

# Gestão de sistemas de material de emprego militar: o papel dos níveis de prontidão tecnológica

*Management of military systems: the role of technology readiness levels*

**Resumo:** A gestão de Sistemas de Material de Emprego Militar (SMEM) normalmente envolve uma rede complexa composta por atores com formações e experiências bastante diversificadas. Nesse contexto, torna-se desafiador promover a comunicação do conhecimento, integrar conhecimentos tácitos e entender as perspectivas dos stakeholders para incorporá-las nas estratégias de gestão tecnológica. Este artigo visa investigar a gestão de SMEM sob a ótica de níveis de prontidão tecnológica, que normatiza o entendimento comum e identifica marcos da maturação de tecnologias críticas. Baseado em revisão da literatura e tendo como referência o Sistema de Ciência, Tecnologia e Inovação do Exército Brasileiro, este artigo mostra que a escala de níveis de maturidade tecnológica, originalmente criada para tecnologias e sistemas espaciais altamente complexos, não atende as necessidades de redes de SMEM. Em razão disso, são apresentadas questões em aberto, suscitando temas de pesquisas que podem contribuir com a gestão de SMEM.

**Palavras-chave:** Sistemas de Materiais de Emprego Militar. Integração do Conhecimento. Níveis de Prontidão Tecnológica. Sistemas de Produtos Complexos. Ciclo de Vida do Produto.

**Abstract:** The management of Military Systems usually involves a complex network formed by distinct actors with diverse backgrounds and cultures. In this context, to enable knowledge communication, integrate tacit knowledge and understand the perspectives of the stakeholders to incorporate in their technology management strategy is a challenge. The objective of this study is to investigate the management of SMEM utilizing the lens of technology readiness levels (TRL), that normalize common understanding and identify milestones of maturation for critical technologies. Based on a literature review and using as a reference the Science and Technology Innovation System of the Brazilian Army, we found that the TRL scale, originally created for high complex space technologies and systems, does not meet completely the particularities of Military Systems networks. Therefore, this article presents research questions raising important themes that, if explored, can contribute with the management of Military Systems.

**Keywords:** Military System. Knowledge Integration. Technology Readiness Levels. Complex Product and Systems. Product Life Cycle.

**José Adalberto França Junior**

Agência de Gestão e Inovação Tecnológica  
(AGITEC)  
Rio de Janeiro – RJ - Brasil

**Juraci Ferreira Galdino**

Agência de Gestão e Inovação Tecnológica  
(AGITEC)  
Rio de Janeiro – RJ – Brasil

**Recebido em: 02 jan. 2019**

**Aprovado em: 18 mar. 2019**

**COLEÇÃO MEIRA MATTOS**

**ISSN on-line 2316-4891 / ISSN print 2316-4833**

<http://ebrevistas.eb.mil.br/index.php/RMM/index>



Creative Commons  
Attribution Licence

## 1 Introdução

O Sistema de Ciência, Tecnologia e Inovação do Exército Brasileiro (SCTIEx), cujo órgão central é o Departamento de Ciência e Tecnologia (DCT), é responsável pelo Ensino de Engenharia, Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação no campo científico e tecnológico de interesse da Força Terrestre brasileira (BRASIL, 1994).

Os produtos, sistemas e suprimentos de interesse do Exército são bastante diversificados. Eles compreendem, por exemplo, ração alimentar, fardamento e coletes de proteção balística, que são produzidos em massa; rádios táticos, produzidos em centenas de unidades; sistemas radares, produzidos em dezenas de unidades; e sistemas missilísticos, geralmente produzidos em poucas unidades. Muitos deles resultam da integração de várias tecnologias críticas e de alta complexidade, possuem subsistemas customizados, são produzidos em baixa escala e destinados a mercados específicos (monopsônico). Por isso, as atividades de pesquisa e desenvolvimento (P&D) associadas requerem ferramentas de gestão sofisticadas.

Os *stakeholders* (partes interessadas) da rede formada pelo SCTIEx pertencem a várias organizações públicas e privadas, são oriundos de diversas áreas de atuação e possuem formações, origens e experiências profissionais díspares. Esse cenário é propício a desentendimentos sobre temas importantes que surgem ao longo de todo ciclo de vida do material, e não apenas na fase de sua P&D. Cabe destacar que muitos produtos e sistemas de interesse do SCTIEx possuem ciclos de vida longos (medidos em décadas) e os *stakeholders* de diversas organizações mudam no seu transcurso.

À guisa de exemplificação da riqueza do cenário em comento, traz-se a lume a elaboração de um planejamento para a obtenção de um produto via P&D, lançamento da inovação no mercado e sua utilização. Sabe-se que esse tipo de planejamento, geralmente, integra a perspectiva de pesquisadores, engenheiros, usuários e gestores de ciclo de vida. Embora possuam entendimentos diferentes da evolução do produto ao longo do ciclo de vida, esses atores contribuem com o estabelecimento de custos, metas, prazos e requisitos. Além disso, eles interagem mais intensamente em diferentes fases do ciclo de vida. Enquanto o pesquisador está mais envolvido na fase da exploração de tecnologias genéricas visando diversas aplicações, o engenheiro possui uma visão mais focada na integração de tecnologias e concepção do produto específico, ao passo que o empresário em sua comercialização. Ao mesmo tempo, o usuário se preocupa com o desempenho, confiabilidade, *upgrades* e correções de eventuais falhas durante a utilização do produto. Nesse diapasão, os gestores do ciclo de vida tentam otimizar recursos, sincronizando e alinhando os esforços despendidos nessas fases.

A literatura de Sistemas de Produtos Complexos (CoPS, do termo em inglês *Complex Products and Systems*) aborda a problemática da diversidade de conhecimentos que devem ser integrados e de atores que precisam ser envolvidos, reconhecendo a complexidade e as incertezas geradas no planejamento, coordenação e desenvolvimento desses produtos (DAVIES et al., 2011; HOBDAI, 1998). Nesse contexto, fica evidenciada a importância de se buscar o entendimento comum entre esses atores (GRANT, 1996b; SCHMICKL; KIESER, 2008) e estabelecer uma eficiente comunicação (AXELSON, 2008).

Mecanismos de interação pessoais, como *workshops* e reuniões, e mecanismos impessoais, como políticas, diretivas, normas ou regulamentos, são empregados na busca do entendimento comum (GRANT, 1996b). A escala de níveis de prontidão tecnológica (TRL, do termo em inglês *Tech-*

*nology Readiness Level*) (MANKINS, 2009) pode ser considerada como um mecanismo de interação impessoal, pois normatiza a comunicação entre atores diversos, estabelece uma linguagem comum, padroniza marcos críticos e mede o avanço da capacidade tecnológica ao longo do processo de inovação.

Estudos que exploram os mecanismos impessoais nas atividades de integração e comunicação do conhecimento, particularmente sobre a ferramenta TRL no contexto de CoPS, são escassos. Esses estudos tornam-se ainda mais raros quando o elemento focal da rede analisada é uma organização pública que atua como contratante, executora de P&D e usuária da inovação gerada na rede e que, por isso, precisa gerenciar todo o ciclo de vida do produto ou sistema. Portanto, visando preencher esta lacuna, este artigo busca investigar a gestão de SMEM sob a ótica dos níveis de prontidão tecnológica. Para isso, esta pesquisa, de caráter exploratório, investiga a literatura sobre a escala TRL e analisa o DCT sob a problemática da comunicação do conhecimento e no contexto de Sistemas de Produtos Complexos, tendo em vista que, geralmente, um SMEM é um exemplo de CoPS. Em seguida, propõe-se um novo campo de pesquisa que poderá contribuir com várias questões em aberto sobre gestão de SMEM e de CoPS.

A revisão bibliográfica evidencia a utilização da escala TRL em contextos diversos da proposta original, sendo empregada de forma muito mais abrangente na gestão de CoPS, como na elaboração e acompanhamento de planejamentos estratégicos. Adicionalmente, da análise de documentos de autodiagnósticos e de planos de gestão das organizações pertencentes ao DCT, pode-se inferir que a adoção de uma escala de avaliação de maturidade tecnológica poderia atender necessidades de gestão de CoPS do órgão em comento, contribuindo não só com a comunicação do conhecimento, mas também com o planejamento estratégico de P&D em níveis decisórios (UNITED STATES, 2009). Porém, verificou-se que a escala TRL original não é capaz de atender a tais necessidades, podendo apenas contribuir com a solução de problemas oriundos de contextos bem específicos. Dessa forma, devido à importância do tema para a enorme comunidade de atores que se envolvem no ciclo de vida de CoPS, este artigo apresenta temas em aberto, suscitando estudos futuros.

O artigo está assim organizado. A Seção 2 apresenta uma revisão bibliográfica sobre a integração do conhecimento e a busca do entendimento comum no contexto da gestão de CoPS. A Seção 3 é dedicada a uma revisão da literatura sobre o papel dos níveis de prontidão tecnológica na gestão de CoPS. Na Seção 4, apresenta-se a metodologia de pesquisa. O detalhamento e a importância do caso representativo são apresentados na Seção 5. Propostas de estudos futuros sobre gestão de CoPS baseados em prontidão tecnológica são discutidas na Seção 6. Por fim, são apresentadas as conclusões do artigo.

## **2 Alcançando o entendimento comum em redes de atores diversificados**

Problemas de comunicação do conhecimento tem sido amplamente abordados na literatura da teoria organizacional em diferentes contextos, focando, direta ou indiretamente, em mecanismos que contribuem para aumentar o entendimento comum. Com relação às atividades de P&D, o tema trata de causas e efeitos de uma comunicação ineficiente e seus impactos no entendimento comum entre decisores e especialistas (EPPLER, 2007). Segundo Russo e Schoemaker (1990), uma comunicação ineficiente contribui para que muitos gestores tomem decisões relevantes de forma inadequada. Rambow (2000) discute a “ilusão de terminologias” enfatizando

que especialistas normalmente superdimensionam a importância de termos técnicos e se frustram ao perceberem que leigos tem dificuldades no entendimento dessas terminologias e, por isso, não processam o conhecimento comunicado. Nesse diapasão, Cantoni e Piccini (2004) tratam do “projecionismo”, conceito no qual o especialista, ao apresentar seus resultados a decisores, não personaliza, equivocadamente, sua análise ao público-alvo.

O “entendimento comum” é essencial na execução de projetos de P&D de CoPS, especialmente naqueles que lidam com diferentes culturas organizacionais e domínios do conhecimento (DAVIES et al., 2011; FRANÇA JUNIOR, 2018). CoPS são definidos como bens de capital, sistemas, redes, unidades de controle, pacotes de *software*, construções e serviços específicos, de alto custo e sofisticada tecnologia (HOBDAÏ, 2000). Eles se distinguem por serem integrados por componentes e subsistemas customizados; fabricados em unidades ou pequenos lotes; projetados para mercados de clientes específicos com requisitos previamente definidos; e, eventualmente, regidos por decisões políticas e estratégicas em vez de técnicas (HOBDAÏ, 1998). Essas características geram muitas incertezas nos empreendimentos de P&D, especialmente nos estágios iniciais, particularmente quando há um nível reduzido de conhecimento comum (GRANT, 1996a; SCHMICKL; KIESER, 2008) e de entendimento comum entre os atores (AXELSON, 2008; OKHUYSEN; BECHKY, 2009) nos programas ou projetos desenvolvidos em colaboração.

Axelson (2008, 2008, p. 11, tradução nossa) aborda a problemática do entendimento comum em gestão de P&D da seguinte forma:

[...] o entendimento mútuo sobre as tecnologias desenvolvidas pelo outro, é um dos maiores desafios que empresas enfrentam ao entrar em um desenvolvimento de produto em colaboração. Por exemplo, vários gerentes que eu conheci, expressaram frustrações por não serem capazes de fazer o outro entender seus pontos de vista sobre como conduzir testes, avaliar a qualidade do produto e organizar relatórios e documentos. Quase sempre houve dificuldades no entendimento das ideias iniciais de um projeto, especificações de interface, e preferências por certos materiais [...]. Consequentemente, é um grande desafio para gestores de empresas aprenderem a comunicar o conhecimento [...].

Para que o entendimento comum seja alcançado, estudos sobre teoria organizacional sugerem que empresas realoquem pessoas; formem grupos de coordenação; criem funções específicas; e estabeleçam interfaces organizacionais ou mecanismos de integração (GALBRAITH, 1973; GUPTA; GOVINDARAJAN, 2000; INKPEN, 1996; MAIDIQUE; HAYES, 1984).

Em particular, mecanismos de integração propiciam condições para uma coordenação eficiente e para que pessoas provenientes de diferentes organizações interajam e otimizem a comunicação do conhecimento (SICOTTE; LANGLEY, 2000; SINGH, 2008; TUSHMAN; KATZ, 1980). Eles são geralmente enquadrados em dois grupos distintos: mecanismos pessoais e impessoais (GRANT, 1996b). Mecanismos pessoais são aqueles que exigem intensa comunicação e interação entre as partes, como visitas às organizações parceiras, reuniões periódicas, intercâmbio de empregados, rotatividade entre setores etc. Por outro lado, os mecanismos impessoais são representados por normas, regras e rotinas.

A comunicação do conhecimento, portanto, se refere aos mecanismos de integração que organizações utilizam para compartilhar, transferir e integrar conhecimentos (AXELSON, 2008). A literatura aqui abordada defende que mecanismos de integração criam condições para que a comunicação do conhecimento seja facilitada nas interações entre organizações distintas. No entanto, pouca atenção tem sido dedicada à problemática da comunicação do conhecimento em redes de atores bastante diversificados, como as que desenvolvem CoPS. Além disso, ela discute o assunto destacando principalmente o papel de mecanismos pessoais, por serem tidos como os principais mecanismos de integração de conhecimentos tácitos (SRIKANTH; PURANAM, 2011). Mecanismos impessoais têm sido pouco explorados na literatura, provavelmente por sua suposta ineficácia em integrar conhecimentos tácitos (GRANT, 1996b), e não fornecerem a flexibilidade necessária para que organizações, submetidas a ambientes em constante modificação, se reinventem e inovem.

### 3 A maturação tecnológica por meio de níveis de prontidão

Métodos, ferramentas e técnicas simples e tradicionais de gestão de projetos são inadequados e ineficientes para lidar com CoPS (DAVIES et al., 2011). Os altos riscos, imprevisibilidades, incertezas e problemas de comunicação dos projetos de sistemas complexos requerem abordagens mais sofisticadas, planejamento de longo prazo, porém com metas e pontos de controle intermediários, e mecanismos de integração. Nesse contexto, convém empregar mecanismos de comunicação pessoal e impessoal (GRANT, 1996b), fasear o projeto (DAVIES; BRADY, 2016) e utilizar o conceito de prototipagem, muito empregado no meio empresarial, para reduzir os riscos de desenvolvimento (SCHMICKL; KIESER, 2008; STEEN; BUIJS; WILLIAMS, 2014).

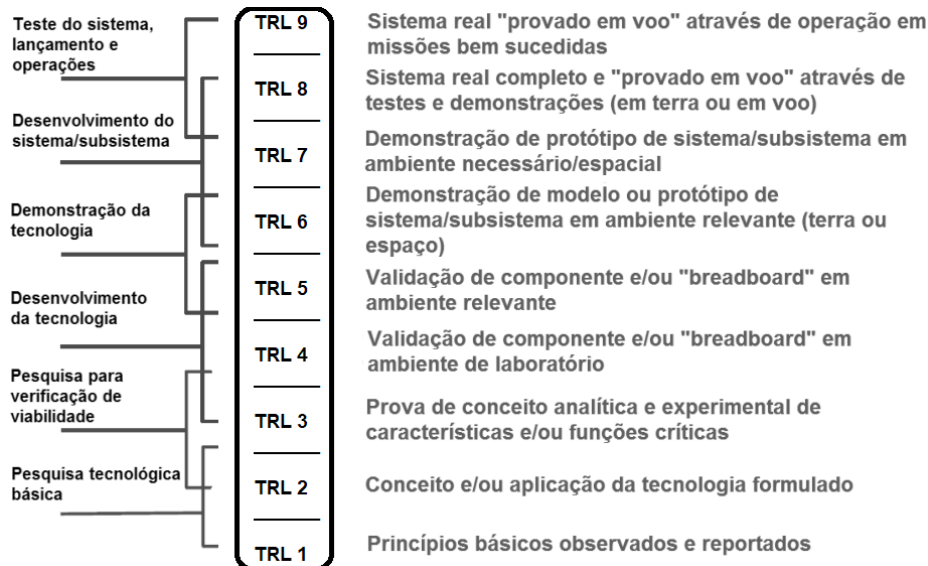
A prototipagem favorece o desenvolvimento rápido de componentes, subsistemas ou sistemas, visando antecipar ou prever problemas de projeto e conseguir resolvê-los em fases intermediárias de desenvolvimento. É, portanto, um processo que permite interações entre especialistas, com o foco voltado para interfaces de componentes (SCHMICKL; KIESER, 2008; STEEN; BUIJS; WILLIAMS, 2014). Essas versões intermediárias de um sistema aceleram o desenvolvimento, diminuem as incertezas, e reduzem a curva de aprendizagem (ELVERUM; WELO, 2015). Segundo estes autores, protótipos são essenciais para que as equipes do projeto absorvam o conhecimento tácito de seus parceiros, entendam melhor o problema e se comuniquem, não só entre si, mas também entre importantes *stakeholders*.

A fim de padronizar o longo processo de prototipagem adotado no desenvolvimento de sistemas espaciais, foi criada a ferramenta TRL. Desenvolvida em meados de 1970 pela NASA, a escala fornece uma medida relativa ao estado de uma nova tecnologia em relação ao seu uso para futuros sistemas espaciais. Essa escala é organizada em 9 níveis de prontidão, como mostrado na Figura 1.

Em sistemas nacionais de inovação (LUNDVALL, 2007), como o do suco, a escala TRL tem servido como estrutura comum de avaliação de prontidão tecnológica visando a implementação de mecanismos de inovação (FRANÇA JUNIOR; LAKEMON; HOLMBERG, 2017). Em um estudo sobre o sistema aeroespacial suco, França Junior, Lakemond e Holmberg (2017) observaram que empresas, universidades, institutos de pesquisa e outras organizações utilizam a escala TRL para traçar estratégias de desenvolvimento de tecnologias aeroespaciais, como a criação

de uma agenda nacional de inovação (INNOVAIR, 2016). Neste contexto, *stakeholders* elaboram, conjuntamente, agendas de pesquisa para definirem *roadmaps* e priorizarem tecnologias a serem desenvolvidas em colaboração e de acordo com os diferentes níveis TRL.

**Figura 1 - Escala de prontidão tecnológica**



Fonte: Mankins (2009).

Outras organizações adotam versões adaptadas ou modificadas da escala TRL em seus processos organizacionais a fim de atender suas necessidades específicas (JEAN; LE MASSON; WEIL, 2015). Por exemplo, o Departamento de Defesa Norte Americano (DoD, do termo em inglês *Department of Defense*) utiliza uma escala de nove níveis específica para o desenvolvimento de *hardware*, outra para *software* e uma terceira para tecnologias biomédicas (UNITED STATES, 2009). O Departamento de Energia Norte Americano (DoE, do termo em inglês *Department of Energy*) utiliza uma escala ligeiramente diferente da original (UNITED STATES, 2008), particularmente no nível 9. Enquanto a NASA requer para o TRL 9 um "sistema real aprovado em voo", critério que pode ser atendido com apenas uma missão, o DoE especifica para este nível um "sistema real operado sob todas as gamas de condições esperadas", cuja avaliação requer, normalmente, mais de uma missão. Essa necessidade de adaptação da escala TRL original é explorada por Straub (2015), que sugere a inclusão do décimo nível na escala (TRL 10), para o contexto de desenvolvimento de sistemas espaciais. Nesse nível, investimentos são realizados para a correção de falhas e *bugs* identificados durante o uso continuado, e não apenas após um único uso previsto em TRL 9.

No Brasil, importantes órgãos governamentais também utilizam a escala TRL original para a redução de riscos e incertezas de projetos de P&D, porém particularizando a forma de avaliação dos níveis, como a AEB (Agência Espacial Brasileira) (AGÊNCIA ESPACIAL BRASILEIRA, 2018) e o DCTA (Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial). Neste último caso, foi inclusive desenvolvida uma calculadora de níveis TRL baseada em Nolte, Kennedy e Dziegiel (2003) para atender especificidades da Força Aérea Brasileira (ROCHA; MELO; RIBEIRO, 2017).

Além disso, vale mencionar outras escalas de prontidão tecnológica que foram derivadas ou inspiradas na TRL. Importantes escalas nesse contexto são a escala de níveis de prontidão de manufatura (MRL, do termo em inglês *Manufacturing Readiness Level*), a escala de níveis de prontidão de integração (IRL, do termo em inglês *Integration Readiness Level*) e a escala de níveis de prontidão de sistemas (SRL, do termo em inglês *System Readiness Level*).

A escala MRL foi desenvolvida pelo DoD para medir a maturidade da manufatura de sistemas. Em que pese também avaliar aspectos relacionados com a P&D UNITED STATES, 2016), a escala tem como objetivo precípua inferir sobre a qualidade da reprodutibilidade de produtos produzidos em massa.

Preocupado com a inserção de novas tecnologias em produtos já existentes, o Ministério da Defesa do Reino Unido desenvolveu, com base na TRL, a escala IRL (SAUSER et al., 2010). Esta escala, também graduada em nove níveis, propõe-se a medir o risco de integração de uma tecnologia, analisando as características de suas interfaces.

No entanto, verificou-se que essas escalas não cumpriam plenamente o objetivo de avaliar a prontidão tecnológica de sistemas completos, compostos de diversas tecnologias. Para preencher tal lacuna foi criada então a escala SRL (SAUSER et al., 2008).

Em síntese, diferentes organizações vem utilizando o conceito de níveis de prontidão tecnológica e adaptando-os de acordo com suas necessidades específicas, sugerindo que a escala TRL original não atende completamente às necessidades de desenvolvimento de CoPS. Além disso, pode-se considerar que a ferramenta TRL e suas variações se comportam como um mecanismo de interação impessoal, na medida em que normatizam uma estrutura de linguagem padronizada identificando marcos críticos do processo de maturação tecnológica (SAUSER et al., 2010). Desta forma, o uso destas ferramentas melhoram a comunicação do conhecimento em uma rede complexa estabelecida para desenvolver projetos de P&D em colaboração (SAUSER et al., 2010).

## 4 Metodologia

A partir de uma abordagem exploratória, investiga-se o papel da escala TRL na busca do entendimento comum entre atores diversificados e na gestão de Sistemas de Material de Emprego Militar. Estudos exploratórios são adequados quando se conhece muito pouco da realidade em questão e se pretende abrir um caminho para novas pesquisas (YIN, 1994).

### 4.1 A Pesquisa

A fim de atingir o objetivo proposto, analisa-se o Sistema de Ciência, Tecnologia e Inovação do Exército Brasileiro (SCTIEx) sob a perspectiva do seu órgão central, o DCT, utilizando-se de pesquisas documentais sobre seus processos de gestão estratégica.

### 4.2 Coleta dos Dados

Dados bibliográficos e empíricos são considerados neste trabalho. Os primeiros advêm de uma revisão da literatura sobre os mecanismos de integração pessoais e impessoais que colaboram

com a comunicação do conhecimento na P&D de CoPS, particularmente no uso da ferramenta TRL nesse contexto. Essa revisão abrange artigos científicos, teses, dissertações e modelos de planejamento estratégicos de outros órgãos internacionais similares ao SCTIEx, como o DoD. Os dados empíricos se referem ao SCTIEx e foram obtidos a partir de pesquisas documentais em relatórios governamentais, portarias ministeriais, instruções regulatórias, planos de gestão e agendas estratégicas. Dentre esses documentos, destacam-se o Plano Estratégico do Exército 2016-2019; a Diretriz para Reestruturação da Chefia do DCT 2015; a Diretriz de Transição para a Reestruturação do DCT 2015; o Plano Estratégico de CT&I 2016-2019; e o Diagnóstico e Planejamento Estratégico do SCTEx 2010.

Os dados empíricos contém informações sobre as estratégias de curto, médio e longo prazos de organizações militares diretamente subordinadas (OMDS) ao DCT, como o Instituto Militar de Engenharia (IME), o Centro Tecnológico do Exército (CTEx) e o Centro de Avaliações do Exército (CAEx), bem como autodiagnósticos abordando os ambientes interno (pontos fortes e fracos) e externo (ameaças e oportunidades) de cada uma dessas OMDS. Para a execução desses trabalhos, foram ouvidos todos os Comandantes, Chefes e Diretores das OMDS, o Gerente Executivo do Programa Polo de Ciência e Tecnologia do Exército em Guaratiba (PCTEG) e, como convidados, os presidentes da Fundação de Apoio a Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação – Exército Brasileiro (FAPEB) e da Fundação Ricardo Franco (FRF) e o Supervisor da Fábrica de Material de Comunicações e Eletrônica (FMCE) da Indústria de Material Bélico (IMBEL).

#### 4.3 Análise dos Dados

A análise dos dados foi realizada seguindo uma abordagem abdução utilizando-se o processo de correspondência sugerido por Dubois e Gadde (2002), consistindo de comparações sistemáticas entre observações empíricas e o referencial teórico. Dessa forma, buscou-se correlacionar problemas identificados nos diagnósticos com questões teóricas relacionadas à comunicação do conhecimento em P&D de CoPS e o uso da ferramenta TRL. Após um processo contínuo e iterativo de revisão bibliográfica e análise dos dados, focou-se na ferramenta TRL como mecanismo de integração impessoal, em razão de suas possibilidades de aplicação se alinharem às necessidades de oportunidades de melhoria dos processos de gestão do SCTIEx.

Além disso, os autores participaram de alguns importantes projetos de P&D do DCT que se encontravam em diversos estágios da curva de aprendizagem. Portanto, a vivência dos autores e o processo iterativo entre pesquisa bibliográfica e a análise dos dados, aumentam a validade interna e a confiabilidade da pesquisa exploratória (RIEGE, 2003). Adicionalmente, a fim de verificar a validade externa do estudo (RIEGE, 2003), buscou-se capturar a perspectiva de três integrantes-chave do DCT, através de entrevistas informais e revisão da pesquisa.

Com isso, tem-se um panorama das características da ferramenta de avaliação tecnológica TRL, um mecanismo de integração que habilita a comunicação do conhecimento e as aspirações estratégicas do SCTIEx, órgão que passa por um processo de transformação para se adequar a era do conhecimento e impulsionar a inovação tecnológica. A partir da análise desses dados, avaliou-se as possibilidades de aproveitamento da ferramenta TRL no SCTIEx.



## 5 O Sistema de Ciência Tecnologia e Inovação do Exército (SCTIEx)

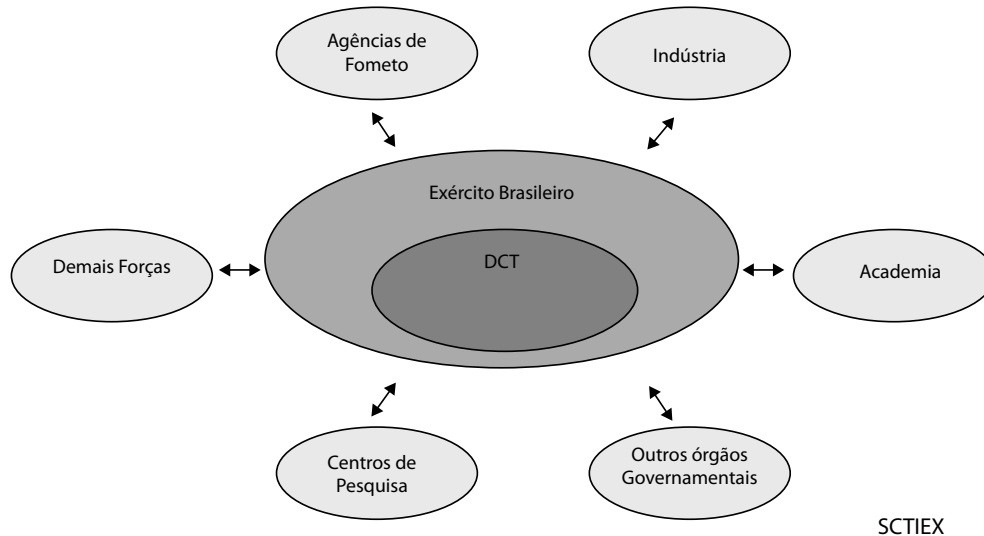
O setor de defesa brasileiro é fragmentado, desarticulado e possui baixa interação entre seus atores (CUNHA; AMARANTE, 2011). Além disso, esse setor interage, depende e está condicionado ao Sistema Nacional de Inovação do Brasil, que por sua vez tem se mostrado bastante ineficiente em converter investimentos de inovação em resultados concretos (GALDINO, 2018). No intuito de modificar esta situação, esse setor vem passando por uma profunda transformação, a fim de se criar uma cultura organizacional que promova um ambiente adequado à inovação (FRANCO AZEVEDO, 2018). Nesse mister, o SCTIEx, componente fundamental do setor de defesa, participa ativamente desse processo de mudança.

### 5.1 O processo de transformação

O Sistema de Ciência e Tecnologia do Exército (SCTIEx) “destina-se a planejar, orientar, coordenar, controlar e executar as atividades científicas e tecnológicas, relacionadas com os Sistemas de Material de Emprego Militar (SMEM) e suas influências nas áreas da Doutrina Militar Terrestre, da Logística e do Pessoal” (BRASIL, 1994). Ao longo do tempo, esse sistema passou por transformações, visando adequá-lo às mudanças ocorridas nos cenários nacional e internacional (PRADO FILHO, 2014).

A Figura 2 ilustra a estrutura atual do SCTIEx, composta por organizações militares e civis, públicas e privadas que interagem no sentido de promover a Ciência, Tecnologia e Inovação de interesse do Exército e do País.

Figura 2 - Sistema de Ciência, Tecnologia e Inovação do Exército



Fonte: Adaptado de Brasil (2012).

A relevância do SCTIEx em relação à comunicação do conhecimento advém das seguintes razões. Primeiro, a maioria das pesquisas sobre este assunto considera empresas como elemento focal e o principal meio de coordenação da rede. Assim, a escolha de um órgão governamental

com papel semelhante de coordenar e direcionar o desenvolvimento tecnológico pode trazer conhecimentos adicionais à literatura, tendo em vista a proeminência do Estado em assumir riscos na maturação de tecnologias de ponta em estágios iniciais da inovação. Esses riscos dificilmente são assumidos por empresas, que aproveitam os transbordamentos dessas tecnologias, fomentadas pelo Estado, para desenvolverem seus produtos (MAZZUCATO, 2014).

Segundo, o DCT é o elemento central de um sistema que empreende vários projetos estratégicos, movimenta centenas de milhões de reais, emprega milhares de pessoas e cria parcerias com pequenas, médias e grandes empresas dos mais diversificados ramos de atuação, e com universidades, institutos de pesquisa e órgãos de fomento. O SCTIEx mantém uma estreita relação com a Ciência, Tecnologia e Inovação nacional e é importante ator do setor de Defesa responsável por potenciais transbordamentos para outras áreas tecnológicas (LESKE, 2013).

Terceiro, o SCTIEx forma uma enorme e complexa rede de atores diversificados cujos projetos de P&D são de elevado custo, longo prazo e possuem altos graus de incerteza e riscos tecnológicos. Essas características são típicas dos projetos de Sistemas de Produtos Complexos (HOBDA, 1998) que precisam integrar uma grande variedade de conhecimentos que dificilmente estão disponíveis em uma única organização. Portanto, a natureza complexa da rede do SCTIEx realça a centralidade da busca pelo entendimento comum.

Para subsidiar o processo de transformação do SCTIEx que se encontra em andamento, o DCT realizou diagnósticos em suas organizações ligadas às áreas de ensino, pesquisa, desenvolvimento e inovação, como o IME, o CTEEx, e o CAEx, abrangendo as principais oportunidades de melhoria e estratégias traçadas que estão relacionadas com a interação dessas organizações com o ambiente externo e que, portanto, indicam a necessidade de desenvolvimento e adoção de mecanismos de integração.

O IME é a Organização Militar responsável pela formação do engenheiro militar e pelo ensino de engenharia (graduação e pós-graduação) e realização de pesquisa básica e aplicada, particularmente, aos projetos do SCTIEx. Do diagnóstico elaborado pelo IME, verificou-se que há pouca integração com o CTEEx e com a indústria. Em decorrência disso, segundo a Diretriz EB80-D-07.006 (Implantação do Projeto do Novo Instituto Militar de Engenharia), o IME precisa reestruturar a pós-graduação a fim de que seus pesquisadores se engajem cada vez mais em projetos de P&D, impulsionando a capacidade de inovação do sistema. Além disso, foi identificada a necessidade de ações institucionais para promover maior integração com empresas e outras organizações, utilizando-se um modelo de gestão que crie uma visão que direcione o esforço de mudança, comunique a visão, e atraia colaboradores alinhados com esta visão.

O CTEEx realiza pesquisa científica aplicada, desenvolvimento experimental, assessoramento científico-tecnológico e aplicação do conhecimento visando à obtenção de SMEM de interesse do Exército. Tal obtenção pode ser realizada com apoio de empresas, mediante a celebração de contratos; com a comunidade científica; ou em parceria com empresas, ICT e universidades. O CTEEx participa de importantes projetos do Exército, dentre eles: Míssil Tático de Cruzeiro AV-TM 300; Monóculo OLHAR VDN; Morteiro Leve Antecarga 60 mm; Míssil Superfície-Superfície 1.2 AC (MSS 1.2 AC); Radar SABER M200; Radar SABER M60; Rádio Definido por Software (RDS); Reparo de Metralhadora Automatizado X (REMAX); Simulador de Helicópteros Esquilo e Fennec (SHEFE); Viatura Leve de Emprego Geral Aerotransportável (VLEGA GAÚCHO).

Do diagnóstico realizado pelo CTEEx, verificou-se: pouca integração com universidades e outros centros de pesquisa; poucas empresas nacionais capacitadas e interessadas em desenvolver

SMEM; insuficiência conjuntural de oferta de recursos financeiros por órgãos de fomento; distribuição heterogênea e desigual de recursos financeiros; dispersão dos esforços das partes envolvidas para alcançar os objetivos; ausência de ferramentas, sistemas e práticas formais que contribuam nos processos de tomada de decisão; baixo padrão de formalização da análise de risco; baixa maturidade na gestão de processos e projetos; e precários indicadores de desempenho.

Em decorrência do supracitado, o CTEx definiu que precisa aumentar a integração com a comunidade científica (IME incluso) e com empresas; dominar tecnologias críticas que assegurem vantagens estratégicas e operacionais ao EB; aperfeiçoar a gestão de projetos de P&D; e estruturar a gestão da informação e do conhecimento com uma infraestrutura de Tecnologia de Informação compatível.

A missão precípua do CAEx é realizar avaliação de protótipos e de lotes pilotos de SMEM, de produtos oriundos da Base Industrial de Defesa (BID) nacional, ou importados pelo EB, e de Produtos Controlados pelo Exército (PCE), bem como desenvolver pesquisas em metrologia. Em seu diagnóstico estratégico, apontou-se a ausência de normas documentadas e disseminadas dos processos de avaliação de SMEM e identificou-se, como oportunidade, a possibilidade de fomentar a indústria de produtos de defesa por intermédio de colaborações técnicas, aproveitando o êxito do processo de avaliação de PCE e do bom relacionamento com as empresas.

Considerando as informações supracitadas, o DCT elaborou o autodiagnóstico do Departamento resultando em várias iniciativas estratégicas que em essência evidenciavam a necessidade de se desenvolverem metodologias, ferramentas e procedimentos para:

- Mensurar a inovação;
- Desenvolver *roadmaps* tecnológicos;
- Apoiar o planejamento estratégico de P&D das OMDs; e
- Facilitar a integração de *stakeholders* do SCTIEx em um modelo de Hélice Tríplice.

## 5.2 As especificidades do SCTIEx

A operacionalização das iniciativas supracitadas exige estudos profundos e modelos de gestão sofisticados que precisam ser propostos, testados e validados. Esses estudos e modelos devem levar em conta os atributos elencados que particularizam o SCTIEx e redes similares, bem como podem aproveitar o conhecimento disponível na literatura especializada. Dos atributos que particularizam o SCTIEx, dois merecem destaque.

Primeiro, a escala TRL abrange apenas parte do ciclo de vida dos sistemas complexos (SAUSER et al., 2008). Ao analisar o ciclo de vida dos materiais de emprego militar do Exército, Lima (2007) aponta a existência de seis fases conforme o Quadro 1.

**Quadro 1 - Ciclo de Vida dos Materiais do Exército Brasileiro**

| 1ª Fase   | 2ª Fase                    | 3ª Fase                          | 4ª Fase               | 5ª Fase    | 6ª Fase   |
|---|----------------------------|----------------------------------|-----------------------|------------|-----------|
| Levantamento das Necessidades e Formulação Conceitual | Planejamento e Programação | Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) | Produção ou Aquisição | Utilização | Alienação |

Fonte: Lima (2007).

Na 1ª fase são identificadas as necessidades, definidas as estratégias e prioridades, e elaborados os requisitos operacionais e técnicos. Na 2ª fase, a alta administração do Exército decide se o material deverá ser adquirido no mercado (nacional ou internacional) ou desenvolvido pelo SCTIEx por meio de P&D. Uma vez decidido, ocorre a inclusão de um projeto de aquisição ou desenvolvimento no planejamento da Força Terrestre. Na 3ª fase, caso a decisão de obtenção envolva P&D, ocorrerão as seguintes subfases: P&D do sistema e geração do protótipo; avaliação do protótipo; produção de um lote piloto; e avaliação do lote piloto. Na 4ª Fase ocorre a aquisição do produto, o seu recebimento, estocagem e distribuição. Na 5ª fase dar-se-á a utilização e a detecção de deficiências, falhas e oportunidades de melhorias, gerando a possibilidade de inovações incrementais, bem como a coleta de dados que subsidiarão a P&D de novas gerações dos produtos, com possibilidade de inovações mais impactantes. Com o passar do tempo, as informações coletadas poderão apoiar decisões de modernização, aperfeiçoamento ou alienação. Na 6ª e última fase, ocorre a desativação e retirada do material do inventário, seu recolhimento e alienação.

Dessas seis fases, observa-se que uma eventual utilização da escala TRL original abrangeria somente uma parte da terceira fase, ou seja, a fase de P&D. No entanto, as outras fases do ciclo de vida são igualmente importantes. Por exemplo, para muitos materiais, o custo de utilização (5ª Fase) gira em torno de 70% do custo total do ciclo de vida, enquanto o custo de desenvolvimento gira em torno de 20% (SAÚDE, 2010) como indicado no Quadro 2.

**Quadro 2 - Distribuição percentual dos custos do ciclo de vida de alguns equipamentos**

| Sistema          | Custos de P&D | Custos de Aquisição | Custos de Operação e Manutenção |
|------------------|---------------|---------------------|---------------------------------|
| Aviões           | 20%           | 18%                 | 62%                             |
| Navios de Guerra | 2%            | 23%                 | 75%                             |
| Mísseis          | 52%           | 30%                 | 18%                             |

Fonte: Paulo (2006).

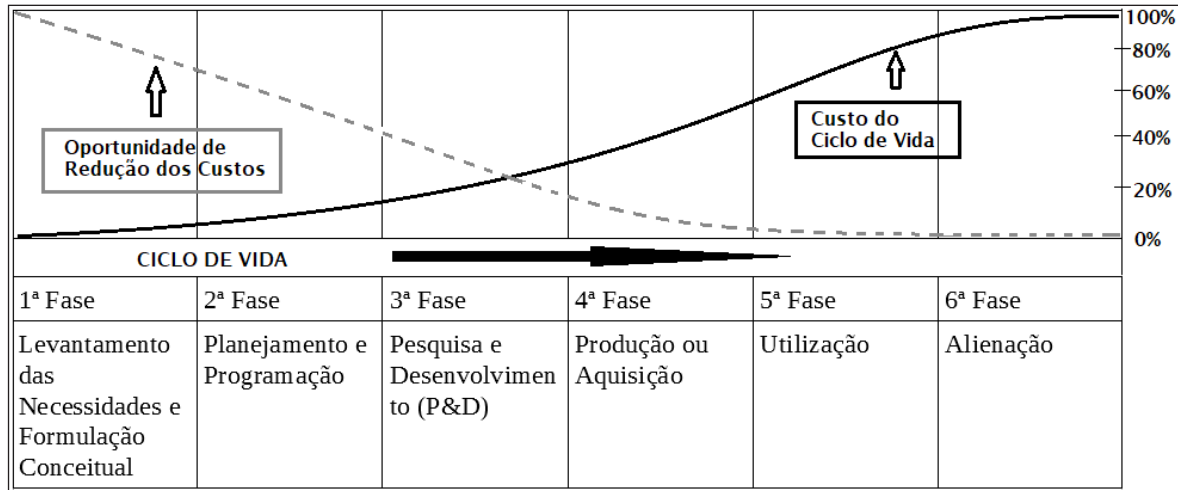
Além disso, como discutido por Barringer e Weber (1996), nas duas primeiras fases ocorrem as maiores oportunidades de redução de custos (Figura 3), evidenciando-se a importância de uma eficiente gestão dessas fases do ciclo de vida.

As limitações da escala TRL foram apontadas na Seção 3. Várias organizações utilizam diferentes escalas de prontidão baseadas na TRL para atender suas necessidades, como as escalas MRL, SRL e IRL e até a escala TRL modificada com níveis adicionais. Apesar dessas variações aumentarem a abrangência do conceito da prontidão tecnológica, ainda há lacunas importantes com relação a seu uso em redes complexas como a formada pelo SCTIEx.

Por exemplo, a escala original não leva em conta a produção e avaliação do lote piloto da 3ª Fase. Malgrado a escala MRL envolver essas atividades, ela não considera as particularidades da Base Industrial de Defesa (BID) brasileira, por não avaliar os riscos e óbices enfrentados pela dependência de componentes importados, irregularidades de fluxo de recursos financeiros para a realização de P&D em andamento e a inconstância das compras governamentais. Tais aspectos

impactam negativamente nas capacidades de maturidade de atividades de P&D e de fabricação de SMEM. Outra importante fase não abrangida pelos níveis de prontidão tecnológica é a 6ª. Muito embora Straub (2015) proponha a inclusão do nível 10 na escala TRL para tratar da utilização do produto pelo usuário, ainda há muitas questões a serem esclarecidas com relação as necessidades de modernização, aperfeiçoamento, descarte ou até mesmo a reengenharia, neste caso, retornando as tecnologias que integram o produto a níveis iniciais de uma escala TRL.

**Figura 3 - Evolução dos custos de acordo com o Ciclo de Vida dos Materiais**



Fonte: Adaptado de Barringer e Weber (1996).

Além disso, os produtos de interesse do EB possuem enorme variedade em termos de complexidade. O EB gerencia o ciclo de vida de produtos complexos como mísseis, carros de combate e radares, bem como de produtos produzidos em massa, como fardamento, fuzis de assalto e coletes balísticos. Entre esses extremos, há produtos que compartilham características dessas duas classes de produtos, como VANT de longo alcance, que possuem alto custo e são destinados para mercados de clientes específicos, mas que também podem ser produzidos em massa e integrados em grande parte por componentes de prateleira (HAMBLING, 2015). Essa variedade de sistemas e de produtos é abordada na literatura de CoPS em termos de graus de complexidade (HOBDA, 1998).

Portanto, a escala TRL, originalmente criada para tecnologias e sistemas espaciais altamente complexos, não atende as necessidades de redes como o SCTIEx, por não se flexibilizar para produtos e sistemas menos complexos e que não precisam galgar todos os níveis da escala; nem abranger todas as fases do ciclo de vida de SMEM que precisam ser gerenciadas pelo SCTIEx.

## 6 Proposta para estudos futuros: gestão de sistemas complexos baseado em prontidão tecnológica

A seguir são apresentadas propostas de estudos com o fito de preencher as lacunas identificadas na seção anterior.

## 6.1 Escala de prontidão tecnológica customizada para redes complexas

Em que pese os benefícios advindos da adoção de uma escala de prontidão em redes complexas similares ao SCTIEx, as especificidades desse tipo de rede não podem ser atendidas por escalas disponíveis na literatura, requerendo customizações. Cabe destacar que essas customizações devem considerar como premissas a aderência com a escala TRL tradicional, para facilitar a comunicação do conhecimento com entidades exógenas à rede, inclusive de outros países. Além disso, é necessário a elaboração de uma proposta de escala de prontidão tecnológica que abranja as principais fases do ciclo de vida dos produtos complexos (Figura 3), e que considere as diferenças dos graus de complexidade dos produtos de interesse do EB. Nesse mister, há a necessidade de responder as seguintes questões:

1. Quais fases do ciclo de vida uma escala customizada deve abranger? E com quantos e quais níveis de prontidão?
2. Como enquadrar/auditar a maturidade de um produto ou sistema em um determinado nível?
3. Como a importância da adoção da escala na gestão do ciclo de vida do material é influenciada pela complexidade do produto ou sistema?

## 6.2 Planejamento estratégico de P&D baseado em prontidão tecnológica

Como geralmente os recursos financeiros são limitados, órgãos focais de uma rede complexa não tem condições de participar efetivamente de todos os empreendimentos de interesse. Dessa forma, nas fases iniciais do ciclo de vida (Fases 1 e 2), para que se priorize áreas tecnológicas críticas e se decida sobre a forma e intensidade adequada de envolvimento em um empreendimento, é importante adotar modelos de gestão estratégica que otimize o emprego de recursos humanos e financeiros. Para isso, gestores precisam de informações fidedignas sobre os níveis de prontidão de universidades, empresas, centros de pesquisa nas áreas e tecnologias críticas.

Uma análise baseada em níveis de prontidão tecnológica pode revelar alguns cenários com diferentes implicações quanto à alocação de recursos humanos e financeiros, envolvimento de *stakeholders*, formação de pessoal, estabelecimento de prazos, desenvolvimento de tecnologias duais e objetivos a serem alcançados. Por exemplo, uma área tecnológica de interesse da Força e com uma capacidade de P&D nacional situada dos níveis 3 a 5 da escala TRL, indica um potencial de desenvolvimento de tecnologias genéricas capaz de atender mais de uma aplicação. Com o uso de *roadmaps* tecnológicos, pode-se elaborar uma agenda comum de P&D entre os atores da Hélice Tríplice (INNOVAIR, 2016) visando a prototipagem e o avanço da maturidade das tecnologias críticas. Portanto, descortinam-se as seguintes questões de pesquisa:

1. Como definir a criticidade de tecnologias em um contexto nacional?
2. Como mapear organizações nacionais e internacionais fornecedoras de tecnologias críticas de acordo com o nível de prontidão tecnológica?
3. Como uma escala de prontidão tecnológica pode auxiliar na elaboração de *roadmaps* tecnológicos e agendas comuns de P&D entre atores de uma rede complexa?
4. Como incluir o conceito de prontidão tecnológica na metodologia de gestão do ciclo de vida?

### 6.3 Análise de viabilidade técnica e riscos de P&D baseado em prontidão tecnológica

Para o DoD, uma Tecnologia Crítica pode ser definida como pertencente a um sistema de produto complexo, sendo essencial para atender aos requisitos técnicos e operacionais estabelecidos (dentro de custos e prazos aceitáveis) cujo uso ou aplicação é novo ou apresenta elevado risco tecnológico durante seu desenvolvimento (UNITED STATES, 2015). Ao se tentar realizar o desenvolvimento de um produto cujas tecnologias críticas possuem TRL baixo, assume-se um grande risco de que óbices e desafios de P&D sejam subestimados. Isso ocasiona imprecisões de estimativas de orçamentos e prazos, propiciando chances de aumento de custos de desenvolvimento e de dilatação do cronograma (UNITED STATES, 2015), causando, por seu turno, insegurança e frustrações nos *stakeholders*.

Em um estudo realizado em 62 programas de P&D do DoD, o escritório governamental de contabilidade dos Estados Unidos (GAO) observou que 33% desses programas foram iniciados com algumas tecnologias críticas imaturas (Abaixo de TRL 7). Esses programas sofreram um acréscimo médio de custos em 32% e um atraso médio de 20 meses. Em contrapartida, os demais experimentaram um acréscimo de custo de apenas 2.6% e um atraso médio de 1 mês (UNITED STATES, 2015).

Com base nesses estudos, vários países adotam os níveis 6 ou 7 da escala TRL como marco crítico que indica a viabilidade técnica de se iniciar um projeto de P&D visando a concepção de um produto mediante integração de várias tecnologias críticas. Enquanto as tecnologias críticas não atingem esses patamares, o escritório governamental de contabilidade dos Estados Unidos (UNITED STATES, 2015) recomenda que o esforço de P&D recaia em suas maturações.

Essa abordagem permite anunciar a seguinte questão fundamental: Como elaborar uma metodologia de análise de riscos e viabilidade técnica baseada em prontidão tecnológica, para tomada de decisão sobre:

- comprar no mercado internacional, ou realizar P&D (no país ou em colaboração)?
- contratar a integração para concepção de um produto, ou contratar a P&D para avançar a maturidade de uma tecnologia crítica?

## 6.4 Mecanismo de comunicação do conhecimento

Da análise da literatura sobre a ferramenta TRL verificou-se que ela pode normatizar o entendimento comum ao identificar etapas da P&D de tecnologias que precisam ser maturadas. Uma vez que esses marcos de maturação estejam padronizados em uma rede complexa de atores diversificados, decisores e gestores conseguem ter uma visão mais ampla e detalhada do processo de evolução tecnológica para a concepção de produtos, facilitando assim o planejamento estratégico de projetos e programas de P&D (de integração e maturação de subsistemas) ao longo do ciclo de vida do material. Nesse mister, a prototipagem de uma tecnologia e seu enquadramento em um nível TRL codifica o conhecimento tácito dos especialistas envolvidos.

Isto sugere que a ferramenta de prontidão tecnológica, um mecanismo impessoal, pode facilitar o uso de mecanismos pessoais e a integração de conhecimentos tácitos e não somente de conhecimentos codificados. Logo, suscita-se a possibilidade de que a ferramenta TRL, além de representar um mecanismo impessoal (geralmente utilizado para integrar conhecimentos já codificados) (SRIKANTH; PURANAM, 2011), possua atributos de mecanismos pessoais tendo em vista seu potencial em prover o entendimento comum e possibilitar a codificação de conhecimentos tácitos.

De forma a confrontar estas expectativas sobre a escala TRL, as seguintes questões podem ser levantadas:

- como a ferramenta TRL pode promover o entendimento comum entre atores diversos de uma rede complexa?
- Qual o papel da escala TRL na codificação de conhecimentos tácitos?

## 7 Conclusão

Neste artigo foi verificado que a escala TRL abrange apenas uma parte do ciclo de vida de SMEM. Por outro lado, verificou-se que a adoção de uma escala de prontidão tecnológica customizada poderá aumentar a eficiência da gestão de sistemas de produtos complexos e subsidiar decisões que vão além da P&D.

Como esse assunto é pouco explorado na literatura, este trabalho levantou importantes questões em aberto, analisando um caso específico, o SCTIEx. As respostas das questões apresentadas podem trazer enormes benefícios não apenas para o aludido sistema, elevando o patamar da gestão da Ciência, Tecnológica e Inovação no âmbito do Exército Brasileiro, mas também para a sociedade como um todo, face aos transbordamentos tecnológicos que o setor de defesa é capaz de gerar, contribuindo para o crescimento econômico e desenvolvimento nacional. Tendo em vista que o SCTIEx possui similaridades com outras redes que lidam com produtos complexos, as pesquisas empreendidas no sentido de se obter respostas para as questões em comento poderão contribuir não apenas com a diversificada da comunidade de especialistas que trabalham com SMEM, mas também com a literatura de CoPS.



## Referências

- AGÊNCIA ESPACIAL BRASILEIRA. **Introdução ao IMATEC como ferramenta de avaliação de maturidade tecnológica em projetos espaciais**. Brasília, DF: Agência Espacial Brasileira, 2018.
- AXELSON, M. **Enabling knowledge communication between companies**. Stockholm: Stockholm School of Economics, 2008.
- BARRINGER, H. P.; WEBER, D. P. Life cycle cost tutorial. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE OF PROCESS PLANT RELIABILITY, 5., 1996, Houston. **Anais [...]**. Houston: Gulf Publishing Company, 1996.
- BRASIL. Exército. Portaria nº 270, de 13 de junho de 1994. Aprova as Instruções Gerais para o Funcionamento do Sistema de Ciência e Tecnologia do Exército (IG 20-11). **Boletim do Exército**, Brasília, DF, n. 31, 1994.
- BRASIL. Exército. Portaria nº 032-DCT, de 11 de setembro de 2012. Aprova a Diretriz de Iniciação do Projeto de Transformação do Sistema de Ciência e Tecnologia do Exército (SCTEx). **Boletim do Exército**, Brasília, DF, n. 38, p. 30-34, 2012.
- CANTONI, L.; PICCINI, C. **Il sito del vicino è sempre più verde**: la comunicazione fra committenti e progettisti di siti internet. Milano: FrancoAngeli, 2004.
- CUNHA, M. B.; AMARANTE, J. C. O livro branco e a base científica, tecnológica, industrial e logística de defesa. **Revista da Escola de Guerra Naval**, Rio de Janeiro, v. 17, n. 1, p. 11-32, 2011.
- DAVIES, A.; BRADY, T. Explicating the dynamics of project capabilities. **International Journal of Project Management**, Amsterdam, v. 34, n. 2, p. 314-327, 2016.
- DAVIES, A.; BRADY, T.; HOBDAV, M.; PRENCIPE, A. Innovation in complex products and systems: implications for project-based organizing. *In*: CATTANI, G.; FERRIANI, S.; FREDERIKSEN, L.; TÄBUE, F. **Project-based organizing and strategic management**. Bingley: Emerald, 2011. p. 3-26. (Advances in Strategic Management, 28).
- DUBOIS, A.; GADDE, L. Systematic combining: an abductive approach to case research. **Journal of Business Research**, Amsterdam, v. 55, n. 7, p. 553-560, 2002.
- ELVERUM, C. W.; WELO, T. On the use of directional and incremental prototyping in the development of high novelty products: two case studies in the automotive industry. **Journal of Engineering and Technology Management**, Amsterdam, v. 38, p. 71-88, 2015.

EPPLER, M. J. Knowledge communication problems between experts and decision makers: an overview and classification. **The Electronic Journal of Knowledge Management**, Sonning Common, v. 5, n. 3, p. 291-300, 2007.

FRANÇA JUNIOR, J. A. The coordination of complex product systems projects: a case study of an R&D multi-party alliance. **International Journal of Innovation Management**, London, v. 23, n. 3, 2018. Disponível em: <https://bit.ly/2vdMUoJ>. Acesso em: 21 mar. 2019.

FRANÇA JUNIOR, J. A.; LAKEMON, N.; HOLMBERG, G. Mechanisms of innovation in complex products systems: an innovation system approach. **Revista Militar de Ciência e Tecnologia**, Rio de Janeiro, v. 34, n. 1, p. 47-54, 2017.

FRANCO AZEVEDO, C. E. Os elementos de análise da cultura de inovação no setor de defesa e seu modelo tridimensional. **Coleção Meira Mattos**, Rio de Janeiro, v. 12, n. 45, p. 145-167, 2018.

GALBRAITH, J. R. **Designing complex organizations**. Boston: Addison-Wesley, 1973.

GALDINO, J. F. Sistema nacional de inovação do Brasil: uma análise baseada no índice global de inovação. **Coleção Meira Mattos**, Rio de Janeiro, v. 12, n. 45, p. 129-144, 2018.

GRANT, R. M. Prospering in dynamically-competitive environments: organizational capability as knowledge integration. **Organization Science**, Ann Arbor, v. 7, n. 4, p. 375-387, 1996a.

GRANT, R. M. Toward a knowledge-based theory of the firm. **Strategic Management Journal**, Hoboken, v. 17, n. esp, p. 109-122, 1996b.

GUPTA, A. K.; GOVINDARAJAN, V. Knowledge flows within multinational corporations. **Strategic Management Journal**, Hoboken, v. 21, n. 4, p. 473-496, 2000.

HAMBLING, D. **Swarm troopers: how small drones will conquer the world**. Venice: Archangel Ink, 2015.

HOBDA, M. Product complexity, innovation and industrial organisation. **Research Policy**, Amsterdam, v. 26, n. 6, p. 689-710, 1998.

HOBDA, M. The project-based organisation: an ideal form for managing complex products and systems? **Research Policy**, Amsterdam, v. 29, n. 7-8, p. 871-893, 2000.

INKPEN, A. C. Creating knowledge through collaboration. **California Management Review**, Thousand Oaks, v. 39, n. 1, p. 123-140, 1996.

INNOVAIR. NRA Flyg 2016: New challenges – and new solutions. [Stockholm]: Innovair, 2016.

JEAN, F.; LE MASSON, P.; WEIL, B. **Sourcing innovation: probing Technology Readiness Levels with a design framework.** *In: SIG INNOVATION EURAM*, 2015, Paris. **Proceedings** [...]. Paris: Mines ParisTech, 2015.

LESKE, A. D. C. **Inovação e políticas na indústria de defesa brasileira.** 2013. Tese (Doutorado em Economia) – Instituto de Economia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

LIMA, F. C. **O processo decisório para obtenção de materiais de emprego militar no Exército Brasileiro.** 2007. Dissertação (Mestrado em Administração Pública) – Escola Brasileira de Administração Pública e de Empresas, Fundação Getúlio Vargas, Rio de Janeiro, 2007.

LUNDEVALL, B. National innovation systems – analytical concept and development tool. **Industry and Innovation**, Abingdon, v. 14, n. 1, p. 95-119, 2007.

MAIDIQUE, M. A.; HAYES, R. H. The art of high-technology management. **MIT Sloan Management Review**, Cambridge, v. 25, n. 2, p. 17-31, 1984.

MANKINS, J. C. Technology readiness assessments: a retrospective. **Acta Astronautica**, Amsterdam, v. 65, n. 9-10, p. 1216-1223, 2009.

MAZZUCATO, M. **O Estado empreendedor: desmascarando o mito do setor público vs. o setor privado.** São Paulo: Portfolio Penguin, 2014.

NOLTE, W. L.; KENNEDY, B. C.; DZIEGIEL, R. J. Technology Readiness Calculator. *In: ANNUAL SYSTEMS ENGINEERING CONFERENCE*, 6., 2003, San Diego. **Proceedings** [...]. Virgínia: NDIA, 2003. Disponível em: <https://bit.ly/2WgwRlC>. Acesso em: 22 mar. 2019.

OKHUYSEN, G. A.; BECHKY, B. A. Coordination in organizations: an integrative perspective. **The Academy of Management Annals**, New York, v. 3, n. 1, p. 463-502, 2009.

PAULO, J. S. **O mercado único da defesa.** Lisboa: Prefácio, 2006.

PRADO FILHO, H. V. **A transformação do Exército Brasileiro e o novo sistema de ciência, tecnologia e inovação do exército: contribuições para a soberania nacional.** 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Altos Estudos de Política e Estratégia) – Escola Superior de Guerra, Rio de Janeiro, 2014.

RAMBOW, R. **Experten-Laien-Kommunikation in der Architektur.** Münster: Waxmann, 2000.

RIEGE, A. M. Validity and reliability tests in case study research: a literature review with “hands-on” applications for each research phase. **Qualitative Market Research**, Bingley, v. 6, n. 2, p. 75-86, 2003.

ROCHA, D.; MELO, F. C. L.; RIBEIRO, J. Uma adaptação da metodologia TRL. **Revista Gestão em Engenharia**, São José dos Campos, v. 4, n. 1, p. 45-56, 2017.

RUSSO, J. E.; SCHOEMAKER, P. J. H. **Decision traps**: ten barriers to brilliant decision-making and how to overcome them. New York: Simon & Schuster, 1990.

SAÚDE, N. **O custo total do ciclo de vida de sistemas e equipamentos militares**. 2010. Trabalho de Investigação Individual (Curso de Estado-Maior Conjunto) – Instituto Universitário Militar, Lisboa, 2010.

SAUSER, B. J.; GOVE, R.; FORBES, E.; RAMIREZ-MARQUEZ, J. E. Integration maturity metrics: development of an integration readiness level. **Information Knowledge Systems Management**, Amsterdam, v. 9, n. 1, p. 17-46, 2010.

SAUSER, B. J.; RAMIREZ-MARQUEZ, J. E.; MAGNAYE, R. B.; TAN, W. System maturity indices for decision support in the defense acquisition process. *In*: ANNUAL ACQUISITION RESEARCH SYMPOSIUM OF THE NAVAL POSTGRADUATE SCHOOL, 5., 2008, Monterey. **Proceedings** [...]. Monterey: Naval Postgraduate School, 2008.

SCHMICKL, C.; KIESER, A. How much do specialists have to learn from each other when they jointly develop radical product innovations? **Research Policy**, Amsterdam, v. 37, n. 3, p. 473-491, 2008.

SICOTTE, H.; LANGLEY, A. Integration mechanisms and R&D project performance. **Journal of Engineering and Technology Management**, Amsterdam, v. 17, n. 1, p. 1-37, 2000.

SINGH, J. Distributed R&D, cross-regional knowledge integration and quality of innovative output. **Research Policy**, Amsterdam, v. 37, n. 1, p. 77-96, 2008.

SRIKANTH, K.; PURANAM, P. Integrating distributed work: comparing task design, communication, and tacit coordination mechanisms. **Strategic Management Journal**, Hoboken, v. 32, n. 8, p. 849-875, 2011.

STEEN, M.; BUIJS, J.; WILLIAMS, D. The role of scenarios and demonstrators in promoting shared understanding in innovation projects. **International Journal of Innovation and Technology Management**, Singapore, v. 11, n. 1, p. 1-21, 2014.

STRAUB, J. In search of technology readiness level (TRL) 10. **Aerospace Science and Technology**, Amsterdam, v. 46, p. 312-320, 2015.

TUSHMAN, M. L.; KATZ, R. External communication and project performance: an investigation into the role of gatekeepers. **Management Science**, Ann Arbor, v. 26, n. 11, p. 1071-1085, 1980.

UNITED STATES. Department of Energy. Office of Environmental Management. **Technology Readiness Assessment (TRA) / Technology Maturation Plan (TMP) Process Guide**. Washington, DC: Department of Energy, 2008.

UNITED STATES. Department of Defense. **Technology Readiness Assessment (TRA) Deskbook**. Washington, DC: Department of Defense, 2009. Disponível em: <https://bit.ly/2untqxJ>. Acesso em: 22 mar 2019.

UNITED STATES. Government Accountability Office. Defense acquisitions: assessments of selected weapon programs. **Report to Congressional Committees**, Washington, DC, n. GAO-15-342, 2015.

UNITED STATES. Department of Defense. **Manufacturing Readiness Level (MRL) Deskbook**. Washington, DC: OSD Manufacturing Technology Program; The Joint Service/Industry MRL Working Group, 2016. Disponível em: <https://bit.ly/2WaJuie>. Acesso em 22 mar. 2019.

YIN, R. K. **Case study research: design and methods**. 2nd ed. Thousand Oaks: Sage, 1994.

