

IMPRESSÃO 3D NA LOGÍSTICA

OS IMPACTOS DA REVOLUÇÃO DIGITAL NAS CADEIAS DE SUPRIMENTO DO PODER NAVAL DO FUTURO

Capitão-Tenente **RHUAN TOLEDO GURGEL**

Ajudante da Divisão de Máquinas do DIAsA – CAAML
Aperfeiçoado em Máquinas

INTRODUÇÃO

Impressão 3D, *Blockchain*, internet das coisas, *Big Data*, realidade virtual aumentada, computação na nuvem e sistemas ciberfísicos são exemplos de tecnologias disruptivas da “Indústria 4.0” ou Quarta Revolução Industrial. As empresas que se aproveitam de tais tecnologias em seus ecossistemas digitais corporativos estão no estado da arte de suas áreas de atuação, como é o caso das FAANG¹ e de companhias de projeção global da indústria de construção naval, como Thyssenkrupp, Hyundai, Daewoo, Fincantieri, BAE Systems, Damen, Navantia etc.

Com a indústria de defesa não é diferente: o dinamismo das relações internacionais e a conjuntura oceano-política impõem às Forças Armadas, particularmente à Marinha, a necessidade de aprimoramento contínuo de capacidades para o enfrentamento dos complexos desafios presentes em função de novas e antigas formas de combate e ameaças. Assim, significativos investimentos² em pesquisa nas áreas de tecnologia hipersônica, inteligência artificial, comunicações 5G, computação quântica, veículos autônomos e na impressão 3D salientam o interesse cada vez maior em tecnologias disruptivas estratégicas ou *game-changers*.

No ambiente operacional marítimo e fluvial, as cadeias de suprimento logístico são naturalmente caras e vulneráveis, e esse é o ponto nevrálgico, principalmente em tempos de austeridade fiscal, no qual pode se destacar a impressão 3D, também chamada de manufatura aditiva, que é uma técnica de manufatura avançada cujas possibilidades de emprego são

ilimitadas: abrigos de concreto, hélices, drones e até submarinos já foram construídos por tal metodologia.

Este artigo conduzirá o leitor, por meio de uma abordagem *top-down*, da evolução dos processos industriais até as técnicas de manufatura aditiva, destacando o potencial para tornar, no longo prazo, a Marinha do Brasil, uma força moderna, aprestada, com alto grau de independência tecnológica e compatível com a estatura político-estratégica do Brasil no cenário internacional.

COMO CHEGAMOS ATÉ AQUI

Ao longo da evolução do ser humano, as ferramentas e fontes de energia foram desenvolvidas para atender as necessidades e melhorar a qualidade de vida. Inicialmente, as ferramentas eram feitas de pedra, e no que tange às fontes energéticas, eram empregadas a força física humana ou de animais. Posteriormente, para enfrentar os desafios de produção, surgiram ferramentas em aço, diamante e cerâmica; e a capacidade de produção evoluiu com a utilização de água, vento, vapor e eletricidade, que nortearam a forma como as sociedades iriam produzir, consumir e se desenvolver.

No início de 1900, Henry Ford revolucionou a forma como a indústria produzia, focando na capacidade de fabricar mais com custos menores, a partir de um ganho de escala e eficiência. E, na década de 1950, inspirados no fordismo, a Toyota Motor Company criou cultura organizacional ba-

FOTO: RAMLAB / Port of Rotterdam / Materia

seada nos princípios de *just in time*³ e *kanban*⁴, centrada na identificação e eliminação sistemática de todas as perdas⁵ do processo de produção.

Desde então, a manufatura não parou de evoluir e continuou a ser aprimorada: técnicas convencionais⁶, depois técnicas não convencionais⁷, até chegarmos nas técnicas avançadas⁸, que substituem os processos convencionais e não convencionais e podem associar procedimentos de CAD (*Computer-Aided Design*), CAE (*Computer-Aided Engineering*) ou CAM (*Computer-Aided Manufacturing*) a uma impressora 3D habilitada a fabricar itens de plástico, cerâmica ou metais.

MANUFATURA ADITIVA – A PRIMEIRA IMPRESSÃO É A QUE FICA

Um dos maiores desafios para engenheiros e iniciantes em impressão 3D é navegar por um oceano de opções de tecnologias e materiais disponíveis e escolher a melhor solução para sua aplicação. Normalmente, vários processos são adequados, cada um oferecendo variações em propriedades como precisão dimensional, acabamento de superfície e requisitos de pós-processamento.

A norma ISO/ASTM 52900 padroniza pelo menos sete tecnologias de impressão 3D existentes, e outras técnicas estão surgindo e se aprimorando constantemente, porém é impossível que uma única máquina seja capaz de produzir peças com qualquer geometria. Existem inúmeros processos e, dependendo do objeto que se queira criar, cada um funciona melhor ou pior com o tipo de material empregado. Entre os materiais classificados como favoritos para impressão 3D pela *American Society of Mechanical Engineers (ASME)*, destacam-se, mas não se limitam a: metal em pó, metais maciços, fibra de carbono, concreto e polieterimida (PEI) que é resistente ao fogo.

Um grande benefício da manufatura aditiva é a capacidade de personalização de peças para atender necessidades específicas. Pode-se regular a dureza, a maleabilidade e a resistência à corrosão das ligas produzidas, além de ajustes no tamanho e na forma, o que possibilita aos usuários melhorar os projetos ou redesenhar as peças com defeito. Com a ajuda de *scanners* 3D, uma peça crítica quebrada pode ser digitalizada e, posteriormente, fabricada em uma impressora 3D. Equipamentos essenciais podem ser reparados no local em horas ou dias, em vez de semanas ou meses.

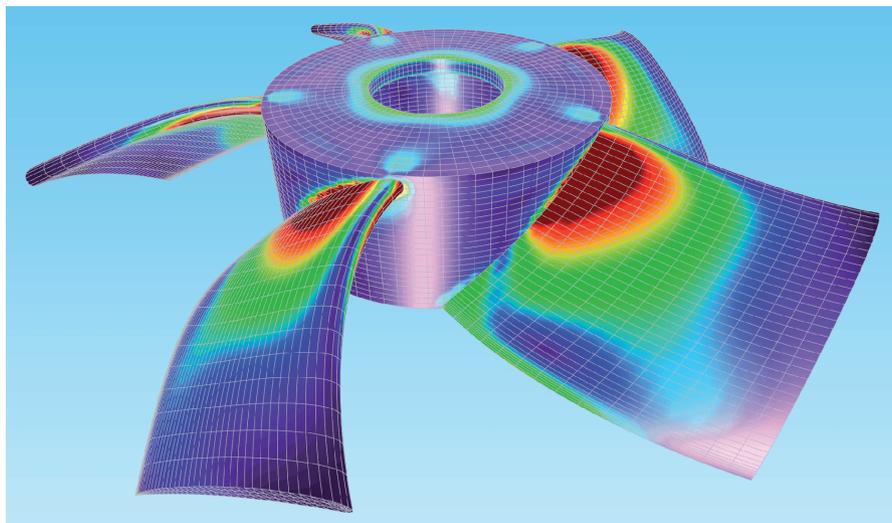


FOTO: COMSOL / www.cdn.comsol.com

Antes de apresentar o universo de possibilidades e aplicações da manufatura aditiva, é importante ressaltar que a tecnologia ainda não está plenamente desenvolvida. Além disso, cuidados especiais devem ser respeitados e aprimoramentos devem ser implementados antes torná-la uma opção viável e consagrada.

CUIDADOS ESPECIAIS E PERIGOS À SAÚDE HUMANA

O espaço a bordo de um navio é muito diferente de um galpão industrial e requer atenção especial para o acondicionamento das matérias-primas e das impressoras 3D no arranjo da instalação das máquinas e nas condições de trabalho, tais como umidade, temperatura e vibração.

Muitas das matérias primas de impressão 3D são higroscópicas. Por isso, é necessário um armazenamento em lugar seco e de temperatura controlada. A temperatura ambiente afeta não só os processos e comportamento da matéria prima, como também afeta os componentes de *hardware* da impressora 3D. As vibrações do navio podem interferir na impressora, criando baixa ligação em camadas de material impresso e causando impactos na qualidade e no processo de impressão.

Os maiores problemas diretos das matérias-primas plásticas ocorrem quando elas são queimadas, liberando compostos orgânicos voláteis tóxicos como dioxinas, alquilfenóis, ftalatos e o Bisfenol A (BPA). Além disso, durante os processos de manufatura aditiva, partículas ultrafinas ficam suspensas no ar, e concentrações elevadas de tais partículas estão associadas a efeitos adversos à saúde, incluindo sintomas de asma, internações hospitalares por acidente vascular cerebral, parada cardiorrespiratória e morte.

Para mitigar tais efeitos adversos, não é recomendado permanecer por muito tempo próximo da impressora 3D em operação, deve-se utilizar equipamentos de proteção individual (EPI)⁹ e trabalhar em local arejado, preferencialmente, com rota de extração de ar, uma vez que elementos de filtragem convencional, como filtros de carbono, não resguardam o indivíduo das partículas ultrafinas.

CONSTATAÇÃO DA REALIDADE – O QUE PRECISA MELHORAR

Até o momento, a grande maioria das produções obtidas pelas impressoras 3D são de materiais termoplásticos ou polímeros. Contudo, a matéria-prima adequada para aplicação naval é o metal, pois viabiliza reparos em redes, bombas, motores, e até em armamentos e sensores dos navios.

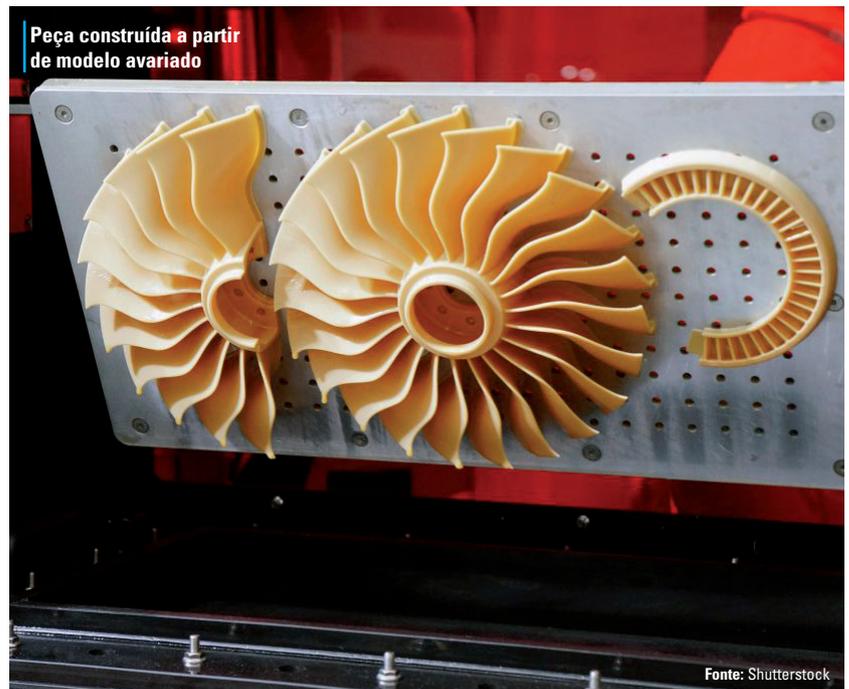
Dependendo da técnica a ser utilizada, diferentes metais podem ser combinados em ligas com cobre, níquel, manganês, titânio, ferro e zinco, com a finalidade de se obterem propriedades específicas de resistência à corrosão, ductilidade e maleabilidade. Nesse aspecto, as técnicas que entregam os melhores resultados na produção de objetos metálicos são PBF¹⁰ (*powder bed fusion*) e *BinderJetting*.¹¹

Ambas as técnicas têm elevados custos de instalação e grande demanda de energia elétrica, o que exige criterioso dimensionamento da planta de geração e distribuição de energia do navio. Além disso, alguns fatores limitam a consistência ao tentar escalar a produção, pois taxas de deposição, porosidade e densidade são diferentes de amostra para amostra, tornando difícil replicar a mesma peça repetidamente.

Apesar das dificuldades, novas técnicas vêm sendo desenvolvidas e aprimoradas para mitigar esses problemas, de modo que requeiram menos energia e menores temperaturas para imprimir, reduzindo os custos de produção e minimizando os problemas de segurança.

Comparativo de acabamento de impressões 3D	
ACABAMENTO DA IMPRESSÃO 3D DE OBJETOS METÁLICOS	
O que precisa diminuir	O que precisa aumentar
Porosidade	Densidade das peças
Rugosidade das superfícies	Resistência ao Escoamento
Impurezas no metal	Dureza do material

Fonte: Autor



IMPRESSÃO 3D E A DISRUPÇÃO NO ESFORÇO LOGÍSTICO

No Brasil, o Ministério da Defesa conceitua Logística Militar como “o conjunto de atividades relativas à previsão e à provisão dos recursos e dos serviços necessários à execução das missões das Forças Armadas”.

Isso posto, de acordo com o Manual de Logística da Marinha, um problema logístico pode ser resumido na necessidade de proporcionar às forças os recursos requeridos em determinadas circunstâncias. Para resolver tal problema, é necessário executar diversas ações em diferentes níveis, o que é chamado de esforço logístico.

Tecnologia disruptiva ou inovação disruptiva é um termo que descreve a inovação tecnológica que provoca uma ruptura com os padrões, modelos ou tecnologias já estabelecidos. Dessa forma, a impressão 3D é capaz de desencadear tremendas alterações nas funções logísticas,¹² bem como em todo o ciclo logístico,¹³ alicerçada em três pontos fundamentais, que serão descritos a seguir: reestruturação da gestão do ciclo de vida; simplificação do fluxo de produção; e revolução da cadeia de suprimentos.

REESTRUTURAÇÃO DA GESTÃO DO CICLO DE VIDA

As tecnologias de manufatura avançada estão associadas a bens e serviços de alto valor e podem contribuir para elevar a disponibilidade das unidades militares, além de ampliarem a

capacidade de apoio logístico para os meios operativos e, por meio de fabricação de sobressalentes descontinuados, auxiliarem a Gestão de Ciclo de Vida dos meios operativos.

Com as técnicas de manufatura aditiva, é possível identificar os melhores métodos para converter modelos e desenhos técnicos em formato digital, a fim de agilizar a criação de arquivos para ajudar a resolver problemas de obsolescência, baixo volume e peças caras.

Diversas Forças Armadas contam com equipamentos cujos sobressalentes são de difícil aquisição em virtude de não serem mais produzidos pelo fabricante original. Para contornar tal situação, a Marinha e a Força Aérea dos EUA apresentaram soluções de engenharia reversa utilizando impressoras 3D para produzir sobressalentes para os submarinos nucleares das classes *Los Angeles e Ohio*, para o bombardeiro B-52 *Stratofortress* e para o caça F-22 Raptor, o que estenderá os seus ciclos de vida.

De maneira similar, as Forças Armadas da República Popular da China utilizam impressão 3D para reparar os caças Shenyang J-15, J-16 e J-31 e caça *stealth* Chengdu J-20.

SIMPLIFICAÇÃO DO FLUXO DE PRODUÇÃO

Quanto menor o tamanho, em quantidade de unidades de uma força, maior a dificuldade para manter parcerias com fornecedores de peças e sobressalentes. As consequências são implacáveis: um negócio com altas barreiras de entrada para pequenas e médias empresas fornecedoras, menor prontidão operacional, maiores custos de transporte, menor previsibilidade de fornecimento, longos prazos de entrega e necessidade de capacidade de armazenamento e estoque.

Na maioria dos casos, as Forças Armadas, particularmente a Marinha, não produzem os equipamentos que utilizam, limitando-se às tarefas de manutenção e utilização. Durante o ciclo de vida da unidade militar, a manutenção ganha importância conforme o tempo de utilização, mas a demanda por sobressalentes e reparos não aumenta uniformemente para cada equipamento, sendo, portanto, variadas as necessidades de itens em quantidade e características ao longo do tempo. Tal situação impõe que as cadeias de suprimento transportem um grande volume de itens e aumentem a necessidade de grandes estoques em quantidades e tipos diferentes de peças.

Nesse contexto, a manufatura aditiva atende a variabilidade de demanda e reduz a necessidade de prever a capacidade da cadeia de suprimentos, tendo como consequência direta um incremento do *throughput*,¹⁴ redução dos níveis de estoque, redução da necessidade de infraestrutura física e flexibilidade de produção, possibilitando alterar ou reconfigurar

produtos e processos rapidamente para ajustar-se às necessidades. Um exemplo bem-sucedido é a companhia dinamarquesa Maersk, que implementa, desde o ano de 2014, a instalação de Impressoras 3D a bordo de seus grandes navios de carga modular para fabricar peças de reposição em alto mar.

REVOLUÇÃO DAS CADEIAS DE SUPRIMENTOS

As técnicas avançadas de manufatura podem revolucionar as cadeias de suprimentos, eliminando a necessidade de instalações de produção centralizada e reduzindo a necessidade de transporte de peças. A manufatura aditiva pode transformar as cadeias de suprimentos físicas em digitais e tornar as forças militares mais versáteis e com alto nível de prontidão.

Um exemplo da versatilidade da manufatura aditiva é a possibilidade de construção de itens relativamente grandes em tempo reduzido. Os Fuzileiros Navais dos EUA são capazes de imprimir, em 36 horas, um abrigo ajustável ao terreno feito de concreto de secagem rápida para o lançador múltiplo de foguetes M142. Em outubro de 2020, o maior hélice de navio militar, fabricado por impressão 3D, foi construído pela companhia *Naval Group Nantes-Indret*. Com 2,5 metros de diâmetro e pesando uma tonelada, esse hélice é o início de um projeto da Marinha da França que visa produzir mais hélices com maior eficiência e descrição acústica para navios caça-minas.

Uma vez que um desenho seja transformado em um modelo digital com dimensões básicas, o utilizador pode fabricar os primeiros protótipos em qualquer lugar do mundo. Em 2015, o Contratador chinês Tipo 052D Harbin sofreu uma avaria no sistema de governo enquanto operava no Golfo de Aden. Utilizando a impressora 3D de bordo, a tripulação foi capaz de produzir, rapidamente, a peça para substituir o componente avariado e prontificaram o navio.

IMPRESSÃO 3D SOB O PRINCÍPIO DA ECONOMICIDADE

Com a implantação de tecnologias avançadas, a busca de menores custos operacionais e melhor eficiência de fabricação tem forçado grande número de empresas industriais a embarcar na tecnologia de manufatura avançada.

Decerto que o maior vetor de incentivo para investimentos na tecnologia de manufatura aditiva é torná-la algo economicamente viável e, se possível, rentável. Nesse sentido, a Marinha dos EUA, em 2017, fabricou um protótipo de um veículo submarino de transporte, o *SEAL Delivery Vehicle* (SDV). A redução de tempo e custo foi significativa, pois, utilizando técnicas convencionais de manufatura, o tempo médio de construção é de 5 meses ao custo de cerca de US\$



Maior hélice já construído por impressão 3D

Fonte: Naval Group

700 mil, já com as técnicas de manufatura aditiva, a impressão levou cerca de 4 semanas para ser concluída, ao custo de US\$ 60 mil.

A manufatura avançada contribui para o sucesso das empresas que utilizam alto nível de design ou competências científicas para a produção de produtos e processos inovadores tecnologicamente complexos. Em abril de 2019, a Navantia celebrou com o Ministério da Defesa da Espanha um acordo de construção de Fragatas F-110. Este será o primeiro grande programa naval espanhol a incorporar processos e componentes com manufatura aditiva.

Em novembro de 2019, a Marinha Real Australiana anunciou investimentos de US\$ 1,5 milhão em um projeto para empregar impressoras 3D para realizar a manutenção dos navios. E, em fevereiro de 2020, a alemã Thyssenkrupp Marine Systems (TMS) anunciou os planos para utilizar impressão 3D na fabricação de componentes de submarinos.

Já na Ásia, a China desenvolve técnicas de manufatura aditiva desde 2001. Exemplos notáveis do uso dessa tecnologia incluem peças do C-919, o primeiro grande avião de passageiros da China.

O LEGADO DA MANUFATURA ADITIVA

A impressão 3D desempenha papel importante na melhoria de qualidade e flexibilidade das organizações de manufatura. Ela impacta não apenas na produção, mas em todas as operações do negócio, trazendo novos desafios à habilidade da empresa em gerenciar tanto a fabricação como a tecnologia da informação.

Em abril de 2014, o Navio de Assalto Anfíbio USS Essex da Marinha dos EUA foi o primeiro navio de guerra, de que se tem notícia, a ter uma impressora 3D instalada a bordo para atender às necessidades da tripulação no mar. Com isso,

foi possível avaliar a manufatura aditiva em operações navais e capacitar a tripulação a produzir diversos itens, mas o principal legado desse projeto foi o treinamento e a familiarização dos militares com a tecnologia.

Posteriormente, em 2016, militares a bordo do porta-aviões nuclear *USS Harry S. Truman* desenvolveram e fabricaram um dispositivo para rádios portáteis, que proporcionou economia de US\$ 146 mil em menos de três anos. Desse modo, investir na familiarização e estimular a criatividade do pessoal foi capaz de propiciar retornos de curto e médio prazo para a Marinha dos EUA.

Outrossim, a manufatura subtrativa¹⁵ gera grande quantidade de resíduos, pois muita matéria tem de ser removida das peças a serem fabricadas e algumas dessas matérias-primas são caras e têm alto custo de reciclagem. Nesse quesito, a manufatura aditiva pode reduzir a taxa de desperdício em comparação com a usinagem tradicional, possibilitando auxiliar questões afetas ao racionamento de recursos naturais e à sustentabilidade global.

IMPRESSÃO 3D NA PANDEMIA DO NOVO CORONAVÍRUS

A pandemia do novo coronavírus prejudicou fortemente o setor industrial mundial, causando sério impacto nas cadeias de suprimentos. Todos os países, em seus diferentes estágios de *lockdown*, deixaram de fornecer produtos, e as comunicações logísticas ficaram mais lentas com a falta de opções de transporte. O Brasil, que depende de mão de obra e matéria-prima importada, foi um dos países mais afetados.

Em tal conjuntura, não faltaram aplicações da manufatura aditiva para ajudar governos e empresas a preencherem as lacunas das cadeias de suprimentos. Durante os esforços de combate à pandemia, o Centro Tecnológico do Corpo de Fuzileiros Navais (CTecCFN) e, separadamente, uma equipe de alunos do Instituto Militar de Engenharia (IME), empenharam-se na produção de máscaras faciais do tipo *Face Shield* para uso dos profissionais dos órgãos de saúde pública, com o propósito de fornecer *kits* às unidades de saúde, contendo material para a montagem das máscaras e com o manual de instruções simplificado.

QUAL A IMPRESSÃO QUE O BRASIL TEM?

De acordo com o Plano Estratégico da Marinha (PEM 2040), as bases para o preparo e o emprego do Poder Naval são “Conhecimento” e “Ciência, Tecnologia, Inovação e Engenharia”. Dessa forma, em um cenário político estratégico e econômico dinâmico, assume elevada relevância o desenvolvimento de tecnologias-chave, a fim de reduzir o hiato tecnológico existente entre as nações.

Os países emergentes, atualmente fornecedores de mão de obra barata e baixo custo de produção, assumem a tendência de se desenvolver e fabricar itens mais avançados, seguindo o caminho dos países desenvolvidos.

Com o acirramento da competição, o ambiente atual é propício para o Brasil promover uma transição da manufatura tradicional para a manufatura avançada. Para tal, é preciso tecnologia para promover a transformação das organizações; agregar alto valor à manufatura; e tornar os novos processos rentáveis. Após isso, deve-se avaliar uma análise de *trade off* que leve em consideração a quantidade de tempo, investimento e reorganização necessários para implantar os novos processos e os investimentos em novas capacidades para assegurar o seu bom funcionamento.

Em um mundo altamente globalizado, articulado e competitivo, particularmente no Brasil, lidamos com vários óbices no campo da automação, além do hiato tecnológico que alavanca para pior nossos indicadores de produtividade em relação aos concorrentes globais. Outro dado importante está associado ao “custo Brasil”, que eleva o custo de aquisição de equipamentos e máquinas, dificultando o investimento em tecnologia pelo empreendedor.

O EFEITO DESEJADO

Se, por um lado, as tecnologias disruptivas são uma oportunidade para fechar o *gap* tecnológico entre os países desenvolvidos e emergentes, por outro, podem representar a possibilidade de amplificar as desigualdades de condições entre as nações.

Somente no ano de 2021 o Departamento de Defesa dos Estados Unidos destinou mais de US\$ 40 bilhões do orçamento previsto para o seu MANTECH (*Manufacturing Technology Program*), a fim de aprimorar os processos industriais de manufatura, estabelecer a manufatura aditiva como alternativa eficaz à manufatura convencional e o desenvolvimento de tecnologias disruptivas que possam ser empregadas, no curto prazo, em prol das Forças Armadas estadunidenses.

Para que o Brasil, assim como outros países emergentes, não seja deixado para trás nessa corrida, é fundamental garantir uma base industrial doméstica estável, confiável e competitiva para suprir as necessidades das Forças Armadas e estimular a colaboração entre a indústria e as universidades para identificar projetos com potencial de acelerar a qualificação, a certificação e a implementação de metodologias de impressão 3D.

Após consolidar os alicerces acadêmicos e industriais, deve-se buscar alinhar os projetos com questões estratégicas e áreas de foco identificadas pelas Forças Armadas e aprimo-

rar processos de engenharia reversa, a fim de definir critérios de aceitabilidade que irão acelerar a integração da manufatura aditiva na cadeia de suprimentos e otimizar a produção das matérias primas de manufatura aditiva (polímeros e metais) para obter sobressalentes para os equipamentos militares.

Além disso, para tornar sustentável o ciclo de produção, é necessário que seja fomentada a criação de fontes de suprimentos para manufatura aditiva e que seja intensificado o investimento em projetos voltados para a redução do prazo de entrega, redução de custos e melhoria da qualidade dos itens essenciais para as Forças Armadas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os acontecimentos que moldaram as organizações industriais no início do século 21 não serão repetidos nos próximos anos, e investir em tecnologias disruptivas pode significar a verdadeira revolução na Divisão Internacional do Trabalho.¹⁶

Ao mergulhar no oceano de possibilidades da impressão 3D, encontram-se mais perguntas do que respostas sobre o potencial dessa tecnologia. Contudo, diversas limitações que ora consternam a logística militar podem ser atenuadas com a implementação da manufatura aditiva nas cadeias de suprimentos.

As operações militares exigem altos níveis de personalização e produção de peças em locais inóspitos, em pequenos volumes e em prazos quase imediatos. Quanto mais versátil é uma Força Naval, maior é a dificuldade de previsibilidade da demanda e mais altos são os níveis de estoque de sobressalentes. Nesse aspecto, a impressão 3D possibilita facilitar a previsão e o provimento do material necessário à manutenção das Forças Navais, Aeronavais e de Fuzileiros Navais em operação e demais Organizações Militares.

Certas ligas metálicas produzidas por manufatura aditiva podem ser produzidas com baixo custo e são semelhantes ou melhores do que as ligas tradicionais. Mas, o maior benefício de curto prazo da implementação da impressão 3D é a imediata possibilidade de redução do estoque e do prazo de entrega de determinado sobressalente em qualquer lugar. Já no médio e longo prazo, eleva significativamente a prontidão dos meios operativos, reduzindo os prazos e custos de produção de sobressalentes, de armazenamento e de transporte.

Uma série de estudos ainda precisam ser realizados para determinar como a manufatura aditiva pode ser implementada e quanto poderia ser economizado, mas não há dúvidas sobre a contribuição promissora de tal tecnologia no futuro de uma Marinha pronta para atuar, como previsto no ordenamento jurídico nacional – em defesa dos interesses da Pátria, nos espaços oceânicos, pantaneiro, amazônico, antártico

