias de inspeção, manutenção e reparo sofreram alterações com o tempo, e a abordagem baseada em risco representa uma significativa evolução no GIE em comparação às estratégias tradicionais (baseadas no tempo e na condição)

(SERRATELLA et al., 2008). Isso porque permite, entre outras vantagens, a alocação de recursos (financeiro, mão de obra, tempo, equipamentos, análises etc.) à inspeção, manutenção e reparo de forma coerente com a ordenação de riscos.

Como tendência futura, vislumbram-se a normatização dos processos, a utilização de aplicativos de dispositivos móveis para armazenar dados durante as inspeções e, à proporção de um maior amadurecimento, a evolução para processos em um espectro mais quantitativo de análise.

REFERÊNCIAS

AMERICAN BUREAU OF SHIPPING (ABS). *Inspection Grading Criteria for the ABS Hull Inspection and Maintenance Program (HIMP)*. American Bureau of Shipping, 2017.

CASARES, J. F. C. *DEN-EST-MEIOS_DIV-841-001: estudo de implementação de inspeção baseada em risco (RBI), reparo baseado em risco (RBR), plano de inspeção e avaliação estrutural de navios de superfície*. Rio de Janeiro: Diretoria de Engenharia Naval, 2020a.

CASARES, J. F. C. *ENGENAINSPEC: manual de inspeção e avaliação estrutural baseada em risco para navios de superfície*. Rio de Janeiro: Diretoria de Engenharia Naval, 2020b.

DET NORSKE VERITAS (DNV). *Recommended practice - DNV-RP-G101: risk based inspection of offshore topsides static mechanical equipment*. Det Norske Veritas, 2010.

INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION (IMO). *MSC-MEPC.2-Circ.12-Rev.2: revised guidelines for formal safety assessment (FSA)*

for use in the imo rule-making process. Londres: International Maritime Organization, 2018.

ISSC. Condition assessment of aged ships and offshore structures. In: INTERNATIONAL SHIP AND OFFSHORE STRUCTURES CONGRESS, 17., 2009, Seoul. *Anais [...]*. Seoul: ISSC, 2009. 365 p.

SERRATELLA, C.; WANG, G.; TIKKA, K. Risk-based inspection and maintenance of aged structures. In: PAIK, J. K.; MELCHERS, R. E. (org.). *Condition assessment of aged structures*. Cambridge: Woodhead, 2008. p. 497-528.

WILCOX, R. C.; KARASZEWSKI, Z. J.; AYYUB, B. M. Methodology for risk-based technology applications to marine system safety. In: SHIP STRUCTURE SYMPOSIUM, 1996, Arlington. *Anais [...]*. Arlington: Society of Naval Architects and Marine Engineers and Ship Structure Committee, 1996.