

CICLOS DE DESENVOLVIMENTO DE TECNOLOGIAS DE DEFESA

DEFENSE TECHNOLOGY DEVELOPMENT CYCLES

CICLOS DE DESARROLLO DE TECNOLOGÍAS DE DEFENSA

Francisco Jose Umgeher Taborda*
Claudio Rodrigues Corrêa**

RESUMO

Os ciclos de desenvolvimento de tecnologias avançadas são custosos e, muitas vezes, demandam longos períodos de esforço constante. Restrições orçamentárias e limitações de recursos humanos qualificados podem atrasar tanto o desenvolvimento de um projeto de desenvolvimento de tecnologia que, ao seu final, ele não representa mais uma tecnologia de ponta competitiva. O objetivo deste artigo é analisar as características do processo de desenvolvimento de tecnologia e de redução da defasagem tecnológica. Sua abordagem metodológica inicia com fundamentos da teoria de inovação e desenvolvimento de tecnologia que dão suporte à análise de dados coletados exclusivamente de fontes não sigilosas. São apresentados e discutidos aspectos importantes dos ciclos de desenvolvimento de tecnologia de defesa como o desafio do desenvolvimento de tecnologia de defesa autóctone; o caso do desenvolvimento da tecnologia de reatores nucleares embarcados; a defasagem tecnológica suprida por aquisição e absorção de tecnologia; e o desenvolvimento autóctone da tecnologia - o caso do Míssil Antinavio Nacional de Superfície (MANSUP). Investimento, tempo de maturação dos projetos e sucesso na redução da defasagem tecnológica são analisados. Os resultados apontam para possíveis soluções de um projeto de desenvolvimento de tecnologia que não consegue alcançar um melhor desempenho de tecnologia de ponta quando o líder nessa tecnologia já chegou ao limite técnico da tecnologia. O artigo contribui para o melhor entendimento quanto à importância do domínio de um conjunto seletivo de tecnologias de ponta como processo contínuo fundamental para que países como o Brasil alcancem algum grau de independência na obtenção de sistemas de defesa.

Palavras chave: Tecnologias de defesa; desenvolvimento de tecnologia; inovação.

* Graduado em Ciências Navais e Engenharia de Operações – Escola Naval Brasileira, Master of Science in Systems Engineering – United States Naval Postgraduate School, PMI Project Management Professional, PMI Project Risk Management Professional, Mestre em Administração – Centro Universitário IBMEC e Doutorando pelo Programa de Pós-Graduação em Estudos Marítimos da Escola de Guerra Naval (PPGEM-EGN).

** MBA Marketing pela ESPM, Mestre Administração FGV-EBAPE, Doutor Administração UFRJ-COPPEAD, Professor Programa de Pós-Graduação em Estudos Marítimos da Escola de Guerra Naval (PPGEM-EGN), *Visiting Researcher* Universidade Lusófona Lisboa.

ABSTRACT

The development cycles of advanced technologies are costly and often require long periods of constant effort. Budget restrictions and limitations of qualified human resources can delay the development of a technology development project so much that, at the end, it no longer represents a competitive cutting-edge technology. The objective of this article is to analyze the characteristics of the technology development process and reduction of the technological gap. Its methodological approach begins with foundations of the theory of innovation and technology development that support the analysis of data collected exclusively from non-confidential sources. Important aspects of defense technology development cycles are presented and discussed, such as the challenge of developing indigenous defense technology; the case of the development of on-board nuclear reactor technology; the technological gap covered by the acquisition and absorption of technology; and the indigenous development of technology - the case of National Anti-Ship Missil. Investment, project maturation time and success in reducing the technological gap are analyzed. The results point to possible results of a technology development project that fails to achieve cutting-edge technology performance when the leader in that technology has already reached the technical limit of the technology. The article contributes to a better understanding of the importance of mastering a select set of cutting-edge technologies as a fundamental continuous process for countries like Brazil to achieve some degree of independence in obtaining defense systems.

Keywords: Defense technologies; technology development; innovation.

RESUMEN

Los ciclos de desarrollo de tecnologías avanzadas son costosos y a menudo requieren largos períodos de esfuerzo constante. Las restricciones presupuestarias y las limitaciones de recursos humanos calificados pueden retrasar tanto el desarrollo de un proyecto de desarrollo tecnológico que, al final, ya no represente una tecnología de punta competitiva. El objetivo de este artículo es analizar las características del proceso de desarrollo tecnológico y reducción de la brecha tecnológica. Su enfoque metodológico parte de fundamentos de la teoría de la innovación y el desarrollo tecnológico que sustentan el análisis de datos recopilados exclusivamente de fuentes no confidenciales. Se presentan y discuten aspectos importantes de los ciclos de desarrollo de tecnología de defensa, como el desafío de desarrollar tecnología de defensa autóctona; el caso del desarrollo de tecnología de reactores nucleares a bordo; la brecha tecnológica cubierta por la adquisición y absorción de tecnología; y el desarrollo autóctono de la tecnología: el caso de Misil Antibuque de Medio Alcance. Se analiza la inversión, el tiempo de

maduración de los proyectos y el éxito en la reducción de la brecha tecnológica. Los resultados apuntan a posibles resultados de un proyecto de desarrollo tecnológico que no logra lograr un rendimiento tecnológico de vanguardia cuando el líder en esa tecnología ya ha alcanzado el límite técnico de la tecnología. El artículo contribuye a una mejor comprensión de la importancia de dominar un conjunto selecto de tecnologías de punta como un proceso continuo fundamental para que países como Brasil alcancen cierto grado de independencia en la obtención de sistemas de defensa.

Palabras clave: Tecnologías de defensa; desarrollo tecnológico; innovación.

1 INTRODUÇÃO

Os ciclos de desenvolvimento de tecnologia dependem de recursos alocados por períodos que podem exceder três décadas. Incluem as fases de concepção, pesquisa e desenvolvimento, crescimento, maturidade e declínio. Quando o objetivo do desenvolvimento de uma tecnologia é reduzir a defasagem tecnológica em relação ao líder da tecnologia em questão, em princípio, podem ser adotadas duas estratégias: a do desenvolvimento autóctone acelerado dessa tecnologia, ou a aquisição de parte dela para reduzir a defasagem e seguir, a partir daí com pesquisa e desenvolvimento para se igualar ao líder da tecnologia. Quando recursos não são aportados de forma eficiente na quantidade necessária, a defasagem tecnológica não é resolvida. Dados dos projetos de desenvolvimento do míssil antinavio MANSUP e do Programa Nuclear da Marinha exemplificam algumas das dificuldades encontradas em projetos de desenvolvimento de tecnologia autóctone.

O objetivo deste artigo é analisar as características do processo de desenvolvimento de tecnologia para a redução da defasagem tecnológica.

Desenvolvimento de tecnologias demandam recursos financeiros e materiais, além de equipes de pesquisadores e desenvolvedores alocadas por períodos que podem exceder três décadas como demonstrado nesse artigo.

Este trabalho apresenta conceitos sobre ciclos de desenvolvimento de tecnologia e aborda duas formas que instituições podem abraçar para cobrir defasagens tecnológicas. A primeira é a aquisição e absorção da tecnologia utilizando mecanismos de transferência de tecnologia. A segunda é o desenvolvimento autóctone acelerado da tecnologia que se quer dominar.

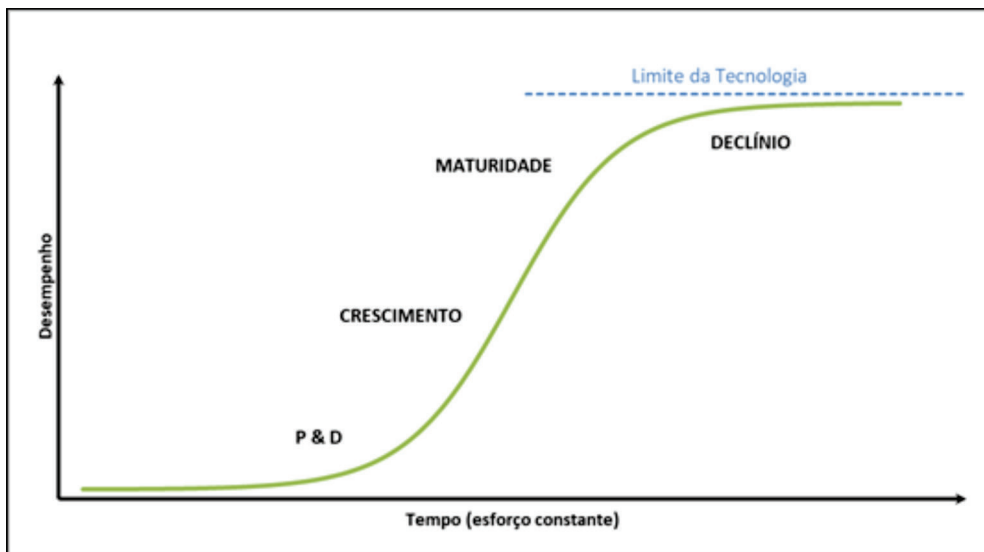
Sua abordagem metodológica inicia com fundamentos da teoria de inovação e desenvolvimento de tecnologia que dão suporte à análise de dados coletados exclusivamente de fontes não sigilosas. São apresentados e discutidos aspectos importantes dos ciclos de desenvolvimento de tecnologia de defesa, como o desafio do desenvolvimento de tecnologia de defesa autóctone; o caso do desenvolvimento da tecnologia de reatores nucleares embarcados; a defasagem tecnológica suprida

por aquisição e absorção de tecnologia; e o desenvolvimento autóctone da tecnologia - o caso do MANSUP.

2 O CICLO DO DESENVOLVIMENTO DA TECNOLOGIA

O ciclo do desenvolvimento de uma tecnologia é diretamente relacionado ao aumento de seu desempenho que, muitas vezes, pode ser representado por uma Curva S (Burgelman, 1988; Foster, 1986; Schilling, 2020). A Figura 01 mostra a curva de aumento de desempenho de uma determinada tecnologia, ao longo do tempo, correlacionada com as fases de seu ciclo de vida, tendo como premissa a aplicação de esforço constante durante o seu desenvolvimento.

Figura 01 – Curva S da evolução do desempenho de uma tecnologia



Fonte: Schilling (2020).

A Curva S da Figura 01 é uma função sigmoide definida pela função:

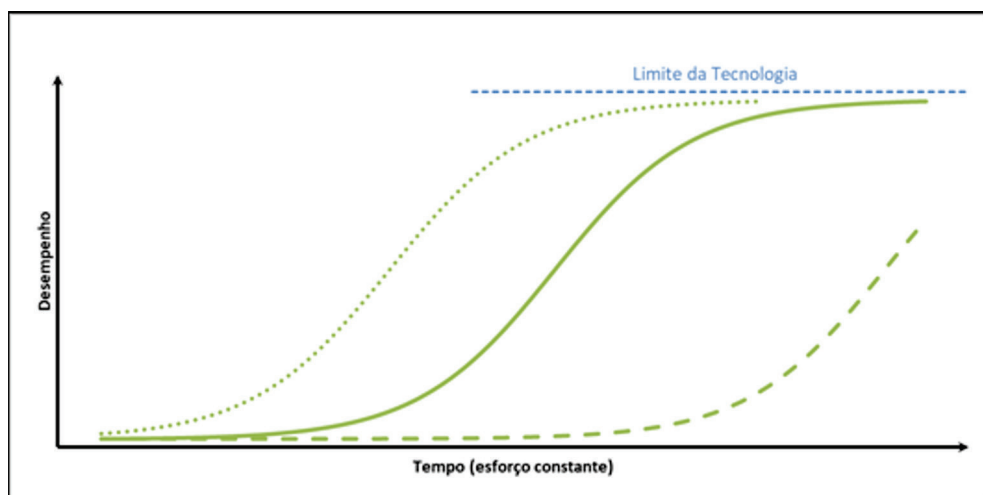
$$f(t) = \frac{L}{1 + e^{-k(t-i)}}$$

onde

L representa o maior valor que a curva atinge
k representa a taxa de crescimento ou a inclinação da curva
t representa a variável independente tempo
i representa o valor de f(t) no meio da curva

Esta função será utilizada para a representação gráfica dos conceitos apresentados neste trabalho. A progressão do desempenho de uma determinada tecnologia pode ser representada por uma família de curvas S em função da intensidade do esforço dispendido para o seu desenvolvimento ao longo do tempo. Quanto maior o esforço constante no desenvolvimento da tecnologia, mais rápido ela tende a chegar ao limite de seu desempenho, como mostra a Figura 02 (Burgelman, 1988; Schilling, 2020;). A curva pontilhada representa a aplicação de um esforço constante mais intenso no desenvolvimento da tecnologia que a curva sólida. Por sua vez; a curva tracejada representa um esforço constante menos intenso que a curva sólida, o que significa, também, um tempo maior para se alcançar o limite de desempenho da tecnologia. O limite do desempenho de uma tecnologia, normalmente, é decorrente de restrições físicas naturais dos elementos que ela utiliza (Burgelman, 1988).

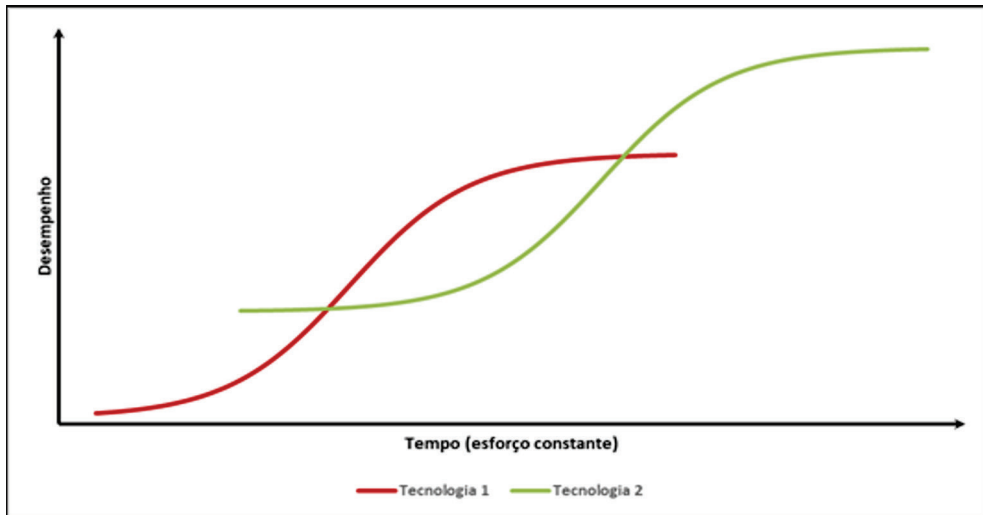
Figura 02 – Curvas S da evolução do desempenho de uma tecnologia em função da intensidade constante do esforço aplicado



Fonte: Schilling (2020) e Burgelman (1988).

Tecnologias de diferentes gerações aplicadas a uma mesma finalidade podem conviver por algum tempo até que a tecnologia mais nova a substitua completamente. Isto pode acontecer quando a eficiência da tecnologia mais nova supera a da tecnologia mais antiga, mesmo antes de esta última ter atingido o seu limite de desempenho (Burgelman, 1988; Schilling, 2020). A Figura 03 mostra um exemplo de como tecnologias de uma mesma classe evoluem, em desempenho, ao longo do tempo.

Figura 03 – Curvas S - tecnologias de gerações diferentes para mesmas áreas



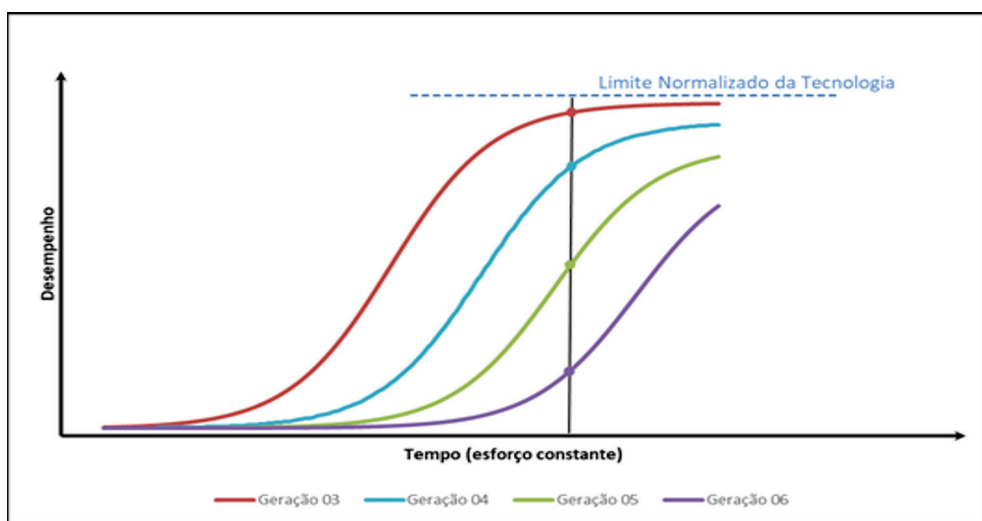
Fonte: Schilling (2020). Com adaptações.

Sistemas de gerações tecnológicas diferentes têm convivido por longos períodos (Schilling, 2020). Um exemplo é o do carro elétrico que convive com o carro movido a motor de combustão interna, já faz algum tempo. Atualmente, a maturidade tecnológica da propulsão automobilística tem do motor a combustão é maior que a da propulsão elétrica. Veículos elétricos, ainda, têm alguns desafios a superar como, por exemplo: o aumento da autonomia, a diminuição de peso das baterias, a redução dos custos de produção, e o aumento da eficiência das baterias. Por outro lado, a propulsão a motor de combustão interna está se aproximando do limite de desempenho da tecnologia. Além do mais, restrições ambientais estão apontando para a substituição antecipada desta tecnologia. Ainda, uma outra tecnologia nova está sendo considerada para a propulsão veicular terrestre: motores movidos a hidrogênio verde (Sadiq, Al Bagdadi, 2021).

A aviação militar, também, oferece um exemplo de convivência de tecnologias de gerações diferentes. Aviões de terceira geração (3G) – como o F-5 Tiger, o A4 Skyhawk, o MIG-21 e o MIG 23 – convivem com aeronaves de quarta geração (4G) – como o F-16 Falcon, o MIG 29, o F/A-18 Hornet, o Eurofighter e o Sukhoi-27. Por sua vez, as aeronaves 4G irão conviver com as aeronaves de quinta geração (5G) como o Lightning II F-35, o Raptor F-22, o Sukhoi SU-57 e o Shengdu J-20 por, pelo menos mais uma década. Aeronaves de sexta geração (6G) já estão em fase de concepção e projeto. Têm a previsão de iniciar os ensaios de voo entre 2025 e 2035 e a expectativa de começarem a ser incorporadas a forças aéreas entre 2035 e 2045. Exemplos de aeronaves 6G em desenvolvimento são o Tempest, o Mikoyan PAK MIG-41, o NEGAD FX e o Mitsubishi F-X. A Figura 04 (Schilling, 2020)

mostra a distribuição qualitativa das Curvas S normalizadas para o limite teórico da tecnologia das 4 gerações de aviões de caça acima mencionadas. Também, mostra o desempenho qualitativo de cada uma dessas tecnologias, em um determinado momento, que coexistem do ponto de vista operacional.

Figura 04 – Gerações de tecnologia que convivem em um determinado momento



Fonte: Schilling (2020). Com adaptações.

3 O DESAFIO DO DESENVOLVIMENTO DE TECNOLOGIA DE DEFESA AUTÓCTONE

Países que almejam um determinado grau de independência tecnológica na área de defesa têm de desenvolver tecnologias sensíveis que nem sempre estão disponíveis para aquisição imediata. Ainda, a simples aquisição da tecnologia não garante a permanência do país que a adquire na linha de frente do conhecimento tecnológico. A dinâmica do progresso tecnológico demanda a evolução contínua do aperfeiçoamento da tecnologia (Foster, 1986).

Restrições internacionais como o International Traffic in Arms Regulation (ITAR), o Missile Technology Control Regime (MTCR), o Treaty on the Non-Proliferation of Nuclear Weapons (NPT) e o Arms Export Control Act (AECA) criam dificuldades adicionais para a aquisição e o desenvolvimento autônomo de tecnologias sensíveis de defesa (Gomes, 2008). Nesses casos, a perseverança e a aderência a um planejamento estratégico de longo prazo são mandatórias para o sucesso de um projeto de desenvolvimento de tecnologia autóctone.

Em algumas circunstâncias, a continuidade de um projeto de desenvolvimento de tecnologia demanda o desenvolvimento de outras tecnologias associadas ao produto do projeto inicial. Isto pode acontecer quando o acesso a componentes

necessários para fases intermediárias, ou subsistemas, do projeto são negados pelos países que os podem fornecer por causa dos mecanismos de controle acima mencionados. Nesses casos, novos projetos complementares têm de ser criados para que o programa principal seja concluído (Gomes, 2008).

Os recursos necessários ao desenvolvimento tecnológico de ponta, principalmente no setor de defesa, em uma determinada área do conhecimento, são vultosos e demandam um extenso planejamento e uma cuidadosa alocação de recursos. O quadro 01 mostra o investimento feito até o final de 2022 no Programa Nuclear da Marinha (PNM) e no Programa de Submarinos (PROSUB), que inclui o projeto e desenvolvimento do submarino brasileiro com propulsão nuclear (Marinha do Brasil, 2022). Em valores absolutos, o conjunto desses 2 programas são o maior programa de desenvolvimento de tecnologia de defesa do Brasil, no momento. A expectativa é que o investimento nesse programa alcance o valor de R\$ 35 bilhões.

Quadro 01 – Investimento realizado no Programa Nuclear da Marinha e no Programa de Submarinos

ANO	PAGO NO ANO (R\$)
2008	111.202.001,11
2009	693.900.260,91
2010	2.960.040.637,09
2011	2.211.081.855,46
2012	2.266.036.215,88
2013	1.819.994.081,72
2014	3.073.035.431,67
2015	1.461.460.606,81
2016	1.997.047.940,58
2017	1.999.974.265,32
2018	2.084.373.488,04
2019	1.625.216.686,39
2020	1.711.194.378,74
2021	1.696.986.648,35
2022	1.759.978.045,78
Total	27.471.522.543,86

Fonte: Marinha do Brasil, 2023.

Um outro exemplo de investimento maciço é o programa de desenvolvimento e aquisição do F-35 Lightning II. Esse programa custou aos cofres do governo dos Estados Unidos 397,8 bilhões de dólares, até dezembro de 2019 (GAO, 2022).

4 O CASO DO DESENVOLVIMENTO DA TECNOLOGIA DE REATORES NUCLEARES EMBARCADOS

Um exemplo de dificuldade para a aquisição de tecnologia sensível é o caso da tecnologia de reatores nucleares para submarinos. Os Estados Unidos da América (EUA), o primeiro país a construir submarinos com propulsão nuclear, vêm desenvolvendo a tecnologia de reatores nucleares embarcados desde a década de 1950, quando iniciou a construção do USS Nautilus (SSN-571). Os EUA consideram essa tecnologia uma vantagem tecnológica importante e não se dispõem a compartilhá-la com outros países. Até o presente momento o Reino Unido foi o único país com quem os EUA compartilharam essa tecnologia (Congressional Research Service, 2023a). Esses dois países, tradicionais parceiros no desenvolvimento da tecnologia nuclear desde o Projeto Manhattan¹, assinaram um acordo de transferência de tecnologia de reatores nucleares embarcados, em 1958. O batimento da quilha do primeiro submarino com propulsão nuclear (com um reator americano S5W) da Real Marinha Britânica, o HMS Dreadnought (S101), foi em junho de 1959. Seu primeiro cruzeiro movido à energia nuclear foi em 1963. O primeiro submarino britânico com um reator inglês RollsRoyce PWR1, o Valiant (S102) só foi comissionado em 1966 (Lobner, 2018). Apesar de toda a ajuda dos EUA e dos vultosos recursos aplicados, os britânicos levaram 8 anos para ter sua autonomia nesse campo.

Durante a Guerra Fria, França, Itália, Holanda e Japão, aliados de primeira hora contra a União Soviética, tiveram seus pedidos de transferência de tecnologia de reatores nucleares embarcados recusados. Em tempos mais recentes, o Canadá e o Paquistão tiveram seus pedidos de acesso a essa tecnologia recusados (Congressional Research Service, 2023b).

Em 1959, com a recusa do Congresso dos EUA em ceder a tecnologia de reatores nucleares embarcados, a França decidiu iniciar um programa nacional de desenvolvimento dessa tecnologia que culminou com a entrada em serviço operacional do SSBN Le Redoutable, em 1971 (Lobner, 2018). O esforço francês levou 12 anos para entregar o primeiro submarino com propulsão nuclear à Marinha de Guerra Francesa.

O programa da Índia para construir seu primeiro submarino com propulsão nuclear começou em 1984 com a criação do Advanced Technology Vessel (ATV) Program, desenvolvido pela Defense Research Development Organization (DRDO). A construção do primeiro submarino com propulsão nuclear da Marinha da Índia, o INS Arihant (SSBN 80) foi iniciada em 2004. O submarino foi lançado ao mar em 2009, comissionado em 2018 e teve sua primeira comissão operacional em 2018

1 Projeto Manhattan – projeto de desenvolvimento da bomba atômica pelos EUA, durante a II Guerra Mundial.

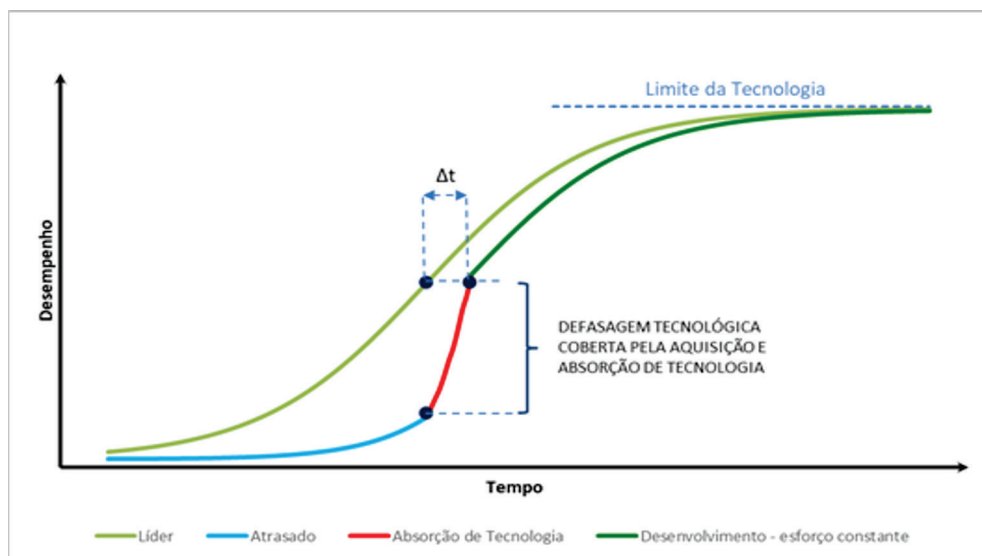
(Lobner, 2018). A tecnologia para a construção do INS Arihant foi desenvolvida integralmente por organizações indianas e levou 34 anos para ser integralmente dominada.

A fase I do acordo AUKUS (Australia-United Kingdom-United States), divulgado em setembro de 2021, prevê a venda de submarinos nucleares americanos da classe Virginia à Austrália. A fase II desse acordo permitirá a construção de submarinos de propulsão nuclear com armamento convencional em estaleiro australiano e só será possível com a flexibilização de provisões previstas no International Traffic in Arms Regulation (ITAR) e AECA (Congressional Research Service, 2023a). O início da construção de submarinos com propulsão nuclear em território australiano está prevista para o ano de 2040 (Congressional Research Service, 2023). Se tudo acontecer como planejado a Austrália iniciará a construção de seu primeiro submarino com propulsão nuclear, 19 anos após a assinatura do acordo AUKUS (acrônimo do Inglês Australia, United Kingdom, United States), apesar de todo o apoio que vai receber dos EUA e do Reino Unido.

5 DEFASAGEM TECNOLÓGICA SUPRIDA POR AQUISIÇÃO E ABSORÇÃO DE TECNOLOGIA

O processo de aquisição de uma tecnologia por transferência de outra tende a abreviar o tempo necessário para chegar mais próximo do líder dessa tecnologia e capacitar as equipes de desenvolvimento a continuarem o desenvolvimento da tecnologia até o seu limite técnico. Precisa, também, assegurar que os instrumentos de pesquisa e desenvolvimento (P&D) da instituição estejam capacitados e preparados para pesquisar e desenvolver tecnologias sucessoras para que a organização continue na linha de frente tecnológica. O sucesso desse esforço depende de um planejamento cuidadoso e da alocação judiciosa dos recursos necessários para que a taxa do aumento do desempenho da tecnologia acompanhe o progresso com que ela evolui entre os competidores líderes do mercado (Amarante, 2013).

A Figura 05 mostra como a defasagem do nível de desempenho de uma tecnologia pode ser coberta através do processo de aquisição e absorção de outra. Neste caso, a diferença de desempenho entre o líder e o retardatário pode ser encurtada pela aquisição da tecnologia. Este processo pode eliminar a necessidade da superação autóctone de gargalos tecnológicos que podem retardar o progresso do nível de desempenho e, conseqüentemente, aumentar custos. A dificuldade deste caminho é que nem sempre estas tecnologias desejadas são vendidas espontaneamente. Então, muitas vezes, se usa o recurso do *offset* tecnológico quando se compra grandes projetos. Nesses casos, para viabilizar uma venda conveniente para os detentores da tecnologia, eles podem, eventualmente, concordar com a transferência de uma determinada tecnologia sensível.

Figura 05 – Recuperação de defasagem tecnológica por absorção de tecnologia

Fonte: Schilling (2020). Com adaptações.

É importante ressaltar que como o desenvolvimento tecnológico é muito acelerado só a mera transferência de tecnologia por aquisição não é suficiente para se igualar tecnologicamente às organizações que se encontram na linha de frente. É preciso que as entidades “receptoras” de tecnologia se organizem não só para absorver e dominar a tecnologia, mas também para prosseguir no desenvolvimento dela para que continuem competitivas. (Amarante, 2013)

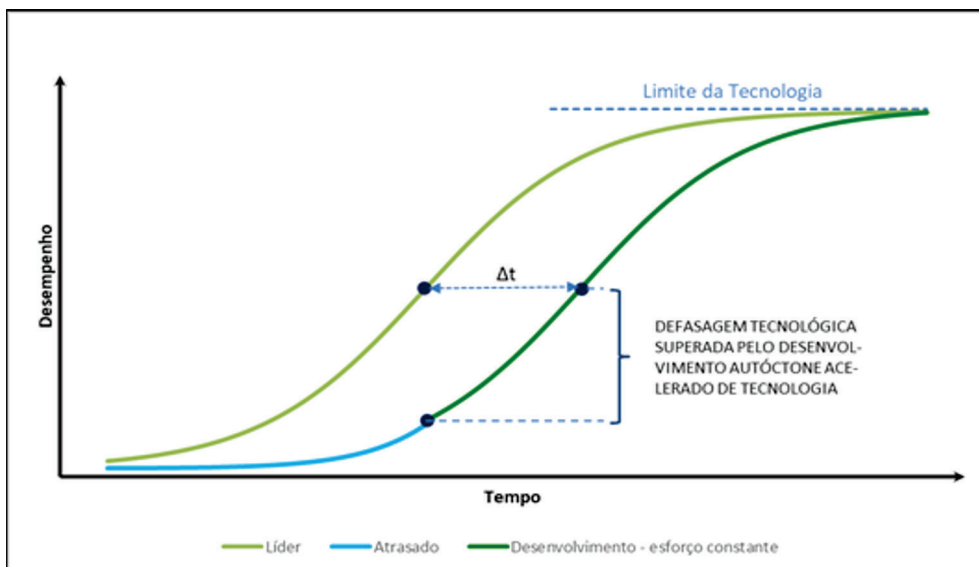
6 DESENVOLVIMENTO AUTÓCTONE ACELERADO DA TECNOLOGIA

Muitas vezes, como no caso da aquisição de um submarino com propulsão nuclear, por exemplo, a aquisição dessa tecnologia é, virtualmente, impossível. Mecanismos nacionais e internacionais de controle de transferência de certas tecnologias inviabilizam essas transações. Além do mais, pode existir a pressão de países poderosos que impede a realização de transações que eles consideram danosas aos seus próprios interesses, como é o caso do ITAR, uma lei dos Estados Unidos da América que visa proteger a tecnologia americana e impedir o acesso de outros países. A Figura 06 mostra a forma que a curva de desempenho de uma tecnologia pode tomar quando se opta pelo desenvolvimento autóctone acelerado de uma determinada tecnologia.

Uma das diferenças entre o processo de absorção e o processo de desenvolvimento acelerado de tecnologia é que com esse último, o tempo necessário para se alcançar o nível de desempenho do líder da tecnologia ao começo do processo é maior, como mostra a análise das Figuras 05 e 06. Ainda, os custos dessa abordagem tendem a ser maiores já que as equipes de desenvolvimento terão de ser maiores

e, como mencionado acima, gargalos tecnológicos não identificados inicialmente podem ter de ser superados. Contudo, este é o caminho que resta quando a tecnologia procurada não pode ser adquirida de outra forma, como nos casos dos programas de desenvolvimento da bomba atômica da Índia (Saini, 2011) e da África do Sul (Albright; Stricker, 2016). O caso do programa AUKUS idealizado para dotar a Real Marinha Australiana de submarinos nucleares de ataque é uma exceção. Está sendo implementado para escorar uma política de dominância marítima do Oceano Pacífico pelos Estados Unidos, Reino Unido e Austrália. A proibição deste tipo de transação prevista no ITAR está sendo contornada para viabilizar este programa.

Figura 06 – Recuperação da defasagem tecnológica pelo desenvolvimento autóctone acelerado de tecnologia



Fonte: Schilling (2020). Com adaptações.

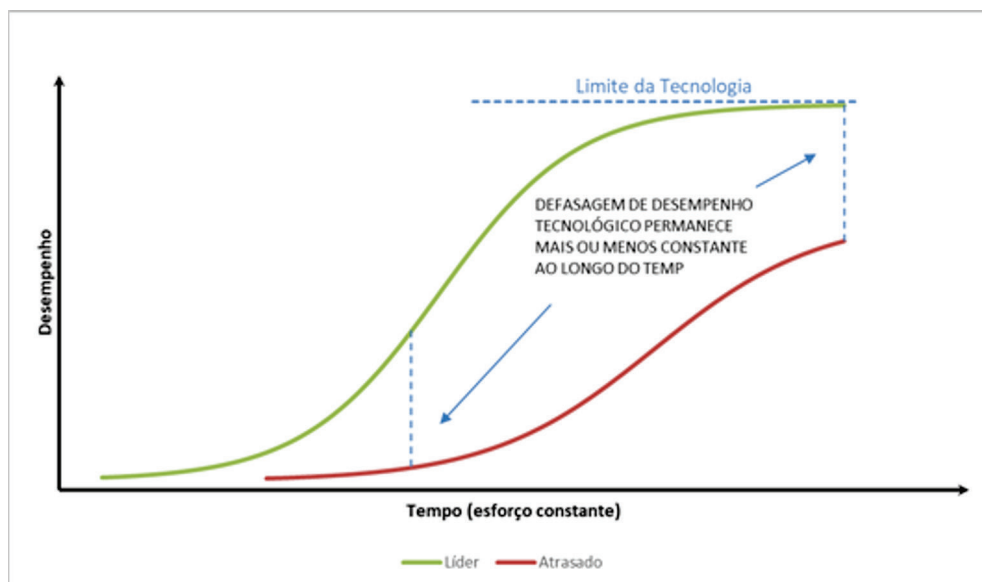
7 DESENVOLVIMENTO AUTÓCTONE DE TECNOLOGIA – O CASO DO MÍSSIL ANTINAVIO NACIONAL (MANSUP)

Em 2011 a Marinha do Brasil decidiu pelo desenvolvimento de um míssil antinavio a ser lançado de uma unidade de superfície (Diretoria de Sistemas de Armas da Marinha - DSAM, 2021). Premissas básicas (Marinha do Brasil, 2022) foram a) a capacidade de ser lançado a partir do lançador do míssil Exocet MM 40, já existente em alguns navios da Esquadra; b) possuir as mesmas características operativas e físicas do Exocet MM 40; c) não ser desenvolvido através de engenharia reversa; d) empregar tecnologia desenvolvida no Brasil para evitar eventuais restrições à aquisição de componentes sensíveis por outros países interessados ou depender de autorização de outros países para exportação; e) ser desenvolvido por empresas brasileiras.

O Quadro 01, compilado a partir de fontes absolutamente ostensivas e de domínio público (Defesanet, 2021; Desenvolvimento de Assistência Múltipla, 2021; EZUTE², 2021; Poder Naval, 2022), compara o desempenho da família de mísseis Exocet MM 40 com o desempenho estimado do míssil MANSUP desenvolvido por um grupo de empresas brasileiras por encomenda da MB. Os dados registrados no Quadro 01 indicam que o MANSUP possui características comparáveis com o Exocet MM 40 Block I. Eventualmente, pode possuir alguma característica tecnológica mais atual, já que foi desenvolvido mais tarde. Todavia, também, é lícito inferir que o MM 40 Block I, de fabricação mais recente, pode ter sido atualizado tecnologicamente. Considerando as premissas acima, parece razoável inferir que o MM 40 Block I e o MANSUP possuem desempenho similares. A diferença é que o M 40 Block I é fabricado desde 1981 e o MANSUP, ainda não entrou em fabricação seriada.

A Figura 07 mostra de forma qualitativa, considerando os dados do Quadro 02, a evolução da tecnologia da família Exocet, incluindo o Exocet Block III, e a evolução tecnológica do MANSUP, em que pese os bons resultados desse projeto, alcançado até o momento. A linha verde representa a evolução tecnológica dos mísseis da família Exocet, enquanto a linha vermelha representa a evolução da tecnologia do MANSUP.

Figura 07 – Evolução incremental da tecnologia partindo de estágios diferentes mantendo a defasagem tecnológica



Fonte: Schilling (2020). Com adaptações.

2 Fundação EZUTE é o nome atual da antiga Fundação Atech criada, em 1997, para participar do desenvolvimento do Sistema de Vigilância da Amazônia.

Quadro 02 – Características dos Mísseis da Família Exocet e do MANSUP

Características		MM 40 Block I	MM 40 Block II	MM 40 Block III	MANSUP
Desenvolvimento		± 1975 - 1980	± 1985 - 1991	2004 - 2007	2011 - presente
Entrada em serviço		1981	1992	2010	em testes / fase de "produção"
Dimensões	Comprimento	5,79 m	5,8 m	5,95 m com o booster 4,7 m após separação do booster	5,9 m
	Dímetro	0,35 m	0,35 m	0,35 m	0,35 m
	Envergadura	1,13 m	1,13 m	1,13 m	
	Peso	875 kg	870 kg	750 kg com booster 540 kg após separação do booster	876 kg
Guiagem	Fase Terminal	Radar de busca ativa	Radar de busca ativa Radar Super ADAC Banda I	Radar de busca ativa Banda I p/alvos navais Guiagem por GPS para alvos terrestres	Radar de busca ativa
	Fase Inicial	Navegação inercial	Navegação inercial Block 2 mod 1 com GPS	Navegação inercial com GPS e data link	Navegação inercial
Cabeça de combate	Tipo	Fragmentação	Fragmentação	Fragmentação	
	Peso	155 kg	155 kg	acima de 100 kg	
	Espoleta	Espoleta de aproximação e espoleta de impacto retardada			
Propulsão	Motor de cruzleiro de propelente de estado sólido Altair			Turbojato Microturbo TR 40 com combustível JP 10	Motor Foguete
	Booster de estado sólido Gerfaut			Booster estado sólido com tubelina orientável	Booster de estado sólido
Velocidade	Mach 0,9		Mach 0,9	Mach 0,9	~Mach 0,9 (300 m/s)
Alcance	65 - 70 km máximo		75 km máximo	180 - 200 km máximo	70 [75] km
	4 km mínimo		4 km mínimo	4 km mínimo	4 km mínimo
Altitude	Fase de Lançamento	30 a 50 m acima do nível do mar			
	Fase de Cruzeiro	15 m acima do nível do mar			
	Fase Terminal	1,5 a 2 m acima do nível do mar			
Notas	O novo motor foguete, praticamente, dobra o alcance do MM 38. Incorpora melhorias introduzidas nas variantes AM 39 e SM 39. O novo radar ativo de busca e seleção de alvo possui um arco de busca de maior amplitude. O MM 40 foi rebatizado Block 1 depois da introdução do Block 2.	Modernização do MM 40 Block 1 com uma seção de guiagem mais aprimorada. Primeira variante a introduzir um sistema GPS para complementar o sistema de navegação inercial. Um novo radar altímetro permite um perfil de voo de cruzleiro mais baixo. O computador de planejamento de missão permite perfis de ataque mais elaborados, possui medidas contra contra eletrônicas mais robustas e possui capacidade de ataque básica.	A propulsão do MM 40 com uma turbina o torna capaz de manobrar após o lançamento permitindo que um único navio lance um a salva de mísseis e ataque um alvo em várias marcações. Em 2018, foi lançada a versão Block 3C com maior capacidade de processamento de dados e melhor planejamento de missão. Há suspeitas de que o Block 3C é capaz de selecionar um determinado alvo em um grupo de navios e escolher o melhor ponto de impacto.	Tecnologia totalmente brasileira. Usa soluções encontradas pela indústria brasileira. Atende os requisitos da Marinha do Brasil. Em princípio, essas características o tornam relativamente imunes a eventuais restrições de importação de itens tecnológicos impostas por terceiros.	

Fonte: Defesanet (2021), DSAM (2021), EZUTE (2021) e Poder Naval, (2022). Com adaptações.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Quando se busca eliminar a defasagem tecnológica de uma organização para que ela, em um determinado intervalo de tempo, atinja um patamar de tecnologia de ponta, é fundamental que ela se organize para desenvolver sua tecnologia a uma velocidade superior à de outra organização líder. As Figuras 05 e 06 mostram as curvas de desempenho, do ponto de vista qualitativo, previstas para o caso de se estabelecer um programa de desenvolvimento de tecnologia partindo de diferentes níveis de desempenho até se atingir a paridade desejada.

Quando o desenvolvimento tecnológico é limitado por restrições orçamentárias ou de pessoal qualificado, o resultado é, invariavelmente, o desenvolvimento de tecnologias autóctones que não atenderão às necessidades de paridade tecnológica com tecnologias de ponta, ao final do projeto. Não serão competitivas, nem garantirão independência tecnológica em relação às organizações mais adiantadas. A Figura 07 mostra um dos possíveis resultados de um projeto de desenvolvimento de tecnologia que não consegue alcançar o desempenho de tecnologia de ponta quando o líder nessa tecnologia já chegou ao limite técnico da

tecnologia e, muito possivelmente, já está adiantado no desenvolvimento de uma outra substituta.

Este artigo contribui para o melhor entendimento quanto à importância do domínio de um conjunto seletivo de tecnologias de ponta como processo contínuo fundamental para que países, como o Brasil, alcancem algum grau de independência na obtenção de sistemas de defesa.

REFERÊNCIAS

ALBRIGHT, David; STRICKER, Adrea. *Revisiting South Africa's nuclear weapons program: its history, dismantlement, and lessons for today*. Washington: Institute for Science and International Security, 2016.

AMARANTE, Jose Carlos Albano do. *Processos de obtenção de tecnologia militar*. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2013.

BURGELMAN, Robert A; MAIDIQUE, Modesto A. *Strategic management of technology and innovation*. Homewood: Irwin, 1988.

CONGRESSIONAL RESEARCH SERVICE. *Navy Virginia-Class Submarine Program and AUKUS Submarine Proposal: background and issues for congress*. US Congress, 2023a.

CONGRESSIONAL RESEARCH SERVICE. *U.S. Arms Transfer Restrictions and AUKUS Cooperation*. US Congress, 2023b.

DEFESANET. *MANSUP: Projeto Míssil Antinavio de Superfície avança para a terceira etapa*. Disponível em: <https://www.defesanet.com.br/07set2021/noticia/44370/mansup-projeto-missil-antinavio-de-superficie-avanca-para-a-terceira-etapa/>. Acesso em: 25 jun. 2023.

Diretoria de Sistemas de Armas da Marinha. *Apresentação do MANSUP II Seminário "A Força Terrestre nas Operações de Defesa do Litoral"*. 2021. Disponível em: http://www.esacosaae.eb.mil.br/images/phocagallery/2021/Seminario2021/palestras/13_CMG-RM1.pdf. Acesso em 25 jun. 2023.

EZUTE. *Fundação Ezute participará da etapa 3 do Programa MANSUP*. 2021. Disponível em: http://www.esacosaae.eb.mil.br/images/phocagallery/2021/Seminario2021/palestras/13_CMG-RM1.pdf. Acesso em: 25 jun. 2023.

FOSTER, Richard N. *Innovation: the attackers advantage*. New York: Summit Books, 1986.

GAO. *Report do Congressional Committees: F-35 joint strike fighter cost growth and schedule delays continue (accessible version)*. Washington, 2022.

GOMES, Venâncio Alvarenga. *Embargos tecnológicos CONTRA o Brasil praticados pelos Estados Unidos: 2008 flashback "Força Aérea"!* 2008. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=G0_pmfML4q0. Acesso em 30 jul. 2023.

LOBNER, Peter. *Marine nuclear power:1939 – 2018 Part 4: Europe & Canada*. Peter Lobner, 2018. Disponível em: https://lynceans.org/wp-content/uploads/2018/07/Marine-Nuclear-Power-1939-2018_Part-4_Europe-Canada.pdf . Acesso em: 29 nov. 2023.

MARINHA DO BRASIL. *Relatório de Gestão 2022*. 2022. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/relatorio-de-gestao>. Acesso em: 06 nov. 2023.

PODER NAVAL. *Enquanto isso, em que pé está o MANSUP?* 2022a. Disponível em: <https://www.naval.com.br/blog/2022/04/17/enquanto-isso-em-que-pe-esta-o-mansup/>. Acesso em: 26 jun. 2023.

PODER NAVAL. *MANSUP: marinha divulga informações sobre avanços da 3ª etapa*. 2022b. Disponível em: <https://www.naval.com.br/blog/2022/04/29/mansup-marinha-divulga-informacoes-sobre-avanco-da-3a-etapa/>. Acesso em: 20 jun. 2023.

PODER NAVAL: *MANSUP: saiba mais sobre a fase atual e o futuro do míssil antinavio nacional*. 2022c. Disponível em: <https://www.naval.com.br/blog/2022/07/11/mansup-saiba-mais-sobre-a-fase-atual-e-o-futuro-do-missil-antinavio-nacional/>. Acesso em: 09 maio 2023.

SADIQ, Maher A. R, Al-BAGDADI. Green hydrogen and the beginning of a new era. *International Journal of Energy and Environment*, v. 12, n. 1, 2021, p. 1-18.

SAINI, Angela. *Geek Nation: how Indian science is taking over the world*. London: Hodder & Stoughton, 2011.

SCHILLING, Melissa A. *Strategic management of technological innovation*. 6. ed. New York: McGraw-Hill Education, 2020.

Recebido em: fev. 2024.

Aceito em: out. 2024.