

BOAS PRÁTICAS DE GESTÃO DO CICLO DE VIDA PARA MEIOS NAVAIS COM PROPULSÃO NUCLEAR

Best practices applied to life cycle management
for ships with nuclear propulsion

Antonelly Assis Gregorio de Sousa¹, José Gilberto Fernandes Junior²,
Eduardo Augusto Maia Bezerra³, Amilton de Sousa Lins Junior⁴,
Carlos Alberto de Abreu Madeira⁵

Resumo: Com o intuito de adquirir o máximo desempenho dos produtos de Defesa, as Forças Armadas Brasileiras vêm empregando técnicas consolidadas de gestão de ciclo de vida (GCV). Em cumprimento às diretrizes da Estratégia Nacional de Defesa, a Marinha do Brasil (MB) procura concluir seu Programa de Desenvolvimento de Submarinos, visando obter a capacidade plena de projetar, construir, operar, manter e descomissionar submarinos convencionais com propulsão diesel-elétrica e com propulsão nuclear. Em virtude das especificidades dos sistemas componentes de um submarino convencional com propulsão nuclear (SCPN), faz-se necessário que a GCV desses meios incorpore inéditos requisitos afetos à segurança nuclear naval. Entre outras iniciativas, a MB criou a Autoridade Naval de Segurança Nuclear e Qualidade (ANSNQ) e a Agência Naval de Segurança Nuclear e Qualidade (AgNSNQ), objetivando promover o licenciamento e a fiscalização desses meios navais e de suas plantas nucleares embarcadas, além do transporte de seu combustível nuclear. Por meio de uma pesquisa bibliográfica, este artigo levantou boas práticas e requisitos de GCV relacionados a submarinos nucleares por forças armadas. Tais resultados foram comparados à sistemática atualmente definida pela Diretoria de Gestão de Programas da Marinha para que, em uma proposta de parceria com a AgNSNQ, possam ser aplicados à GCV do SCPN.

Palavras-chave: Gestão de ciclo de vida. Submarinos nucleares. Segurança Nuclear e Marinha do Brasil.

Abstract: In order to acquire the maximum performance of Defense products, the Brazilian Armed Forces have been employing consolidated Life Cycle Management (GCV) techniques. In compliance with the guidelines of the National Defense Strategy (END), the Brazilian Navy (MB) seeks to complete its Submarine Development Program (PROSUB) in order to obtain full capacity to design, build, operate, maintain, and decommission conventional submarines with propulsion diesel-electric and nuclear-powered. Due to the specificities of the component systems of a Conventional Submarine with Nuclear Propulsion (SCPN), it is necessary that the GCV of these means incorporate unprecedented requirements related to naval nuclear safety. Among other initiatives, MB created the Naval Authority for Nuclear Safety and Quality (ANSNQ) and the Naval Agency for Nuclear Safety and Quality (AgNSNQ) aiming to promote the licensing and inspection of these naval resources and their on-board nuclear plants, in addition to the transport of its nuclear fuel. Through a literature search, this article raised GCV best practices and requirements related to nuclear submarines by armed forces. These results were compared to the system currently defined by the Navy Program Management Board (DGePM) so that, in a proposal for a partnership with AgNSNQ, they can be applied to the SCPN's GCV.

Keywords: Life cycle management. Nuclear submarines. Nuclear Safety and Brazilian Navy.

1. Mestre em Metrologia e Qualidade pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. Ajudante da Divisão de Planejamento e Controle da Agência Naval de Segurança Nuclear e Qualidade na Marinha do Brasil - Rio de Janeiro, RJ - Brasil. E-mail: aagregoriodesousa@hotmail.com

2. Engenheiro eletrônico pela Universidade Federal de Pernambuco. Ajudante da Divisão de Garantia da Qualidade da Agência Naval de Segurança Nuclear e Qualidade na Marinha do Brasil - Rio de Janeiro, RJ - Brasil. E-mail: j.gilbertofernandes@gmail.com

3. Engenheiro mecânico pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Ajudante da Divisão de Garantia da Qualidade da Agência Naval de Segurança Nuclear e Qualidade na Marinha do Brasil - Rio de Janeiro, RJ - Brasil. E-mail: haduardo@hotmail.com

4. Doutor em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal Fluminense. Ajudante da Divisão de Segurança Nuclear Naval da Agência Naval de Segurança Nuclear e Qualidade na Marinha do Brasil - Rio de Janeiro, RJ - Brasil. E-mail: amilton.slins@gmail.com

5. Mestre em Estudos Estratégicos de Defesa e da Segurança pela Universidade Federal Fluminense. Chefe do Departamento de Planejamento e Desenvolvimento Organizacional da Agência Naval de Segurança Nuclear e Qualidade - Rio de Janeiro, RJ - Brasil. E-mail: abreu.madeira@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2015) define produto como sendo o resultado de um processo, que pode ser, de forma genérica, algo tangível como peças de um maquinário, ferramentas ou roupas, ou algo intangível como serviços.

Especificamente no âmbito das Forças Armadas Brasileiras, uma gama diferenciada de produtos é definida como produtos de defesa (PRODE). Essa nomenclatura é utilizada para classificar os bens, serviços, obras ou informações aplicadas em atividades específicas de defesa, tais como armamentos, munições, fardamentos, meios de transporte e de comunicações e materiais de uso individual e coletivo destinados a aplicação militar, desde que não sejam de uso administrativo (MINISTÉRIO DA DEFESA, 2019a).

Com o intuito de adquirir o máximo desempenho dos PRODE, as Forças Armadas Brasileiras vêm empregando técnicas consolidadas de gestão de ciclo de vida (GCV), baseando-se nas técnicas de engenharia de *software* e sistemas, conforme definido no Manual de Boas Práticas para Gestão do Ciclo de Vida de Sistemas de Defesa.

Em cumprimento às diretrizes da Estratégia Nacional de Defesa (END), a Marinha do Brasil (MB) procura concluir seu principal programa estratégico, denominado de Programa de Desenvolvimento de Submarinos (PROSUB), que objetiva dotar a MB com a capacidade de projetar, construir, operar, manter e descomissionar submarinos convencionais com propulsão *diesel*-elétrica e com propulsão nuclear.

Em virtude das especificidades dos sistemas componentes de um submarino convencional com propulsão nuclear (SCPN), que deve operar de forma a garantir que não haja riscos à tripulação, aos indivíduos do público e ao meio ambiente em razão da exposição indevida à radiação, faz-se necessário que a GCV desses meios incorpore inéditos requisitos afetos à segurança nuclear naval.

Entre outras iniciativas, a MB criou a Autoridade Naval de Segurança Nuclear e Qualidade (ANSNQ), responsável por promover o licenciamento e a fiscalização dos meios navais e de suas plantas nucleares embarcadas, além do transporte de seu combustível nuclear, e a Agência Naval de Segurança Nuclear e Qualidade (AgNSNQ), órgão de assessoria técnica da ANSNQ, ao qual cabe a responsabilidade pela elaboração, revisão e proposição de normas afetas à segurança

nuclear naval, prevendo requisitos que serão aplicáveis em toda a gestão do ciclo de vida de SCPN.

Perante os desafios postulados, este artigo teve como objetivo o levantamento de boas práticas e requisitos de GCV e está estruturado em seis seções: esta primeira, introdutória; a segunda, que contém um referencial teórico; a terceira, que descreve os métodos empregados na pesquisa; a quarta, que apresenta os resultados obtidos; a quinta, em que é feita a discussão desses resultados; e a sexta, que traz uma conclusão a respeito do tema.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. GERENCIAMENTO DO CICLO DE VIDA

Todo produto tem um tempo de vida útil, durante o qual ele entrega algum valor a seu usuário, ou seja, tem utilidade. Esse tempo médio é denominado de ciclo de vida do produto e corresponde à quantidade de tempo em que o produto está disponível para comercialização, tendo início com o ingresso dele no mercado e terminando com sua retirada (MORO, 2018). Considera-se uma característica desse ciclo de vida o projeto do produto, que tem grande relevância não apenas no estudo de sua viabilidade econômica, mas também na implementação da cadeia logística necessária a sua distribuição no mercado consumidor.

A inovação, como forma de diferenciação e agregação de valor aos produtos, tornou-se uma ferramenta de alto valor competitivo no atual mercado globalizado. Ela exige dos fabricantes o contínuo aperfeiçoamento tanto de seus produtos quanto de seus processos, o que consequentemente leva à necessidade de gerenciamento dos diversos fatores ligados ao desenvolvimento dos produtos, principalmente pela complexidade desses sistemas (ENGINEERING USA, 2020). A necessidade da administração desses processos fomentou a definição e o uso dos conceitos de gestão do ciclo de vida do produto (PLM, do inglês *product lifecycle management*), a qual tornou-se uma base fundamental da tecnologia da informação (TI) em fabricação. O PLM está fundamentado na elaboração e no gerenciamento sistemático de forma integral dos dados do produto e da tecnologia utilizada para acessar essa informação e conhecimento, que serão utilizados para tomadas de decisão e melhorias no processo (de aquisição, uso e disposição) (ENGINEERING USA, 2020).

A GCV proporciona à sociedade um conjunto de ferramentas que possibilita a melhoria do processo de compra, habilitando o registro, a organização e a utilização dos dados gerados nos diversos processos de aquisição ou projetos, fornecendo o adequado subsídio aos tomadores de decisões. A GCV tem a capacidade de integrar dados em todos os processos de aquisição, o que permite eliminar esforços redundantes e aumentar a reutilização, tornando tais processos mais eficientes (SCHINDLER, 2010).

Esses fatores são relevantes às indústrias de defesa, pois operam e fornecem produtos e sistemas de alta capacidade tecnológica e complexidade. Isso porque cada nação soberana procura manter um contínuo aperfeiçoamento de seus sistemas defensivos no intuito de assegurar condições de vanguarda em relação a seus rivais, tanto em modos de defesa como de ataque, criando um efeito dissuasório adequado em sua política de defesa (AMARANTE, 2012).

Em vista disso, os processos de aquisição de produtos e sistemas de defesa são de grande relevância aos países e suas políticas de defesa nacional.

Esses processos de aquisição englobam desde o levantamento das necessidades do país e suas respectivas forças até a alienação do material. Isso tanto para o caso de aquisição direta, por intermédio de uma compra, quanto para os de desenvolvimento endógeno. Esse processo é administrado por meio da gestão do ciclo de vida do produto, a qual segue o modelo estabelecido na engenharia de sistemas, baseado na definição, no estudo e na gerência de cinco fases distintas: levantamento das necessidades, pesquisa e desenvolvimento (P&D), produção, utilização e alienação (AMARANTE, 2012).

2.2. GESTÃO DO CICLO DE VIDA EM INSTALAÇÕES NUCLEARES

De acordo com o glossário da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN, 2021), as instalações nucleares são os locais onde materiais nucleares são produzidos, processados, reprocessados, utilizados, manuseados ou estocados em quantidades significativas, sendo os reatores nucleares classificados como instalações desse tipo (CNEN, 2021).

Uma instalação nuclear dotada de reator, cuja atividade finalística é a geração de energia elétrica, faz uso do calor oriundo das reações nucleares, que ocorrem de forma controlada no interior de um reator, para transformar água em vapor. Este será utilizado no acionamento de uma turbina

ligada a um gerador para, dessa forma, produzir a eletricidade (SOARES et al., 2019). São predominantes nessas instalações destinadas à geração de energia elétrica as plantas nucleares do tipo “reator de água pressurizada” (PWR, do inglês *pressurized water reactor*) (CUNHA et al., 2012).

As instalações nucleares que possuem reatores do tipo PWR têm dois circuitos termo-hidráulicos fechados, que utilizam água como fluido de trabalho, sendo o primeiro denominado de sistema de resfriamento do reator, ou circuito primário, onde a água é mantida na fase líquida a temperatura e pressão elevadas, e o segundo denominado de sistema de conversão de energia, ou circuito secundário, onde a água sofre mudança de fase em um ciclo Rankine. Cabe ressaltar que esses circuitos são fisicamente separados, ocorrendo a troca de calor entre os fluidos de trabalho em um equipamento chamado gerador de vapor (CUNHA et al., 2012).

Kibrit e Aquino (2015) sugerem que os responsáveis por uma instalação nuclear devem estabelecer e implementar um sistema de gerenciamento do ciclo de vida, considerando as seguintes fases: projeto, construção, comissionamento, operação, incluindo a previsão de futuras modificações e/ou renovações e descomissionamento.

Levando-se em conta que as instalações nucleares voltadas para a geração de energia elétrica possuem um tempo determinado de funcionamento, surge a necessidade de se pensar, desde seu projeto, quais ações deverão ser adotadas ao fim de sua vida útil. Logo, há a necessidade de serem adotadas, tanto na fase de projeto quanto nos projetos futuros relacionados com modificações ou substituições, as medidas que facilitem a gestão eficaz do ciclo de vida da instalação ao longo da vida útil do reator (CNSC, 2014).

A Figura 1 representa, de forma esquemática, as fases do ciclo de vida de uma instalação nuclear destinada à geração de energia elétrica.

As etapas ilustradas na Figura 1 — de fabricação; cronograma e planejamento da construção; e construção — devem ser contempladas no gerenciamento do ciclo de vida de uma instalação nuclear, em virtude da necessidade de se garantir que os mais diversos componentes e sistemas que a constituem não apresentem degradação prematura, o que afetaria de forma inesperada seu tempo útil de funcionamento (CNSC, 2014).

Durante a fase de comissionamento de uma instalação nuclear, devem ser adotadas medidas apropriadas visando

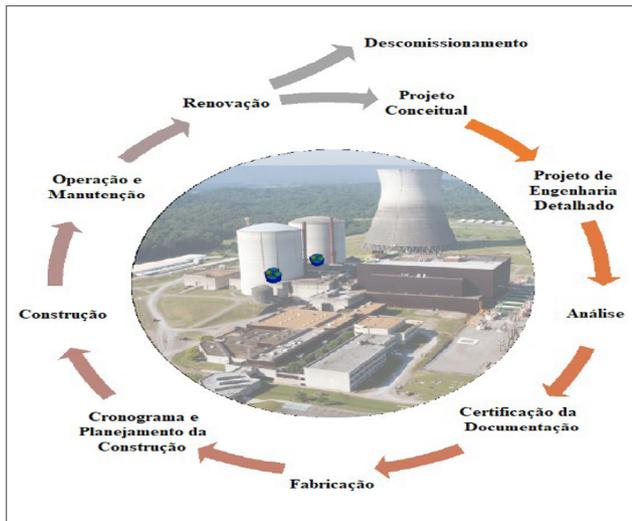


Figura 1. Ciclo de vida de uma instalação nuclear.

garantir que os dados importantes para o gerenciamento do ciclo de vida sejam adquiridos, bem como devem ser verificados os parâmetros e as condições críticas de funcionamento, tais como aqueles considerados na qualificação do equipamento e nas suposições de degradação observadas nas análises de segurança do projeto (CNSC, 2014).

Os operadores das instalações nucleares devem buscar introduzir no gerenciamento do ciclo de vida de suas instalações a implementação de processos, programas e procedimentos que visem gerenciar a degradação e a obsolescência dos mais diversos sistemas e componentes durante a operação dessas instalações, com o objetivo de garantir que as funções de segurança necessárias sejam mantidas durante toda essa fase (CNSC, 2014).

Com o fim de viabilizar economicamente uma instalação nuclear geradora de energia elétrica, dá-se início a seu descomissionamento, visando tornar o espaço onde ela está localizada isento de riscos, ou seja, seguro. O processo de descomissionamento consiste na adoção de diversas ações, entre elas: a verificação dos aspectos legais; as estratégias de descomissionamento; o planejamento; o desmantelamento; a embalagem, o transporte e a estocagem de um grande volume de material radioativo; e recursos humanos e financeiros (MELO; MAIORINO, 2013).

Há a possibilidade de três estratégias a serem seguidas no descomissionamento de plantas nucleares: desmantelamento imediato, com a retirada imediata dos equipamentos, estruturas e material radioativo contidos na instalação e a

liberação do local para uso irrestrito; desmantelamento protelado, que consiste em aguardar um período específico para que ocorra o decaimento radioativo dos produtos de fissão presentes na instalação, permitindo o desmantelamento com níveis de radiação permissíveis pelas normas e recomendações nacionais e internacionais; e confinamento, em que sistemas, estruturas e componentes radioativos são encapsulados em virtude do elevado tempo de decaimento radioativo dos materiais físséis presentes na instalação, devendo-se adotar o constante monitoramento desta para o acompanhamento dos níveis de radiação, para que, quando estes estiverem de acordo com os parâmetros aceitáveis, se proceda com o desmantelamento (MELO; MAIORINO, 2013).

Após a etapa de descomissionamento de uma instalação nuclear ou de ações de descontaminação de sistemas ou troca de combustível nuclear, há a geração de rejeitos radioativos. Estes podem ser classificados como de alto (combustíveis irradiados), médio e baixos níveis de radiação, tendo os de níveis baixos e intermediários baixo custo de tratamento e gerenciamento e exigindo baixa sofisticação tecnológica (CARAJILESCOV; MOREIRA, 2008). Os combustíveis nucleares irradiados, oriundos das recargas dos núcleos dos reatores, são inicialmente armazenados nas piscinas de combustíveis irradiados, que ficam localizadas na própria instalação nuclear até que haja a redução do calor residual. Em seguida, o combustível irradiado pode ser armazenado de forma apropriada em locais destinados para esse fim, ou ser reciclado, caso em que o material é reprocessado e reaproveitado na produção de combustível nuclear (CARAJILESCOV; MOREIRA, 2008).

2.3. GERENCIAMENTO DO CICLO DE VIDA NAS FORÇAS ARMADAS BRASILEIRAS

No âmbito das Forças Armadas, os produtos são avaliados com relação aos aspectos de segurança e qualidade, visando manter sua capacidade de operação. É imprescindível que não haja redução dessas capacidades, como, por exemplo, pela indisponibilidade de algum de seus sistemas. Dessa forma, eles têm que ser geridos buscando-se manter suas características ao longo de sua vida útil. Entretanto, numa realidade de recursos limitados, é necessário fazer uma adequada gestão, equilibrando os recursos disponíveis e a operacionalidade dos sistemas. Dessa forma, a gestão do ciclo de vida de sistemas de defesa (GCVSD) é composta de seis fases (concepção, desenvolvimento, produção, operação, apoio e desfazimento), que

compreendem atividades específicas com foco na otimização dos custos envolvidos ao longo de todo o ciclo de vida dos sistemas de defesa (MINISTÉRIO DA DEFESA, 2019b).

Cabe destacar que a GCVSD aborda questões de risco, tempo de obtenção e qualidade dos sistemas e produtos de defesa, controlando, quantificando e gerindo os custos do ciclo de vida (CCV) de forma que os processos de obtenção sejam consistentes e tenham o compartilhamento de recursos, informação e tecnologias de maneira efetiva e sustentável (MINISTÉRIO DA DEFESA, 2019b).

Uma diferença no gerenciamento do ciclo de vida de produtos civis para produtos de defesa é a adição, no caso dos produtos militares, de uma etapa no fim de sua vida útil. Esta é denominada de revitalização e consiste em uma manutenção minuciosa, capaz de restaurar a capacidade operativa de tal produto ou sistema, ou ainda em sua modernização, que, além recondiçaná-lo, terá incorporado tecnologias atuais, melhorando sua capacidade operativa e tornando-o adequado às necessidades contemporâneas de emprego (MORO, 2018).

No âmbito do Ministério da Defesa (MD), responsável pela realização de estudos voltados ao desenvolvimento das atividades de GCV, foi instituída a Subcomissão de Ciclo de Vida de Produtos de Defesa (CVPRODE), cujo propósito é o assessoramento no desenvolvimento das atividades de implantação e consolidação da GCVSD, em conformidade com as atividades oriundas do Comitê Aliado 327 da Organização do Tratado do Atlântico Norte — OTAN (AC/327); e que foi precedida de uma atualização da doutrina sobre GCVSD relativa ao MD e às Forças Armadas Brasileiras (MINISTÉRIO DA DEFESA, 2019c). Com relação aos sistemas de defesa, o ciclo de vida compreende desde a fase de definição dos requisitos operacionais preliminares, que deverão atender à capacidade militar desejada, até a fase de desfazimento, em que ocorre sua retirada do ambiente operacional e a inutilização do sistema de defesa (MINISTÉRIO DA DEFESA, 2019b).

A MB tem aplicado as ferramentas de GCV nos programas de aquisição de seus novos meios. Os conceitos utilizados na MB estão baseados nas normas estabelecidas na OTAN, com a devida e pertinente contextualização, e combinados aos princípios doutrinários em desenvolvimento no âmbito do MD. A gerência do ciclo de vida dos sistemas de defesa empregado na MB visa assegurar que os processos empregados em cada uma das fases de vida dos sistemas sob sua

propriedade sejam consistentes e consoantes, permitindo o compartilhamento eficiente e coordenado de recursos, informação e tecnologia (GOMES, 2018).

O Exército Brasileiro (EB) tem definida sua doutrina de gestão do ciclo, intitulada *Instruções gerais para a gestão do ciclo de vida dos sistemas e materiais de emprego militar* (SMEM), em que estão estabelecidos métodos, atividades e eventos que ocorrem durante o ciclo de vida dos SMEM. Segundo essas instruções, a GCV deverá ordenar e descrever os principais processos, atividades e eventos que ocorrem durante o ciclo de vida dos produtos, provendo dados e informações em todas as suas fases e designando, ainda, a ordem e os órgãos responsáveis por cada uma dessas etapas. Cabe ressaltar que essa instrução geral está alinhada aos conceitos da engenharia de sistemas (EXÉRCITO BRASILEIRO, 2016).

Por sua vez, a Força Aérea Brasileira (FAB) constituiu o documento *Ciclo de vida de sistemas e materiais da aeronáutica*, que define o planejamento e a execução das fases e eventos, regula e define as responsabilidades de cada organização no âmbito da FAB para a gerência do ciclo de vida. São definidas nove fases: concepção, viabilidade, definição, desenvolvimento ou aquisição, produção, implantação, utilização, revitalização, modernização ou melhoria e desativação. O documento prevê que os materiais ou sistemas sejam acompanhados de certificado de garantia, no qual estarão estabelecidos o desempenho e período de uso requeridos, considerando ainda processos de certificação e estimativa de custos nas fases pertinentes (FAB, 2007).

Cabe ressaltar que no Brasil, de forma geral, os estudos e normas vigentes relativos à GCV de produtos são pouco realizados quando comparados com os afetos ao CCV, cujo objetivo central é a otimização da relação custo-benefício e a melhoria do desempenho com o aumento da confiabilidade e da disponibilidade dos produtos e sistemas (GOMES, 2018).

2.4. DIRETORIA DE GESTÃO DE PROGRAMAS DA MARINHA

Desde de 2013, a MB dispõe da Diretoria de Gestão de Programas da Marinha (DGePM), uma organização militar (OM) dedicada à gestão dos programas e projetos, à obtenção e à manutenção dos sistemas e meios navais por meio do gerenciamento de seu ciclo de vida, desde a concepção até o descarte/descomissionamento. A referida OM atua, também, como organização militar orientadora técnica (OMOT) do

tema GCV, operando em coordenação com as demais diretorias especializadas (DE) e outras OM envolvidas com os programas estratégicos da MB, com o intuito de empregar as diretrizes exaradas pelo MD, assegurando que os requisitos que condicionam a obtenção de sistemas de defesa sejam mantidos ao longo de todo o seu ciclo de vida, buscando uma relação ótima entre custo e eficácia.

2.5. AGÊNCIA NAVAL DE SEGURANÇA NUCLEAR E QUALIDADE

Diante da necessidade de se ter um órgão voltado para o licenciamento de meios navais com propulsão nuclear e o transporte de seu combustível, foi ativada em 5 de fevereiro de 2018 a AgNSNQ, que tem como objetivo o assessoramento técnico da ANSNQ. Esta foi criada após o Comando da Marinha haver sido designado pela Lei nº 13.976, de 2020 (BRASIL, 2020), e posteriormente mantido pela Lei nº 14.222, de 2021 (BRASIL, 2021), como autoridade competente para regular, licenciar, fiscalizar e controlar meios navais com plantas nucleares embarcadas. Dada sua missão de contribuir para a segurança integrada (nuclear e naval) de meios navais e para a garantia da qualidade no desenvolvimento tecnológico de produtos e sistemas navais de defesa, a AgNSNQ desempenha importante papel no setor de Ciência e Tecnologia da MB, em virtude de seu propósito permear os produtos desenvolvidos pelas OM envolvidas no projeto do SCPN, subordinadas ao CTMSP, como também dos Institutos de Ciência e Tecnologia da MB, subordinadas ao CTMRJ. A AgNSNQ faz uso das melhores práticas nacionais e internacionais afetas à segurança nuclear naval na confecção de normas que apoiarão a elaboração dos documentos relativos à GCV de meios navais com propulsão nuclear.

3. MÉTODO DE PESQUISA

Esta pesquisa classifica-se como teórica/conceitual por ter utilizado uma pesquisa bibliográfica, visando obter dados secundários para o cumprimento do objetivo de pesquisa (CAUCHICK-MIGUEL, 2018).

Foram empregadas as combinações de palavras-chave: “gestão do ciclo de vida” AND “submarino nuclear”; na língua inglesa, “*life cycle management*” AND “*nuclear submarines*”; e, em espanhol, “*gestión del ciclo de vida*” AND “*submarinos*

nucleares”. As bases consultadas foram *Scopus*, *Web of Science* e Google Acadêmico, com um recorte temporal de 2009 a 2020. Os artigos, teses e dissertações que apresentaram requisitos com potencial aplicação às fases do ciclo de vida de meios navais com propulsão nuclear foram selecionados. Os resultados foram tabulados e continham: autor e ano; título; breve resumo; e requisitos aplicáveis. Após a tabulação dos requisitos aplicáveis, eles foram discutidos visando ao detalhamento da boa prática empregada.

4. RESULTADOS

O Quadro 1 detalha os resultados selecionados entre as bases de pesquisa, no recorte temporal.

O Quadro 2 abaixo tabula os resultados selecionados.

5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Ao se realizar a análise do conteúdo do Quadro 1, percebe-se a carência de estudos que relacionem diretamente a GCV aos meios navais com propulsão nuclear. Tal fato pode estar associado às especificidades desse tipo de meio, uma vez que são poucos os países que detêm a capacidade de projetar, construir e operar tais meios.

A ausência de resultados da base *Web of Science* e a presença de apenas um resultado da base *Scopus* atestam a pertinência do objetivo deste artigo.

Pelo fato de a base de dados do Google Acadêmico reunir a produção científica de diversas outras bases de dados, foi possível obter maior quantidade de resultados que se enquadravam nos critérios desta pesquisa. Isso possibilitou a construção de requisitos-chave relacionados com a GCV a serem considerados nas fases do ciclo de vida de um meio naval com propulsão nuclear.

O Quadro 2 traz uma compilação dos resultados relevantes para a pesquisa, com um breve resumo de cada artigo e os requisitos aplicáveis. Segundo o apresentado por Rivas (2019), afirma-se que mesmo os Estados Unidos, que tradicionalmente investem consideráveis aportes financeiros em suas forças armadas, cederam a pressões de seu Congresso e têm buscado otimizar a aplicação dos recursos destinados a construções de submarinos, tornando esses investimentos mais eficientes.

Quadro 1. Resultados obtidos nas bases.

Base	Termos	Resultados	Resultados selecionados
Web of Science	(gestão do ciclo de vida) AND (submarino nuclear)	0	0
	(<i>lifecycle management</i>) AND (<i>nuclear submarine</i>)	0	
	(<i>gestion del ciclo de vida</i>) AND (<i>submarino nuclear</i>)	0	
	(gestão do ciclo de vida) AND (propulsão nuclear)	0	
	(<i>lifecycle management</i>) AND (<i>nuclear propulsion</i>)	1	
	(<i>gestion del ciclo de vida</i>) AND (<i>propulsion nuclear</i>)	0	
Scopus	(gestão do ciclo de vida) AND (submarino nuclear)	0	1
	(<i>lifecycle management</i>) AND (<i>nuclear submarine</i>)	26	
	(<i>gestion del ciclo de vida</i>) AND (<i>submarino nuclear</i>)	0	
	(gestão do ciclo de vida) AND (propulsão nuclear)	0	
	(<i>lifecycle management</i>) AND (<i>nuclear propulsion</i>)	52	
	(<i>gestion del ciclo de vida</i>) AND (<i>propulsion nuclear</i>)	0	
Google Acadêmico	(gestão do ciclo de vida) AND (submarino nuclear)	31	14
	(<i>lifecycle management</i>) AND (<i>nuclear submarine</i>)	16	
	(<i>gestion del ciclo de vida</i>) AND (submarino nuclear)	11	
	(gestão do ciclo de vida) AND (propulsão nuclear)	14	
	(<i>lifecycle management</i>) AND (<i>nuclear propulsion</i>)	9	
	(<i>gestión del ciclo de vida</i>) AND (<i>propulsión nuclear</i>)	4	
Total		164	15

Quadro 2. Resultados selecionados.

Autor (Ano)	Título	Resumo	Requisitos aplicáveis
Rivas (2019)	“Los submarinos nucleares de ataque (SSN) de Estados Unidos”	A Guerra Fria impulsionou a indústria bélica nos Estados Unidos, acarretando o desenvolvimento de submarinos. Entretanto, os grandes orçamentos envolvidos exigiram maior eficiência dos projetos de desenvolvimento e aquisição e do custo do ciclo de vida. Uma das ações empreendidas foi o desenvolvimento do projeto dos submarinos classe Virgínia, com o objetivo de aumentar o tempo de vida operacional, também tornando sua manutenção mais eficiente.	Simulação para alcançar os períodos ideais de manutenção e operação.
Martin et al. (2018)	<i>An approach to lifecycle management of shipboard equipment</i>	Os navios são compostos de sistemas e equipamentos complexos, que são instalados ou incorporados em diversas etapas de seu ciclo de vida, em muitos casos por empresas e instituições diferentes. Este estudo analisa o gerenciamento do ciclo de vida dos diversos sistemas componentes desses meios, avaliando experiências empíricas e as interfaces ao longo de todo esse ciclo.	Integração dos sistemas de dados e informações dos processos ao longo de todo o ciclo de vida e por todos os agentes envolvidos.

Continua...

Quadro 2. Continuação.

Autor (Ano)	Título	Resumo	Requisitos aplicáveis
Lemerande et al. (2018)	“A system of systems approach to developing a digital asset management environment for the naval enterprise”	O estudo apresenta uma abordagem de sistemas de desenvolvimento de um ambiente de gerenciamento de ativos digitais holístico e abrangente (DAME) em conformidade com a ISO 55001 para aplicação na Royal Australian Navy.	ISO 55000, ISO 55001, ISSO 55002, Sistemas de Sistemas (SoS), Ambiente de Avaliação de Sistemas Digitais (DAME)
Zhang e Zhang (2014)	“Organizing complex engineering operations throughout the lifecycle”	Por intermédio da análise de estudos de casos, são identificadas questões organizacionais na gestão de sistemas complexos de engenharia relacionados com o ciclo de vida, demonstrando como resultado a necessidade de o sistema gerencial alterar o foco do projeto e do desenvolvimento para as fases de manutenção e desfazimento, incluindo se a possibilidade da reciclagem ao fim de sua vida útil.	ISO 55000, ISO 55001, ISSO 55002, Sistemas de Sistemas (SoS), Ambiente de Avaliação de Sistemas Digitais (DAME)
Pal (2015)	“Ship work breakdown structures through different ship lifecycle stages”	Apresenta uma abordagem que utiliza tecnologia da 4ª geração de projeto (4GD) construída em um sistema PLM como solução para o gerenciamento de dados de navios, fazendo a divisão de trabalhos, porém criando vínculos entre as atividades por meio de seus diferentes estágios do ciclo de vida.	Expanded Ship Work Breakdown Structure (ESWBS), tecnologia da 4ª geração de projeto (4GD)
Bhagwat e Chitrao (2020)	“Life cycle costing model for equipment for Indian naval shipbuilding programme”	Estudo realizado por meio de entrevistas não estruturadas no setor de construção naval e operações, visando conceber um processo de custo do ciclo de vida aplicado à Marinha indiana.	Custo Total do Ciclo de Vida do Sistema de Gerenciamento Integrado da Plataforma (Integrated Platform Management System – IPMS).
Cook e Mo (2019)	“Enterprise approach to modelling of risks in the project lifecycle of naval aviation asset ship integration”	O estudo faz um a abordagem de Engenharia de Sistemas para a identificação e a mitigação dos riscos, por intermédio de uma metodologia que traça o perfil de risco relativo de um projeto de aviação ao longo de seu ciclo de vida.	Gerenciamento de Risco, Metodologia 3P (pessoas, processo, produto).
Ford et al. (2015)	“An examination of significant issues in naval maintenance”	Análise do ciclo de vida referente ao estágio de operação dos navios de superfície e submarinos da Marinha Rissó Britânica.	ISO/IEC 15288:2009

ISO: International Organization for Standardization; IEC: International Electrotechnical Commission.

Tais demandas do Congresso estadunidense impulsionaram a Marinha do país a investir na realização de simulações das fases do ciclo de vida de submarinos da classe Virgínia, buscando uma sistemática de utilização desses meios que considerasse o planejamento, as influências políticas e as restrições das

partes interessadas. A referida simulação fez uso de dados históricos dos períodos de manutenção dos submarinos da classe Los Angeles em estaleiros públicos, e a análise dos resultados identificou a necessidade de mudanças de planos e/ou políticas alternativas e forneceu informações sobre quais mudanças

poderiam gerar maiores impactos na redução dos períodos de manutenção e no aumento nos períodos de operação.

Em que pese Martin et al. (2018) não ter abordado especificamente submarinos, seu relatório apresentou a problemática advinda da complexa combinação entre os numerosos e distintos sistemas e equipamentos a bordo dos meios da Marinha estadunidense, desde seus cascos até seus sistemas de combate. A pesquisa identificou como principais problemas afetos à manutenção e à modernização de meios: a necessidade de aprimoramento de estrutura organizacional, procedimentos, políticas, padronização de banco de dados, catalogação de sobressalentes, confecção de orçamentos; e a previsão de ciclos de manutenção e operação. Segundo os autores, a utilização do *software The Maintenance Figure of Merit System*, que compila diversos dados dos sistemas e equipamentos dos meios, auxiliou na previsão da prontidão, nos reparos recomendados e nos custos de ciclo de vida dos sistemas e equipamentos dos meios.

Debruçando-se sobre problemática semelhante à estudada por Martin et al. (2018), Lemerande et al. (2018) descreveu a necessidade da Marinha australiana — que possui meios com diversos sistemas heterogêneos e independentes embarcados em seus navios de superfície e submarinos — de coletar, tratar e disseminar os dados desses sistemas visando ao gerenciamento eficaz de seu ciclo de vida. Para o autor, a solução mais adequada seria convergir para uma abordagem de sistema de sistemas (SoS) alinhada aos requisitos da norma ISO 55001, conectando vários sistemas independentes, novos e legados, em um ambiente amplo, complexo e colaborativo, e buscando fornecer uma solução mais abrangente, adaptativa, ágil, conectada e autônoma. Ainda segundo Lemerande et al. (2018), essa abordagem melhoraria o gerenciamento de recursos navais, sistemas de suporte e serviços da força.

Zhang e Zhang (2014) identificaram as principais questões organizacionais envolvidas no gerenciamento de operações complexas de serviços de engenharia afetos ao ciclo de vida de produtos de elevada durabilidade, tais como: aeronaves, submarinos, trens de alta velocidade, plataformas de petróleo e plantas de geração de energia nuclear. Segundo os autores, as organizações priorizam objetivos de desempenho distintos conforme a fase do ciclo de vida: a inovação, nas fases iniciais; a eficiência, no meio do ciclo de vida; e a flexibilidade, no fim e nas fases posteriores ao ciclo de vida, sendo ainda apontadas as questões ambientais e sociais relacionadas com

a reciclagem e com o descarte desses produtos. Eles concluem que: as organizações que buscam maior capacidade de inovação equilibram os requisitos de operações relacionados com criatividade e confiabilidade simultaneamente; as organizações que buscam maior eficiência caracterizam-se por recursos de engenharia concentrados, processos de operações padronizados, governança centralizada, infraestrutura de suporte global e gerenciamento estratégico da cadeia de suprimentos; e as organizações que buscam maior flexibilidade geralmente caracterizam-se por possuírem recursos de engenharia dispersados com clientes ou centros de distribuição, processos operacionais adaptáveis para as necessidades do cliente, governança descentralizada, infraestrutura de suporte local e gerenciamento estratégico da cadeia de suprimentos com foco na capacidade de resposta.

Pal (2015) aborda a utilização da *Ship Work Breakdown Structure* (SWBS) — estruturas analíticas de projeto — nos projetos de construção naval e as dificuldades de se manter essa classificação nas fases iniciais do ciclo de vida, bem como durante as fases posteriores. Em seu trabalho, versa a respeito de uma nova abordagem implementada pela Siemens, que alinha o gerenciamento do ciclo de vida de produtos (PLM) aos componentes da tecnologia de 4ª geração de projeto (4GD), permitindo gerenciar dados dos equipamentos ou sistemas dos navios por meios de SWBS diferentes, porém vinculados, que podem ser rearranjados conforme a necessidade dos usuários durante o projeto do navio ou projetos semelhantes, bem como as demais fases de seu ciclo de vida.

Bhagwat e Chitrao (2020) estudaram o ambicioso programa de expansão da esquadra da Marinha indiana, que planeja possuir, até o ano de 2030, 200 novos meios navais. Tal programa visa elevar o país ao seleto grupo de nações capazes de projetar e construir navios aeródromos e submarinos com propulsão nuclear. Segundo os autores, apesar dos esforços da indústria indiana na atualidade, os equipamentos e sistemas que dotam esses meios são importados, em razão de suas especificidades e de apresentarem custo inferior ao dos produzidos nacionalmente; isso porque fabricá-los envolveria a necessidade de seu desenvolvimento no próprio país e, como a aquisição ocorreria em pequenas quantidades, haveria elevado custo envolvido. Cabe ressaltar que Bhagwat e Chitrao (2020) observaram que a Marinha indiana considera apenas o custo de aquisição dos equipamentos quando busca por fornecedores, deixando de computar os custos envolvidos

com sua operação e manutenção. Entretanto, quando o valor do equipamento é estimado levando-se em consideração sua manutenção e operação, verifica-se que o preço dos produtos nacionais torna-se mais competitivo, pois as parcelas que compõem o valor estimado referente à operação e à manutenção nacionais são inferiores às dos valores praticados internacionalmente, como fazem outras instituições que consideram o custo total do ciclo de vida, o que se mostra relevante quando se busca a precificação dos produtos durante as fases da GCV.

Cook e Mo (2019) exploraram os perigos envolvidos nas operações de navios com aeronaves embarcadas. Estudaram a dinâmica entre as partes interessadas, os procedimentos executados e a integração de equipamentos e sistemas que permite a operação segura desses meios durante todo o seu ciclo de vida. Os autores apresentaram um modelo de gestão no método dos três elementos “P” — produto, processo e pessoas — em um ambiente organizacional (3PE), com o objetivo de identificar, analisar e gerenciar continuamente os riscos envolvidos por meio da redução ou mitigação. O modelo foi validado pelos autores com o auxílio de um estudo de caso realizado em uma grande empresa contratada para projetar e construir uma nova classe de navio porta-helicópteros. Apesar de os próprios autores afirmarem que o método é deficitário em priorização dos riscos identificados, alinhado a outras metodologias já consolidadas ele pode ser facilmente empregado.

Ford et al. (2015) pesquisaram as fases mais onerosas do ciclo de vida de meios navais: operação, manutenção e regeneração, conforme a classificação de fases estabelecidas na norma da International Organization of Standardization/International Electrotechnical Commission (ISO/IEC) 15288:2008, adotada pela Marinha britânica. Por meio de entrevistas semiestruturadas realizadas com as principais partes interessadas em cada fase, os autores caracterizaram e destacaram como principais problemas comuns: riscos, obsolescência e disponibilidade de mão de obra para navios de superfície e submarinos. Segundo Ford et al. (2015), as principais medidas adotadas pela Marinha britânica foram: a gestão de suprimentos para submarinos nucleares, em virtude dos longos períodos submersos; seu genuíno Projeto Faraday, chefiado pelo Oficial Chefe de Engenharia Naval, responsável por capacitar a força na gestão de pessoal e nas informações relativas às necessidades da manutenção; os investimentos em seu centro de gestão de estoques como iniciativa para aprimorar o planejamento, o fornecimento e

a demanda por sobressalentes; e seu programa de extensão do ciclo de vida de suas fragatas, como esforço contra a obsolescência desses meios.

6. CONCLUSÃO

As boas práticas de gestão têm que ser a tônica de todos aqueles que administram recursos financeiros, materiais e pessoais. Os recursos sempre serão escassos, cabendo ao gestor se munir de todas as ferramentas que possibilitem a efetividade de seu emprego, permitindo-lhe extrair o máximo daquilo que é disponibilizado. Como apresentado, a GCV é aplicada no âmbito das Forças Armadas de diversos países, seja de economias desenvolvidas, seja daquelas em desenvolvimento. Com as Forças Armadas Brasileiras não poderia ser diferente. Há real necessidade do emprego de GCV nos PRODE, especialmente na MB, no tocante ao SCPN. O conjunto de ferramentas inerentes à GCV permite o aperfeiçoamento do ciclo de vida dos produtos nas fases de concepção, desenvolvimento, produção, operação, manutenção, apoio e desfazimento. Como observado nos resultados encontrados, há um esforço mundial das nações em empregar a GCV na otimização dos custos envolvidos ao longo do ciclo de vida de seus meios e sistemas de defesa. Em que pese a impossibilidade de se aplicar ao SCPN as boas práticas apontadas por Rivas (2019); o fato de a integração de sistemas, a técnica do custo total do ciclo de vida do Sistema de Gerenciamento Integrado da Plataforma, o gerenciamento de riscos e a metodologia SoS — apontadas, respectivamente, por Martin et al. (2018), Lemerande et al. (2018), Zhang e Zhang (2014), Bhagwat e Chitrao (2020) e Cook e Mo (2019) — já se encontrarem em utilização pela DGePM por meio da aplicação do Ministério da Defesa (2019b); e em virtude de a AgNSNQ já operar seguindo a SWBS, conforme apontado por Pal (2015), sugere-se que a MB coordene esforços para que se internalizem os requisitos das normas ISO 55000, ISO 55001, ISO 55002 e ISO/IEC 15288 — apontados por Lemerande (2018), Zhang e Zhang (2014) e Ford et al. (2015) — por meio de um grupo de trabalho formado por representantes da DGePM e da AgNSNQ. Tal iniciativa poderia mostrar-se como vetor do aprimoramento da estrutura organizacional de manutenção nas fases já contempladas pelas normas da ANSNQ, bem como no delineamento das fases de apoio e de desfazimento do SCPN.

REFERÊNCIAS

- AMARANTE, J.C.A. *A base industrial de defesa brasileira*. Rio de Janeiro: Ipea, 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA ISONORMAS TÉCNICAS (ABNT). *NBR ISO 9000: sistema de gestão da qualidade – fundamentos e vocabulários*. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.
- BHAGWAT, A.; CHITRAO, P.C. Life cycle costing model for equipment for Indian naval shipbuilding programme. In: TUBA, M.; AKASHE, S.; JOSHI, A. (org.). *ICT systems and sustainability*. Singapore: Springer, 2020. p. 71-81.
- BRASIL. *Lei nº 13.976, de 7 de janeiro de 2020*. Dispõe sobre a competência do Comando da Marinha para promover o licenciamento e a fiscalização dos meios navais e suas plantas nucleares embarcadas para a propulsão e para o transporte de seu combustível nuclear. Brasil, 2020.
- BRASIL. *Lei nº 14.222, de 15 de outubro de 2021*. Cria a Autoridade Nacional de Segurança Nuclear (ANSN), altera as Leis nos. 4.118, de 27 de agosto de 1962, 6.189, de 16 de dezembro de 1974, 6.453, de 17 de outubro de 1977, 9.765, de 17 de dezembro de 1998, 8.691, de 28 de julho de 1993, e 10.308, de 20 de novembro de 2001; e revoga a Lei nº 13.976, de 7 de janeiro de 2020. Brasil, 2021.
- CANADIAN NUCLEAR SAFETY COMMISSION (CNSC). *REGDOC-2.6.3. Fitness for Service: Aging Management*. Ottawa: CNSC, 2014.
- CARAJILESCOV, P.; MOREIRA, J.M.L. Aspectos técnicos, econômicos e sociais do uso pacífico de energia nuclear. *Ciência e Cultura*, v. 60, n. 3, p. 33-36, set. 2008.
- CAUCHICK-MIGUEL, P.A. (org.). *Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações*. 3. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2018.
- COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR (CNEN). *Glossário do Setor Nuclear e Radiológico Brasileiro*. Rio de Janeiro: Comissão Nacional de Energia Nuclear, 2021.
- COOK, M.; MO, J.P.T. Enterprise approach to modelling of risks in the project lifecycle of naval aviation asset ship integration. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON TRANSDISCIPLINARY ENGINEERING, 26., 2019. *Anais... Ispe INC.*, p. 419-428.
- CUNHA, M.S.; BOAS, F.V.; KAMINSKI, P.C. Considerações sobre confiabilidade no projeto de submarinos. *Produto & Produção*, v. 13 n. 1, p. 114-130, fev. 2012. <https://doi.org/10.22456/1983-8026.24059>
- ENGINEERING USA. *Product Lifecycle Management (PLM) para a indústria discreta*. ENGINEERING USA, 2020. Disponível em: https://www.engusa.com/pt_br/solution/product-lifecycle-management-plm-for-discrete-industry. Acesso em: 14 jan. 2020.
- EXÉRCITO BRASILEIRO. *Instruções gerais para a gestão do ciclo de vida dos sistemas e materiais de emprego militar*. Brasília: 2016. Disponível em: http://www.dct.eb.mil.br/images/conteudo/DSMEM/normas/IG--01-018_2016-Ciclo-de-Vida-do-SMEM.pdf. Acesso em: 10 set. 2019.
- FORÇA AÉREA BRASILEIRA (FAB). *Ciclo de vida de sistemas e materiais da aeronáutica*. Brasília: FAB, 2007. Disponível em: <https://dokumen.site/download/dca-400-06-0307-a5b39f03248689>. Acesso em: 13 set. 2020.
- FORD, G.; MCMAHON, C.; ROWLEY, C. An examination of significant issues in naval maintenance. *Procedia CIRP*, v. 38, p. 197-203, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.07.082>
- GOMES. *Gestão do ciclo de vida com foco em sistemas complexos*. In: SEMINÁRIO DE GESTÃO DA AQUISIÇÃO DE DEFESA, 1., 2018. *Anais...* Rio de Janeiro, 2018.
- KIBRIT, E.; AQUINO, A.R. Sustainability management system model of operating organizations of research reactors. *International Nuclear Safety Journal*, v. 4, n. 4, p. 23-37, 2015.
- LEMERANDE, T.; RD, H.; SA, H. A system of systems approach to developing a digital asset management environment for the naval enterprise. In: SYSTEMS ENGINEERING TEST AND EVALUATION CONFERENCE 2018: UNLOCKING THE FUTURE THROUGH SYSTEMS ENGINEERING, 2018. *Anais... Engineers Australia*, 2018. p. 325.
- MARTIN, B.; YARDLEY, R.J.; PARDUE, P.; TANNEHILL, B.; WESTERMAN, E.; DUKE, J. *An approach to lifecycle management of shipboard equipment*. Santa Mônica: Rand Corporation, 2018.
- MELO, A.T.S.; MAIORINO, J.R. Avaliação das atividades de resíduos de baixa no sistema primário e sistemas auxiliares de reatores PWR com propósito de desmantelamento nuclear. In: INTERNATIONAL NUCLEAR ATLANTIC CONFERENCE, 2013, Recife. *Anais... Recife*, 2013.
- MINISTÉRIO DA DEFESA. *Guia de empresas e produtos de defesa*. Brasil: Agência 2A Comunicação, 2019a.
- MINISTÉRIO DA DEFESA. *Manual de boas práticas para a gestão do ciclo de vida de sistemas de defesa*. Brasília: Ministério da Defesa, 2019b. Disponível em: https://www.gov.br/defesa/pt-br/assuntos/caslode/arquivos/gestao-do-ciclo-de-vida-de-sistemas-de-defesa/manual_md_40_m_01_13jan2020.pdf. Acesso em: 9 abr. 2020.
- MINISTÉRIO DA DEFESA. Portaria nº 916, de 26 de fevereiro de 2019. *Boletim do Exército*, n. 10, p. 17-18, 8 mar. 2019c.
- MORO, N. Life cycle of a military product. *Scientific Bulletin*, v. 23, n. 2, p. 103-111, 2018. <https://doi.org/10.2478/bsaft-2018-0013>
- PAL, M. Ship work breakdown structures through different ship lifecycle stages. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTER APPLICATIONS IN SHIPBUILDING, 2015. *Anais...* 2015.
- RIVAS, E.C. Los submarinos nucleares de ataque (SSN) de Estados Unidos. *Revista General de Marina*, v. 276, n. 5, p. 833-849, 2019.
- SCHINDLER, C.M. *Product lifecycle management: a collaborative tool for defense acquisitions*. 147f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia de Sistemas) – Naval Postgraduate School, Monterey, Califórnia, 2010.
- SOARES, F.A.S.; MADEIRA, J.G.F.; CLARA, M.L.P.C. Análise energética de uma usina nuclear com reator BWR e estudo comparativo com a Usina Nuclear Angra 2 do modelo PWR. *Revista Brasileira de Energia*, v. 25, n. 1, p. 26-42, 2019. <https://doi.org/10.47168/rbe.v25i1.422>
- ZHANG, Y.; ZHANG, L. Organizing complex engineering operations throughout the lifecycle: a service-centred view and case studies. *Journal of Service Management*, v. 25, n. 5, p. 580-602, 2014. <https://doi.org/10.1108/JOSM-07-2013-0182>