Dissertação apresentada à Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa do Instituto Tecnológico de Aeronáutica, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências no Programa de Pós-Graduação em Ciências e Tecnologias Espaciais, Área de Sistemas Espaciais, Ensaios e Lançamentos.

Daiane Rocha

UMA ADAPTAÇÃO DA NORMA NBR ISO 16290:2015 APLICADA EM PROJETOS DO SETOR AEROESPACIAL

Dissertação aprovada em sua versão final pelos abaixo assinados:

Prof. Dr. Francisco Cristóvão Lourenço de Melo Orientador

Prof. Dr. Prof. Luiz Carlos Sandoval Góes Pró-Reitor de Pós-Graduação e Pesquisa

Campo Montenegro São José dos Campos, SP – Brasil 2016

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP) Divisão de Informação e Documentação

Rocha, Daiane

Uma adaptação da Norma NBR ISO 16290:2015 aplicada em projetos do setor Aeroespacial / Daiane Rocha.

São José dos Campos, 2016. 120f. Número de Folhas

Dissertação de mestrado- Curso de Ciências e Tecnologias Espaciais, Área de Sistemas Espaciais, Ensaios e Lançamentos – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 2016. Orientador: Prof. Dr. Francisco Cristóvão Lourenço de Melo

1. TRL- Technology Readiness Levels. 2. Maturidade Tecnológica. 3. Gestão estratégica. I. Instituto Tecnológico de Aeronáutica. II. Uma adaptação da NBR ISO 16290:2015 aplicada em projetos do setor Aeroespacial

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ROCHA, Daiane. **Uma adaptação da Norma NBR ISO 16290:2015 aplicada em projetos do setor Aeroespacial**. 2016. 120f. Dissertação de mestrado em Sistemas Espaciais, Ensaios e Lançamentos – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Daiane Rocha

TÍTULO DO TRABALHO: Uma adaptação da Norma NBR ISO 16290:2015 aplicada em

projetos do setor Aeroespacial

TIPO DO TRABALHO/ANO: Dissertação / 2016

É concedida ao Instituto Tecnológico de Aeronáutica permissão para reproduzir cópias desta dissertação e para emprestar ou vender cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta dissertação ou tese pode ser reproduzida sem a sua autorização (do autor).

D' D 1

Daiane Rocha Rua Kunio Nishi, 27 - Massaguaçu CEP: 11677-020, Caraguatatuba - SP

UMA ADAPTAÇÃO DA NORMA NBR ISO 16290:2015 APLICADA EM PROJETOS DO SETOR AEROESPACIAL

Daiane Rocha

Composição da Banca Examinadora:

Prof. Dr.	Carlos Henrique Netto Lahoz	Presidente	-	IAE
Prof. Dr.	Francisco Cristóvão Lourenço de Orientador		-	ITA
	Melo			
Prof. ^a . Dr ^a .	Mischel Carmen Neyra		-	ITA
	Belderrain			
Prof. Dr.	José Luis Gomes da Silva		-	UNITAU

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, por ser essencial em minha vida, aos meus pais, João Ramos da Rocha e Maria Auxiliadora Furtado Rocha, e aos meus irmãos Michele Tatiane Furtado, Ricardo Rocha e Mariah Rocha.

Agradecimentos

A Deus, primeiramente, pois sem ele não conseguiria ter chegado até aqui.

Ao CNPq e à CAPES, pelo suporte financeiro

Ao meu orientador, Prof. Dr. Francisco Cristóvão Lourenço de Melo, pela paciência, dedicação e ensinamentos prestados nesses anos.

Aos professores, pelos ensinamentos que deram suporte para eu concluir mais uma etapa da minha vida acadêmica: Prof.ª Drª. Mischel Carmen Neyra Belderrain, Prof.ª Drª. Ligia Maria Soto Urbina, Prof. Dr. Jefferson Gomes de Oliveira e Prof. Dr. Nicolau André Silveira Rodrigues.

Às minhas amigas e parceiras de trabalho: Mª. Maria Cristina Vilela Salgado, Dra. Joana Ramos Ribeiro e Mª. Beatriz Alves.

À minha amiga, a bibliotecária Luciana de Sousa Baptista, por toda assistência prestada e por me acolher na biblioteca.

Às minhas tias, Arlete e Roseli, e aos meus padrinhos, por toda dedicação e por terem me acolhido.

À minha prima, Dr^a. Karina Noronha, por todos os conselhos, ensinamentos, apoio e incentivo.

Aos meus amigos, por entenderem a minha ausência, em especial à minha amiga Bruna Antunes de Oliveira, pelo apoio e incentivo.

	vi
"Eu odiava cada minuto do treinamento, mas eu disse: -Não pare. Sofrer agora e vive	r o
resto de sua vida como um campeão	
(Muhammad A	.li)

Resumo

A presente pesquisa tem por objetivo apresentar uma nova aplicação da metodologia de avaliação de Nível de Maturidade Tecnológica (TRL- Technology Readiness Levels) abordando aspectos politicos-legais, econômicos, documentais e tecnológicos da realidade brasileira e enquadrando-os na Norma NBR ISO 16290:2015. Para esse desenvolvimento foram analisadas as metodologias da Agência Espacial Europeia- ESA, da Agência Espacial Norte Americana-NASA, do Departamento de Defesa Americano- DoD, do Laboratório de Pesquisa da Força Aérea dos Estados Unidos da América- AFRL e a Norma NBR ISO 16290:2015. Como contribuição a pesquisa desenvolveu um aplicativo para avaliar TRL, denominado Calculadora TRL IAE/ITA-2016-1. O desenvolvimento do aplicativo deu-se no software Microsoft Office Excel, padronizando e tornando ágil a avaliação de maturidade tecnológica. A metodologia desenvolvida contém etapas de pré e pós avaliação. O processo de avaliação é realizado por meio de entrevista com os gestores responsáveis através de um questionário, contendo 89 questões divididas entre os 9 níveis de TRL. A validação da metodologia e do aplicativo, obteve como resultado que a inclusão dos aspectos além de técnicos, econômicos, documentais e político-legais especificou e aprofundou a avaliação. A utilização do aplicativo agilizou a avaliação e possibilitou a comparação da avaliação da NBR ISO 16290:2015 e do questionário desenvolvido. A validação da metodologia deu-se na aplicação em tecnologias do setor aeroespacial e em contraprova uma tecnologia da área de Defesa. Um total de 75 % das respostas obtidas tiveram o TRL da NBR ISO 16290:2015 maior que o da Calculadora TRL IAE/ITA-2016-1, demonstrando a subjetividade da Norma. A utilização do aplicativo para realizar a avaliação agilizando e facilitando a aplicação da metodologia, foi confirmada pelos gestores entrevistados.

Palavras-chaves: 1. TRL- Technology Readiness Levels. 2. Maturidade Tecnológica. 3. Gestão estratégica. 4. NBR ISO 16290:2015.

Abstract

The present research aims to present a new application of the Technological Maturity Level (TRL), which is a methodology approach, addressing political-legal, economic, documentary and technological aspects of the Brazilian reality and setting them in the NBR ISO 16290:2015. For this development was used the methodologies of the European Space Agency - ESA, the United States Space Agency - NASA, the US Department of Defense - DoD, the United States Air Force Research Laboratory - AFRL and NBR ISO 16290:2015. As a contribution of the research developed was an application to evaluate TRL, called Calculator TRL IAE / ITA-2016-1. The development of the application took place in the software Microsoft Office Excel, standardizing and making agile the evaluation of technological maturity. The methodology developed contains pre and post assessment steps. The evaluation process is performed through an interview with the responsible managers through a questionnaire, containing 89 questions divided among the 9 levels of TRL. The validation of the methodology and the application, resulted in the inclusion of aspects beyond technical, economic, documentary and political-legal aspects, and deepened the evaluation. The use of the application expedited the evaluation and made it possible to compare the evaluation of NBR ISO 16290:2015 and the questionnaire developed. The validation of the methodology occurred in the application in technologies of the aerospace sector and in counter-proof a technology of the area of Defense. A total of 75% of the answers obtained had the NBR ISO 16290:2015 TRL greater than the TRL IAE / ITA-2016-1 Calculator, demonstrating the Norma's subjectivity. The use of the application to carry out the evaluation facilitating and facilitating the application of the methodology was confirmed by the managers interviewed.

Keywords: 1. TRL Technology Readiness Levels. 2. Technological maturity. 3. Strategic management. 4. NBR ISO 16290: 2015.

Lista de Figuras

Figura 1- Etapas da criação da metodologia proposta de aplicação TRL	19
Figura 2- Termômetro de representação dos níveis de TRL (NASA, 2016)	25
Figura 3- Critérios de Avaliação TRL da ESA (HANDBOOK, 2008)	30
Figura 4- Esquema de aplicação TRL na NASA (MALLACO, 2014).	33
Figura 5- TRL Calculator 2.2 (AFRL, 2016)	37
Figura 6 - Tempo e custo de desenvolvimento das TCs (SALGADO, 2016)	44
Figura 7- Etapas de aplicação da metodologia de TRL desenvolvida	52
Figura 8 - Etapas do processo de avaliação da metodologia desenvolvida	54
Figura 9 - Página inicial da Calculadora TRL IAE/ITA-2016-1	55
Figura 10 - Consulta dos requisitos da Norma (NBR ISO 16290, 2015)	56
Figura 11 - Dados da Tecnologia.	58
Figura 12- PASSO 3- Avaliação TRL	59
Figura 13 – Temas das Questões de TRL desenvolvidas.	60
Figura 14 - Numéro de questões desenvolvidas em cada tema.	60
Figura 15 - Status da Tecnologia.	75
Figura 16 – Resultado das avaliações TRL	79

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Desenvolvimento dos Produtos	26
Tabela 2– Comparativo de dinheiro liberado PNAE X Gasto AEB	43
Tabela 3- Respostas do TRL 1	80
Tabela 4- Respostas do TRL 2	81
Tabela 5- Respostas do TRL 3	82
Tabela 6- Respostas do TRL 4	83
Tabela 7 - Respostas do TRL 5	84
Tabela 8- Respostas do TRL 6	85
Tabela 9- Respostas do TRL 7	86
Tabela 10- Respostas do TRL 8	87
Tabela 11- Respostas do TRL 9	88

Lista de Quadros

Quadro 1 - Requisito ESA para cada nível tecnológico	31
Quadro 2 - TRL no DoD	34
Quadro 3 - Definições de MRL	38
Quadro 4 – Definições de PRL	38
Quadro 5 - Marcos e Realizações	40
Quadro 6 – Resumo do Processo de Validação da ESA	47
Quadro 7 - Atribuições e Responsabilidades dos envolvidos na aplicação TRL DoD	47
Quadro 8 - Ciclo de TRL	57

Lista de Abreviaturas e Siglas

ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas

AFRL Laboratório de Pesquisa da Força Aérea dos EUA

COMAER Comando da Aeronáutica

DoD Departamento de Defesa Americano

ESA Agência Espacial Europeia

EUA Estados Unidos da América

GAO Escritório de Responsabilidade do Governo dos EUA

IAE Instituto de Aeronáutica e Espaço

INPE Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

ITA Instituto Tecnológico de Aeronáutica

JAXA Agência Espacial Japonesa

MCTI Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovação e Comunicações

NASA Agência Espacial Norte Americana

NBR Norma Brasileira

OT Observatório Tecnológico

P&D Pesquisa e Desenvolvimento

PNAE Programa Nacional de Atividades Espaciais

TC Tecnologias Críticas

TRL Nível de Maturidade Tecnológica

Sumário

1.INT	RODUÇÃO	15
1.1	Motivação da Pesquisa	16
1.2	Objetivos	17
1.2.	l Geral	17
1.2.	2 Objetivos Específicos	17
1.3	Delimitação do Estudo	18
1.4	Problema de Pesquisa	18
1.5	Classificação Metodológica da Pesquisa	18
1.6	Estrutura do Trabalho	19
2 F	UNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	21
2.1.Ge	stão Estratégica	21
2.1.	Ferramentas Estratégicas de Gestão de Projetos	22
2.2	Maturidade Tecnológica em Gestão de Projetos	23
2.2.		
2.2.	2 História do TRL	27
2.2.	Métodos de Avaliação TRL	29
3 C	ONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA DA PESQUISA	43
3.1	Quanto ao Setor Aeroespacial	
3.2	Quanto à metodologia TRL	
3.2.	9	
4 P	ROPOSTA DA METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO DO TRL	52
4.1	Decisão da Aplicação	
4.2	Definição da equipe	
4.3	Identificação das tecnologias	
4.4	Recolha dos materiais	
4.5	Avaliação TRL	54
4.5.		
4.6	Relatório TRL	74
5 A	PLICAÇÃO DA METODOLOGIA TRL	76
6 D	ISCUSSÃO DOS RESULTADOS	79

7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	89
8	CONCLUSÃO	93
REF	FERÊNCIAS	95
APÊ	ENDICE A- SETOR ESPACIAL	101
A 1	Setor Espacial	101
A	1.1 Setor Espacial no Mundo	101
A	1.2 Setor Espacial Brasileiro	105
ANE	EXO 1 - CAPÍTULO 2 DA NORMA ABNT NBR 16290:2015	115

1.Introdução

O presente capítulo demonstra o assunto a ser aqui tratado, levando em consideração a necessidade da abordagem direcionada à aplicação da Norma ISO 16290:2013, doravante NBR ISO 16290:2015, Sistemas espaciais- Definição dos níveis de maturidade da tecnologia (TRL) e de seus critérios de avaliação.

Descreve, também, as metodologias de avaliação do Nível de Maturidade Tecnológica utilizadas pela Agência Espacial Norte Americana (NASA) e pela Agência Espacial Europeia (ESA), a motivação do trabalho, o estado da arte, os objetivos e cita o conteúdo dos próximos capítulos que compõem esta dissertação.

Com o crescimento econômico surgem grandes demandas e com o mercado competitivo surgem as inovações e novas tecnologias, tornando acirrada a competição de mercado e moldando os gestores para trabalharem cada vez mais como 'adivinhos', buscando prever o mercado futuro (DEVEZAS, 2014).

Prever e administrar o processo de criação dessas novas tecnologias demanda dos gestores o conhecimento de três pilares no seu âmbito de trabalho: desempenho, orçamento e cronograma. Esses pilares precisam ser muito bem definidos e desenhados na etapa inicial de uma pesquisa e no desenvolvimento de um projeto, propiciando a capacidade de modificar e forjar o futuro (MANKINS, 2009 a).

O maior desafio para um gerente de projeto é ser capaz de fazer avaliações claras e de riscos da tecnologia e saber quando fazê-las no ciclo de vida de um programa (MANKINS, 2009 b). A fim de auxiliar os tomadores de decisão e para uma visão mais clara do *status* da tecnologia estudada surgiu no setor espacial a metodologia *Technology Readiness Levels*-TRL.

Essa metodologia permite a todos os interessados uma visão, um entendimento comum do *status* da tecnologia, e também uma avaliação com previsão de análise de risco, assim como a capacidade e limitações dos projetos e sua trajetória de desenvolvimento.

A criação da metodologia TRL deu-se em 1970, mas somente em 2013 com criação da Norma ISO 16290:2013 ocorreu a padronização dos requisitos mínimos ao Nível de Maturidade Tecnológica-TRL. Embora sua criação tenha dado enfoque ao setor espacial, a metodologia pode ser adaptada aos demais setores (NBR ISO 16290, 2015).

A metodologia TRL vem sendo utilizada em projetos de grande complexidade por tomadores de decisão de gerenciamento de tecnologias de milhões de dólares, como o programa de Marte da NASA (OLECHOWSKI, 2015).

A Divisão de Segurança Nacional e Assuntos Internacionais do Escritório Geral de Responsabilidade dos Estados Unidos da América (GAO), com o intuito de orientar a utilização da escala de medição de maturidade tecnológica empregada pela NASA e pelo AFRL, elaborou o documento denominado Melhores Práticas, *BEST PRACTICES*-1999 como ferramenta de apoio à decisão quanto à inclusão de novas tecnologias em projetos de interesse do DoD (FREIRE, 2006).

A implementação da metodologia de TRL foi citada no Relatório de Atividades do Observatório Tecnológico do Instituto de Aeronáutica e Espaço-IAE. A utilização de uma métrica que auxilia a definir o padrão de maturidade e prontidão tecnológica ideal, tal como a adaptação de compreensão do índice ideal de desenvolvimento para um instituto de pesquisa, é uma das preocupações atuais existentes no IAE (OT, 2015).

A metodologia TRL avalia maturidade das tecnologias. O conhecimento das Tecnologias Críticas (TC) é necessário para a sobrevivência de qualquer instituição, privada ou pública. Seu domínio implicará em atingir ou não os objetivos propostos pela instituição.

Tecnologia críticas são tecnologias necessárias para o desenvolvimento autosuficiente dos projetos e programas estabelecidos pelo Instituto. O seu domínio torna o país independente da importação destas tecnologias, cujo embargo já existe ou pode vir a existir no futuro. Consequentemente, dependem de áreas essenciais que fortalecem a capacidade industrial e de inovação para realização de seus projetos (OT, 2015).

A falta do domínio total das tecnologias em um projeto, normalmente acarreta em excesso de orçamento, atraso no cronograma, desempenho ineficiente e não condizente com os objetivos iniciais, mudando de foco e até mesmo acarretando seu cancelamento. (MANKINS, 2009 a).

1.1 Motivação da Pesquisa

A motivação da pesquisa deu-se pela criação da NBR ISO 16290:2015 com intuito de viabilizar e facilitar a aplicação da metodologia de TRL nos padrões da NBR ISO 16290:2015, acrescentando aspectos econômicos, documentais e político-legais do setor espacial.

Países com autonomia espacial têm, além da rentabilidade com os serviços e desenvolvimento dos projetos, prestígio, segurança, soberania e maior desenvolvimento em

Pesquisa e Desenvolvimento (P&D), aspectos enfatizados na Constituição Federal do Brasil (BRASIL, 1988).

A busca pelos pilares constitucionais, enfatizando o setor espacial, foi reafirmada no Relatório da Estratégia Nacional de Defesa. Em dezembro de 2008 o Poder Executivo apontou, pela primeira vez, o setor espacial como um dos pilares estratégicos para o Brasil, ao lado do setor cibernético e nuclear (RIBEIRO, 2014) como setores a desencadear soberania, independência e autonomia tecnológica.

Em 2012, a Agência Espacial Brasileira, no Programa Nacional de Atividades Espaciais (PNAE: 2012/2021), definiu como uma diretriz estratégica: "Desenvolver intenso programa de tecnologias críticas, incentivando a capacitação no setor, com maior participação da academia, das instituições governamentais de C&T e da indústria".

Dominar tecnologias estratégicas do setor espacial brasileiro é um antigo anseio, pois, via de regra, é um importante criador de *spin-offs* para outros setores industriais nos países que conduzem programas espaciais (AAB, 2010).

Do ponto de vista econômico, o espacial é um setor com constante investimento e evolução. Cresce em média 6% ao ano e movimenta em sua cadeia total, em média, US\$ 310 bilhões no mundo (PNAE 2012-2021). Quando comparado com os outros segmentos de produtos, obtém o maior valor agregado. Na relação preço/kg da matéria, a do setor espacial vale US\$ 50.000,00 já o setor não menos importante, agrícola, vale US\$ 0,50 (AIAB, 2007).

1.2 Objetivos

1.2.1 **Geral**

Esta pesquisa tem como objetivo principal desenvolver uma metodologia de aplicação para o cálculo do TRL (*Technology Readiness Levels*) abordando aspectos técnicos, econômicos, documentais, político-legais com base na NBR ISO 16290:2015 e nas ferramentas utilizadas pela NASA, DoD, AFRL e ESA.

1.2.2 Objetivos Específicos

O presente estudo tem os seguintes objetivos específicos:

auxiliar a aplicação da ferramenta de gestão TRL, abordando uma visão geral da norma, auxiliando os decisores a descobrir e compreender as ações possíveis para atingir um objetivo;

- identificar as adaptações necessárias para a aplicação da ferramenta de avaliação TRL nas tecnologias críticas, por meio de entrevistas semiestruturadas aplicada aos pesquisadores das tecnologias analisadas;
- possibilitar, com as adaptações, a aplicação TRL nas tecnologias críticasa a fim de auxiliar os tomadores de decisão nas influências e no entendimento dos sistemas complexos de seus interesses;
- possibilitar aos gestores, com a aplicação da TRL nos projetos do Instituto, uma visão das possíveis falhas e assim auxiliá-los em orçamentos e cronogramas de projetos futuros;
- possibilitar aos pesquisadores, gerentes e gestores a utilização da ferramenta, facilitando o entendimento e a identificação em uma linguagem comum e única; e
- validar a eficácia da adaptação do uso da ferramenta nas áreas de investigação a partir dos resultados da pesquisa.

1.3 Delimitação do Estudo

Dentre as 55 tecnologias críticas levantadas do Relatório de Atividades (OT-2015), este estudo se limitará à análise de três tecnologias: Compósitos termoestruturais de carbono reforçado com fibras de carbono, Motor L75 e o Foguete VSB30, e adicionalmente a Blindagem Mista para Aeronave Militar.

1.4 Problema de Pesquisa

O desafio desta pesquisa consiste em responder às perguntas:

- a) Quais as possíveis falhas da Norma NBR ISO 16290:2015 quando inserida no contexto da realidade espacial brasileira?
- b) Como minimizar essas falhas de avaliação?
- c) Como avaliar com reprodutibilidade o nível de maturidade tecnológica dos projetos do setor espacial?

1.5 Classificação Metodológica da Pesquisa

O presente estudo foi classificado quanto à natureza, aos objetivos, à abordagem do problema e ao método. Conforme Silva (2001):

- quanto à natureza, classifica-se como pesquisa de natureza aplicada, que gera conhecimentos para aplicação prática dirigida à solução de problemas específicos;
- quanto aos objetivos: trata-se de uma pesquisa exploratória. Analisaram-se as metodologias existentes e criou-se uma nova forma de aplicação da metodologia como um estudo de caso;
- quanto à forma de abordar o problema: é qualitativa, pois a interpretação dos fenômenos
 e a atribuição de significados são básicas; e
- quanto ao método: é experimental por que determina-se um objeto de estudo, selecionam-se as variáveis que seriam capazes de influenciá-lo, e definem-se as formas de controle e de observação dos efeitos que a variável produz no objeto.

1.6 Estrutura do Trabalho

O processo de construção da metodologia de TRL deu-se em cinco etapas, conforme apresentado na Figura 1.



Figura 1- Etapas da criação da metodologia proposta de aplicação TRL.

No primeiro capítulo do trabalho encontra-se a introdução, que traz a motivação da pesquisa, objetivos gerais e específicos, delimitação do estudo, problema de pesquisa e a classificação metodológica demonstrando o contexto da pesquisa.

O segundo capítulo apresenta a fundamentação teórica da pesquisa. Aborda os aspectos de gestão estratégica e maturidade tecnológica, demonstrando o levantamento realizado das metodologias utilizadas para a avaliação de TRL (TRL na ESA, TRL na NASA, TRL no DoD, TRL no AFRL, NBR ISO 16290:2015) compondo a primeira etapa da Figura 1.

O terceiro capítulo descreve e contextualiza o problema da pesquisa quanto ao setor espacial e quanto às metodologias TRL apresentadas no segundo capítulo. No terceiro capítulo encontra-se também a análise comparativa das metodologias estudadas, segunda etapa da Figura 1.

No quarto capítulo encontra-se a terceira etapa da Figura 1 demonstrando a proposta da presente pesquisa, que consiste na adaptação da avaliação de TRL enquadrada à NBR ISO 16290:2015, à luz das metodologias e adequada à realidade brasileira nos quesitos políticolegais, econômicos e documentais.

O quinto capítulo descreve a aplicação da metodologia proposta, terceira etapa da Figura 1 e no sexto capítulo encontra-se a discussão dos resultados da metodologia quinta e ultima etapa da criação e validação da metodologia proposta. O presente trabalho não avalia decisões estratégicas a serem tomadas pelos gestores das tecnologias, apenas a estrutura de sua aplicação.

O sétimo capítulo traz as considerações da pesquisa abordando os resultados da aplicação da metodologia e suas considerações. A conclusão encerra este estudo no oitavo capítulo.

2 Fundamentação Teórica

2.1. Gestão Estratégica

Estratégia é o que movimenta as organizações e/ou pessoas e consiste no processo para alcançar o objetivo pretendido. Segundo Wright (2000), "estratégia refere-se aos planos da alta administração para alcançar resultados consistentes com a missão e os objetivos gerais da organização".

A estratégia pode ser algo simples, como o processo de decisão de compra de uma calça em uma loja, que envolve apenas a decisão de cor, tamanho e valor estipulado, ou complexo como colocar o homem na Lua no final de uma década.

As organizações (ou pessoas) almejam um objetivo inserido numa realidade competitiva e com recursos restritos: o processo de gestão desse contexto denomina-se gestão estratégica. Ference (2012) define estratégia em dois conceitos econômicos relacionados: a escassez e a competição.

A competitividade se refere não somente à excelência no desempenho ou eficiência das empresas/produtos: engloba também a capacidade de busca por novas oportunidades, superando os obstáculos técnicos e organizacionais (CANONGIA, 2004). Um dos obstáculos encontrados nas instituições é a escassez, seja ela de recursos financeiros, humanos, tecnológicos, sociais e/ou político legais (WRIGHT, 2000).

A abordagem dos conceitos supracitados define a capacidade de inovação das organizações: escassez no mercado + alta competitividade = surgimento de inovações (DEVEZAS, 2012). Todo processo de inovação com foco no objetivo geral deve ser controlado pela gestão estratégica da empresa, tornando-a eficaz para atingir seus objetivos (FERENCE, 2012).

A formulação de uma gestão estratégica ocorre em três atividades: (I) formulação da estratégia; (II) implementação da formulação estratégica; e (III) controle estratégico (WRIGHT, 2000). A implementação da formulação estratégica consiste na gestão dos projetos necessários para a obtenção do objetivo futuro da organização, e o processo de controle estratégico determina que as medidas e os esforços estratégicos da organização são eficazes para atingir seus objetivos.

Os esforços estratégicos, que envolvem o processo de mudança necessário para atingir o objetivo final devem ser estipulados pela organização ou pelo estrategista, o responsável pela organização, com o intuito de transformar uma aspiração subjetiva em uma realização objetiva, construindo projetos futuros.

Esse processo exige monitoramento constante para determinar se atende ao pretendido e se está de acordo com o objetivo (FERENCE, 2012), utilizando ferramentas de demonstração do *status* do projeto em auxílio das tomadas de decisão e construção de novos planos de ação.

2.1.1 Ferramentas Estratégicas de Gestão de Projetos

As ferramentas de controle com definição de *status* em gestão de projetos, que auxiliam os tomadores de decisão em gestões estratégicas, consistem em mensurações qualitativas e quantitativas e avaliação das operações internas e do ambiente externo da organização que hospeda os projetos (WRIGHT, 2000).

2.1.1.1 Análise Qualitativa

A análise qualitativa é exploratória. Visa extrair dos entrevistados aspectos não explícitos. Define mercado, *marketing*, delimita clientes e reforça missão, visão e valores em uma organização. Minayo (2011) delimita cinco passos para construção e aplicação da análise qualitativa:

- 1º conhecer os termos cujos sentidos se complementam: experiência, vivência, senso comum e ação, portanto, o primeiro passo da análise é compreender e interpretar;
- 2º definir o objeto sob forma de pergunta, ou sentença problematizadora e teorizá-lo;
- 3º delinear estratégias de campo, tendo em mente os instrumentos operacionais, construção de sentenças ou orientações que devem estar relacionados com o marco teórico, pensando na teorização inicial;
- 4º dirigir-se aos cenários da pesquisa, realizando entrevistas abertas, promovendo hipóteses e pressupostos; e
- 5° ir a campo para aplicação do questionário, buscando informações previstas ou não no roteiro. É fundamental a elaboração de material teórico.

2.1.1.2 Análise Quantitativa

A análise quantitativa não só demonstra dados quantitativos, como fatias de mercado, segmento de consumidores, preços, custos, cronogramas e estatísticas de desempenho, e possibilita mensurar análises qualitativas, atribuindo valores e gerando comparações (FERENCE, 2012).

2.1.1.3 Análise do ambiente interno

A análise interna consiste em analisar os aspectos relacionados ao projeto estipulado dentro da organização e do ambiente em que se encontra. São realizadas análises qualitativa e quantitativa. Em termos qualitativos busca-se saber o grau de eficácia da estratégias e pilares analisados para o atingimento da missão e dos objetivos da empresa, e em termos quantitativos ocorre a mensuração da eficácia e dos critérios estipulados para análise (WRIGHT, 2000).

2.1.1.4 Análise do ambiente externo

A análise externa avalia o macroambiente relacionado à estratégia, estipulada a partir da análise qualitativa (levantamento) e da quantitativa (atribuição de valores), nos aspectos relacionados a forças político-legais, econômicas, tecnológicas e documentais (WRIGHT, 2000).

2.2 Maturidade Tecnológica em Gestão de Projetos

Os modelos de maturidade fornecem informações que orientam as empresas na definição de seu plano de melhoria da qualidade e produtividade, indicando os melhores caminhos para obtenção de êxito do objetivo final (MAGNO, 2011).

Entende-se por empresa madura, quanto à gestão de projetos, quando atinge um patamar em que as práticas de gestão e controle dos projetos são institucionalizadas na organização (KERZNER, 2006; MAGNO, 2011), embora institucionalizar a repetição dos processos não garanta o sucesso. Apenas aumenta a probabilidade de melhoria na qualidade (TONINI, 2008; JUCA, A.S.J. 2010).

Em suma, os modelos de maturidade são criados para auxiliar os gestores a planear ações necessárias e progredir alcançando seus objetivos finais. O objetivo de trabalhar com empresas, tecnologias e processos maduros é a probabilidade de êxito, obtenção do lucro,

redução de custos, e desempenho eficiente e eficaz no cronograma pré-estabelecido (JUCA, A.S.J. 2010).

São inúmeras as propostas de modelos de maturidade existentes (CANADA, 2006). Neste estudo o foco está no modelo de maturidade criado especialmente para o setor espacial, o *Technology Readiness Levels* (TRL).

2.2.1 TRL

Criada por Stan Sadin nos anos 60-70, época de ascensão da chamada primeira corrida espacial, a escala de maturidade tecnológica TRL implementada na NASA é uma das ferramentas necessárias ao gerenciamento do progresso das atividades de P & D em uma organização. Seu objetivo principal é auxiliar os gestores nas tomadas de decisão relativas ao desenvolvimento e transição da tecnologia estudada (DOD, 2011).

Seu domínio e implementação permitem aos usuários um entendimento comum do *status* da tecnologia, a avaliação da maturidade de uma tecnologia e seu gerenciamento de risco, auxiliando os tomadores de decisão a obter exatidão do quanto o resultado está distante.

A metodologia TRL consiste em mensurar a maturidade da tecnologia pela demonstração da capacidade tecnológica (ALMEIDA, 2008). Para a mensuração são utilizados nove níveis de maturidade tecnológica representados pela Figura 2, termômetro desenvolvido originalmente da NASA. O nível 1 apresenta a TRL inicial e a tecnologia com maturidade baixa, e o nível de TRL 9 representa a tecnologia madura.

Para auxiliar o entendimento, a Figura 2 demonstra ainda as definições básicas para cada nível, conforme texto à direita do termômetro de TRL, e a descrição geral do trabalho de desenvolvimento de acordo com texto à esquerda do termômetro de TRL. Esse agrupamento descritivo é útil para descrições amplas do tipo de esforço de desenvolvimento ao qual a tecnologia está sendo submetida (LARGENT, 2003, p. 8; ALMEIDA, 2008, p.44).



Figura 2- Termômetro de representação dos níveis de TRL (NASA, 2016).

A metodologia TRL ajuda a manter os projetos situados em ambientes complexos dentro de um determinado custo, prazo e esforço pré-estabelecidos, auxiliando em financiamento e decisões futuras quanto à transição da tecnologia estudada (DOD, 2011). Sua relevância é enfatizada pelo DoD, que exige níveis de maturidade de *hardware* e *software* como parte dos critérios para tomadas de decisão (NOLTE, 2003).

A TRL pode ser aplicada como ferramenta para auxiliar os tomadores de decisão e como desenvolvimento de uma métrica comum, por meio da qual o nível da tecnologia pode ser entendido por diferentes níveis de diferentes organizações, mas a avaliação antes da incorporação da tecnologia em novos projetos é confirmada pela ESA:

A capacidade de tomar boas decisões relativas à inclusão ou exclusão de novas tecnologias e novos conceitos, e para isso, na ausência de informação perfeita, é essencial para o sucesso de muitos programas espaciais. Preciosas e oportunas 'avaliações de prontidão tecnológicas' (TRAs) são muito importantes para a gestão de custo-beneficio das carteiras de P & D de tecnologia avançada, quer ao nível gerente do programa, o nível contator principal ou do nível fornecedor. Inúmeras abordagens foram desenvolvidas para auxiliar no cumprimento deste desafio de gestão, incluindo a utilização de uma variedade de ferramentas de apoio à decisão. Um passo fundamental em todas essas metodologias, no entanto, é a avaliação consistente da maturidade de várias tecnologias avançadas antes da sua incorporação em novos projetos de desenvolvimento de sistemas (HANDBOOK, 2008).

A utilização da metodologia traz inúmeros benefícios nas instituições onde é aplicada (FREIRE, 2006). Especialistas do setor industrial norte-americano estimaram que resolver os problemas tecnológicos antes de o desenvolvimento de certo produto ser iniciado pode reduzir em até dez vezes os prazos e custos do projeto, concluindo que o seu sucesso está intimamente relacionado ao nível de maturidade tecnológica das tecnologias empregadas (ALMEIDA, 2008).

Estudos apresentados pelo GAO afirmam que utilizar tecnologias não maduras em um projeto acarreta em aumento de custo e atraso no cronograma, como apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – Desenvolvimento dos Produtos

Desenvolvimento dos Produtos				
Produtos e tecnologias associadas	TRLs na época de lançamento dos programas	Crescimento do orçamento previsto %	Atraso no cronograma %	
Helicóptero Commanche				
Turbina	5			
Rotor	5	101	120	
Visão infravermelha	3	101	120	
Display de capacete	3			
Aviônica integrada	3			
BAT (Munição Anti-Carro)				
Sensor acústico	2			
Sensor infravermelho	3	88	62	
Cabeça de Guerra	3	88	02	
Unidade de medida inercial	3			
Processadores de dados	3			
Satélite Hughes HS 702				
Arranjo de células solares	6	0	0	
Veículo Ford Jaguar				
Controle de estabilidade de tração	8	0	0	
Contrles ativados a voz	8			

Fonte: GAO (1999, apud FREIRE, 2006, p.11).

O nível de maturidade tecnológica que se deve alcançar depende do objetivo que motivou a aplicação (ALMEIDA, 2008, p.47). Para a absorção de conhecimento em sistemas ou produtos tecnológicos e sua incorporação em determinada tecnologia, como parte integrante do sistema ou produto, indica-se que obtenha ao mínimo TRL 6 como citado (ALMEIDA, 2008). Já para o laboratório de pesquisa da força aérea dos EUA, o AFRL, seu objetivo em um

programa de desenvolvimento é amadurecer uma tecnologia até o TRL 6, encerrando as atividades e transferindo-as para os setores de desenvolvimento (NOLTE, 2003).

O modelo de aplicação e mensuração da metodologia TRL de maturidade tecnológica varia conforme a instituição que o realizará.

2.2.2 História do TRL

Mankins (2009 b), em *Technology Readiness Assessment: a Retrospective*, demonstrou que a escala TRL não surgiu de uma só vez, sua aceitação dentro da comunidade de gerenciamento de sistemas aeroespaciais e de tecnologia avançada ocorreu durante várias décadas.

A metodologia criada na década de 60 tinha por ideia inicial estabelecer os requisitos de tecnologia para a estação espacial. Na década de 70, com a necessidade de a NASA desenvolver uma escala independente de tecnologia real para as avaliações, foram desenvolvidos os níveis de prontidão de tecnologia.

Na década de 80, com o programa de Iniciativa de Exploração Espacial dos EUA foi difundido e expandido o uso de TRL em um processo de melhor gestão nas novas tecnologias, aparecendo também a necessidade de comunicação dos níveis de tecnologia entre a comunidade de pesquisa em tecnologia e a comunidade de planejamento e exploração de missão.

Somente nessa década surgiu a primeira publicação a respeito da metodologia, com Sadin, Povinelli & Rosen (1989) no artigo *The NASA technology pushes towards future space mission systems*, em que citam apenas os sete primeiros níveis tecnológicos.

Em 1991, a NASA desenvolveu o primeiro Plano Integrado Tecnológico para o Programa Espacial Civil PIT, quando foi empregado TRL nas avaliações tecnológicas e nos estudos de previsões (NASA, 2016).

Pela primeira vez uma organização científica utilizou a escala tanto para sua própria gestão como para uma comunicação mais eficaz com os pesquisadores e organizações dentro e fora da NASA. Uma melhor explicação da metodologia, no entanto, só surgiu em 6 de abril de 1995, quando John Mankins, pesquisador da NASA, apresentou pela primeira vez os nove níveis de tecnologia com suas definições detalhadas, além de exemplos que são utilizados até os dias de hoje e que foram descritos no artigo *Technology Readiness Levels – A White Paper*.

A ideia inicial da concepção de uma metodologia seria para determinar quando as tecnologias estavam prontas para passarem da gerência de ciência e tecnologia para a gerência de projetos, ou seja, quando uma tecnologia sairia da pesquisa e entraria no portfólio de projetos

do Instituto em missões aeroespaciais e de defesa, como informar o nível do desenvolvimento de uma determinada tecnologia a diferentes setores do processo (MALLACO, 2011).

Mais tarde, Mankins (2009 a) publicou em outro artigo uma visão diferenciada da aplicação TRL- *Technology Readiness and risk assessments: A new approach.* Nessa publicação o autor John Mankins propõe tecnologias de prontidão e avaliação de riscos, e define algumas características, como clareza e transparência, iniciando também a abordagem da redução de custos.

Após a publicação de Mankins, em 1995, que estabeleceu e definiu pela primeira vez os nove níveis de TRL e sua aplicação inicial na NASA, a metodologia começou a ser difundida. No ano 2000, o Departamento de Defesa Americano (DoD) adotou a escala TRL da NASA, Agência Espacial Norte-americana (DOD, 2009). Alstom, Google e Raytheon, Embraer, Boeing foram algumas que também utilizaram modificaram essa ferramenta (OLECHOWSKI, 2015; BOEING, 2010).

Atualmente muitas empresas e indústrias de petróleo e gás, assim como empresas do setor aeroespacial e de defesa, adotaram a métrica TRL (BOEING, 2010). O Exército Brasileiro, o Comando da Aeronáutica (COMAER), o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e o Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovação e Comunicações (MCTI) vêm mencionando a importância da escala TRL, que está sendo utilizada por diversas agências espaciais, como a NASA, dos Estados Unidos da América (EUA), a JAXA, do Japão e a ESA.

Em 2003 um pesquisador da AFRL desenvolveu uma calculadora de TRL no Microsoft Excel denominada *TRL calculator*. A indústria de defesa da Turquia, buscando programas eficazes e de desenvolvimento bem-sucedido, criou algoritmos aplicáveis ao *TRL calculator* e o adaptou, aplicando-o em empresas de defesa em Ankara (ALTUNOK, 2010). Como o setor espacial é um gerador de *Spin-offs*, a metodologia de TRL não poderia ser diferente.

Uma pesquisa realizada por Nolte (2011), do laboratório de pesquisa dos EUA, mostrou que a fama TRL difundiu-se para outros 12 setores diferentes, gerando 58 Readiness Levels dos quais 20 são relacionados à maturidade tecnológica: Biomedical Systems; Systems of Systems; Modeling and Simulation Technologies; Learning Systems; Automated Manufacturing Technologies; Healthcare; Practice-based Technologies; Families of Systems; Software Intensive Systems; Chemical Processes; Alternative Fuels Technologies/ Certification; e Platform Technologies.

Em virtude da grande disseminação dos *Readiness Levels*-RLS, atualmente existe uma conferência anual de maturidade tecnológica denominada *Technology Maturity Conference*

(TMC), onde são discutidas e apresentadas novidades a respeito da metodologia (NOLTE, 2011).

A fim de uma padronização de linguagem na área espacial, na aplicação e especificação aprofundando os conceitos e descrições, em 2013 um dos comitês técnicos da *International Organization for Standardization* –ISO criou a ISO 16290:2013 *Space Systems- Definition of the Technology Readiness Levels (TRLs) and their criteria of assessment*, que define critérios e meios de estipular um TRL para o setor espacial.

Para melhor entender os níveis de maturidade tecnológica e seus critérios de avaliação é preciso conhecer as definições de tecnologia e maturidade tecnológica, e a diferença sutil entre essas e a engenharia (MALLACO, 2011).

2.2.3 Métodos de Avaliação TRL

São inúmeras as adaptações existentes atualmente, referentes à aplicação da metodologia de TRL. O processo de aplicação da metodologia vem sendo adaptado e especificado de acordo com a característica da instituição. Para o desenvolvimento da pesquisa foram adotadas as metodologias utilizadas nos Estados Unidos e na Europa.

A NASA apresenta em suas publicações o questionário que aplica para identificar o nível de TRL. O Departamento de Defesa dos Estados Unidos criou o seu guia para aplicação da metodologia, o *Technology Readiness Assessment (TRA) Guidance*.

Os pesquisadores do laboratório da Força Aérea dos Estados Unidos desenvolveram o *TRL Calculator*; a agência espacial europeia criou o seu manual de aplicação da metodologia, o *Handbook*, e em 2013 foi criada a norma de certificação da metodologia para o setor espacial: a ISO 16290:2013.

2.2.3.1. Avaliação TRL- ESA

A Agência Espacial Europeia (ESA), fundada em 1975, é uma organização intergovernamental com sede em Paris, na França, e é composta por 22 estados-membros. Com a finalidade de reduzir substancialmente a incerteza em todas as três dimensões da gestão de projetos - *performance*, orçamento e cronograma - a agência espacial europeia (ESA) adotou a escala TRL, no entanto, desde 18 de junho de 2015 afirma estar utilizando a Norma ISO 16290:2013 para definição da maturidade tecnológica em seus projetos (ESA, 2015).

Antes da publicação e do desenvolvimento da ISO 16290:2013, a agência espacial europeia já utilizava a metodologia TRL em seus projetos (NOLTE, 2003). Em junho de 2015 a ESA passou a usar os critérios estipulados pela ISO 16290:2013 (ESA, 2015). Porém, neste trabalho utilizaremos a metodologia criada em 2008.

Em 2008, a Agência desenvolveu um manual para aplicações do TRL no setor espacial, o *HANDBOOK*, que traz os passos para a aplicação de uma avaliação TRL e a definição de critérios para utilização dos resultados obtidos com essa escala.

Os passos para uma avaliação TRL eficaz, segundo a ESA, consistem em seis etapas gerais a serem analisadas desde o estágio anterior à realização da avaliação TRL até o processo de documentação posterior à avaliação:

- 1- Definição formal dos termos de referência para a avaliação (incluindo calendário, como os dados serão fornecidos para o processo, os critérios detalhados para o TRL, etc.);
- 2- Identificação dos dados de apoio fundamentais (por exemplo, ambiente operacional, sistema de espera aplicações, etc.);
- 3- Identificação dos participantes da avaliação TRL (incluindo a participação adequada de tecnólogos e / ou sistemas de participantes do programa);
- 4- Desenvolvimento e fornecimento de dados de tecnologia para o TRL (muitas vezes incluindo preparatório reuniões e / ou estudos realizados por membros da comunidade de tecnologia envolvida);
- 5- Implementação do próprio TRL (muitas vezes envolvendo reuniões de uma comissão de revisão formal); e
- 6- Desenvolvimento de um relatório da avaliação TRL (HANDBOOK, 2008).

No processo de avaliação da agência espacial europeia uma tecnologia só alcança o TRL depois de satisfazer a todos os critérios pré-estabelecidos. A tecnologia passa por um fluxograma de quatro critérios: descrição, requisitos, verificação e viabilidade (Figura 3).

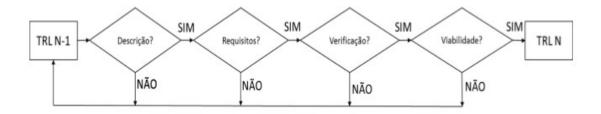


Figura 3- Critérios de Avaliação TRL da ESA (HANDBOOK, 2008).

- **Descrição:** são os detalhes da pesquisa e o desenvolvimento que tem sido realizado, ou a tecnologia que tem sido avaliada.
- Requisitos: é o grau em que se encontra o conhecimento para aplicação da futura tecnologia.
- **Verificação**: é o ambiente no qual ocorreu o teste da nova tecnologia. É semelhante ou o mesmo ambiente onde a tecnologia será usada em operações.
- **Viabilidade:** é o futuro potencial de avanço da tecnologia, incluindo tanto o risco como a viabilidade programática, esforços que devem ser claramente estabelecidos.

O Manual define os requisitos para cada nível tecnológico com base nos critérios mencionados, conforme demonstrado no Quadro 1.

Quadro 1 - Requisito ESA para cada nível tecnológico

TRL	DESCRIÇÃO	REQUISITOS	VERIFICAÇÃO	VIABILIDADE
1	Princípio físico	Necessário capacidade	Analítica ou experimental	
2	Conceito básico	Necessário funcionalidade	Analítica ou experimental	
3	Características chaves da tecnologia	Requisitos básicos	Simulação ou experimental	
4	Tecnologia completa (no laboratório)	Requisitos completos (diminuir alcance e interações)	Experimento rigoroso	Avanço para o próximo nível (N= 1-8)
5	Tecnologia completa e interações (no ambiente relevante)	Requisitos completos (específicos)	Componente testado rigorosamente em ambiente relevante	
6	Tecnologia completa no Sistema ou subsistema	Requisitos completos (Sistema ou subsistema)	Sistema ou subsistema testado rigorosamente em meio ambiente relevante	
7	Tecnologia completa em Sistema ou subsistema	Requisitos completos em espaço ou meio ambiente	Demonstração no espaço	
8	Tecnologia completa em Sistema (fabricado)	Qualificação completa dos requisitos do Sistema	Campanha de qualificação	
9	Fabricação e planos de operação completes	Desempenho e fabricação dos requisitos	Verificação do Sistema operacional/ incluindo a vida dele	Análise de falhas caso seja necessário e a evolução futura da tecnologia

Fonte: Handbook (2008).

O Manual sugere ainda revisões independentes e validação dos resultados, especialmente à medida que o grau de integração de tecnologias individuais aumenta e o ambiente de testes se aproxima do ambiente operacional.

2.2.3.2. Avaliação TRL - NASA

A metodologia de TRL foi criada na NASA na década de 60, desde então algumas modificações foram realizadas. A avaliação realizada pela NASA consiste na aplicação de um questionário e na construção de uma matriz de avaliação TRL, tendo a possibilidade de melhor comparação de uma tecnologia com outra, uma vez que a visibilidade do *status* da tecnologia em um projeto fica mais fácil.

Quanto à aplicação do questionário da NASA, utilizam-se perguntas do maior TRL para o menor. Inicia-se a aplicação metodológica com a pergunta de TRL 9: "Uma unidade idêntica foi lançada/operada com sucesso em configuração/ambiente idêntico?". Com a resposta positiva obtém-se o nível de maturidade como tecnologia de TRL 9. Caso a resposta seja negativa, realiza-se então a segunda pergunta: "Uma unidade idêntica em uma configuração/arquitetura diferente operou com sucesso no espaço ou ambiente alvo ou foi lançada?".

Se a resposta for sim, pré-estipula que a tecnologia esteja em TRL 5 até avaliar as diferenças. Se não, desce para a pergunta de TRL 8: "Uma unidade idêntica foi qualificada em voo, mas ainda não operou no espaço ou ambiente alvo ou foi lançada?" Se a resposta for sim, estipula-se que a tecnologia se encontra em TRL 8. Se a resposta for não, desce para a pergunta de TRL 7 e assim sucessivamente conforme apresentado na Figura 5.

Na última pergunta, obtendo-se resposta positiva a tecnologia encontra-se em TRL 1, caso a resposta seja negativa é preciso repensar a posição com relação à tecnologia analisada, conforme apresenta a Figura 4.

Posteriormente à avaliação de perguntas para obtenção de TRL na NASA, as tecnologias são colocadas na matriz de avaliação para melhor visualização e comparação.

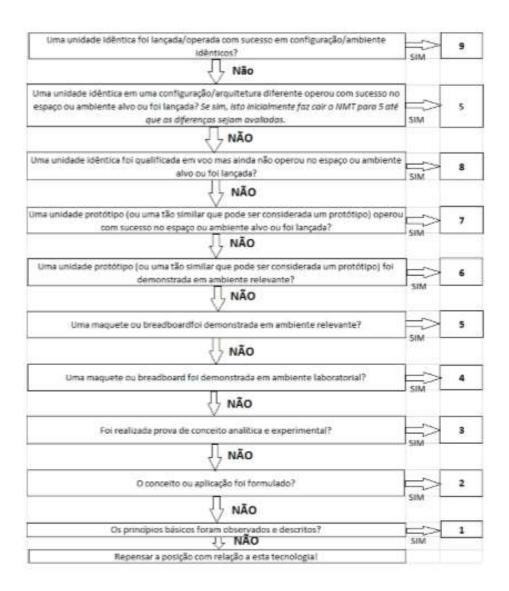


Figura 4- Esquema de aplicação TRL na NASA (MALLACO, 2014).

2.2.3.3. Avaliação TRL - DoD

O Departamento de Defesa dos Estados Unidos (DoD) é um departamento federal responsável pela coordenação e supervisão de todas as agências e funções diretamente relativas à segurança nacional e às forças armadas, sediado no pentágono na Virgínia-EUA. Criado em 1949, tem em seu quadro mais de dois milhões de funcionários entre civis e militares (DOD, 2015).

O processo de aplicação da metodologia de TRL no DoD inicia-se antes da própria avaliação da tecnologia. No DoD, a avaliação é institucionalizada e obrigatória (NOLTE, 2003). Em seu guia de avaliação de TRL, *Guidance* (2011), o Departamento de Defesa dos Estados Unidos define que o processo da avaliação de TRL deve incluir um cronograma alinhado com a estratégia do projeto.

O guia define que realização da avaliação deve passar por etapas. Relata também a participação de pessoas chaves para sua realização e define seu *checklist* contendo definição e informações de apoio para cada nível de TRL. As etapas estipuladas iniciam-se antes da realização da avaliação e acabam com uma pós-avaliação, gerando como resultado um relatório.

São seis as etapas estipuladas pelo DoD:

- 1ª estabelecer um plano e prazo, agendamento da aplicação;
- 2ª formar uma equipe;
- 3ª identificar as tecnologias a serem avaliadas;
- 4ª recolha dos materiais para avaliação;
- 5^a avaliação de TRL; e
- 6ª relatório da avaliação.

O DoD tem pré-estabelecido cargos chaves que participam da avaliação e estabelecem, às pessoas, atividades específicas no processo de avaliação da TRL. São elas: executivo de autoridade máxima; diretor de ciência e tecnologia; gerente de projetos; assistente de pesquisa e engenharia; e equipe de especialistas das tecnologias analisadas.

O processo de avaliação ocorre em cada nível de TRL iniciando pelo TRL 1 até o TRL9. A avaliação é realizada conforme a Quadro 2, que contém a definição geral utilizada, a descrição da atividade realizada e informações de apoio que consistem em um *checklist* a ser realizado.

Quadro 2 - TRL no DoD (continuação)

TRL	Definição	Descrição	Informações de Apoio
1	Princípios básicos observados e relatados	O mais baixo nível de prontidão tecnológica. Pesquisa científica começa a ser traduzida e aplicada em pesquisa e desenvolvimento (P & D). Os exemplos podem incluir estudos em papel de propriedades básicas de uma tecnologia.	Pesquisa publicada que identifica os princípios que estão na base desta tecnologia. Referências a quem, onde, quando.
2	Conceito tecnológico e/ou aplicação formulada	Invenção começa. Uma vez que os princípios básicos são observados, aplicações práticas podem ser inventadas. As aplicações são especulativas, e pode não haver nenhuma prova ou análise detalhada para apoiar as suposições. Os exemplos estão limitados a estudos analíticos.	Publicações ou outras referências que estão fora de linha da aplicação a ser considerada e que fornecem análises para apoiar o conceito.

continuação

3	Prova de conceito experimental e analítica, da função crítica e/ou característica Validação funcional do componente e/ou	Atividade P & D é iniciada. Isso inclui estudos analíticos e estudos laboratoriais para validar fisicamente as previsões de análise de elementos separados da tecnologia. Exemplos incluem componentes que ainda não estão integrados ou representativos. Componentes tecnológicos básicos são integrados para estabelecer que eles vão trabalhar juntos. Isso é relativamente "baixa fidelidade"	Resultados dos testes laboratoriais realizados para medir os parâmetros de interesse e comparação com as previsões analíticas para subsistemas críticos. Referências a quem, onde e quando esses testes e comparações foram realizados. Conceitos do sistema têm sido considerados e os resultados de testes de placa de ensaio (s) em escala de laboratório. Referências a quem fez este trabalho e quando. Fornecer
	"breadboard" em ambiente de laboratório.	em comparação com o eventual sistema. Exemplos incluem a integração de <i>hardware ad hoc</i> no laboratório.	uma estimativa de quanto hardware placa de ensaio e os resultados dos testes são diferentes dos objetivos do sistema esperado.
5	Validação funcional do componente e/ou breadboard em ambiente de relevante.	Fidelidade da tecnologia de placa de ensaio aumenta significativamente. Os componentes básicos tecnológicos estão integrados com os elementos de suporte razoavelmente realistas, de modo que pode ser testado em um ambiente simulado. Exemplos incluem " alta fidelidade " integração de laboratório de componentes.	Os resultados dos testes de sistema de laboratório, placa de ensaio, são integrados com outros elementos de suporte em um ambiente operacional simulado. Como o "ambiente relevante" difere do ambiente operacional esperado? Como os resultados dos testes comparam com as expectativas? Quais os problemas (se houver) foram encontrados? O sistema de placa de ensaio foi refinado para quase coincidir mais com os objetivos do sistema esperados?
6	Demonstração do modelo ou protótipo do sistema/subsistema em ambiente relevante.	O modelo representativo ou protótipo do sistema, que é muito além do TRL 5, é testado em um ambiente relevante. Representa um importante passo em uma tecnologia de prontidão demonstrada. Exemplos incluem o teste de um protótipo em um ambiente de laboratório de alta fidelidade ou em um ambiente operacional simulado.	Os resultados de testes de laboratório de um sistema protótipo que está perto da configuração desejada em termos de desempenho, peso e volume. Como o ambiente de teste é diferente do ambiente operacional? Que realizou os testes? Como o teste de comparação com as expectativas? Quais os problemas (se houver), foram encontrados? Quais são / eram os planos, opções ou ações para resolver problemas antes de passar para o próximo nível?
7	Demonstração do protótipo do sistema em ambiente espacial.	Protótipo perto ou no sistema operacional planejado. Representa um grande passo a partir TRL 6, exigindo a demonstração de um protótipo	Os resultados do teste de um protótipo de sistema em um ambiente operacional. Quem realizou os testes? Como foi o teste comparado com as

		de sistema real em um ambiente operacional (por exemplo, em uma aeronave, em um veículo, ou no espaço).	expectativas? Quais os problemas, se houver, foram encontrados? Quais são / eram os planos, opções ou ações para resolver problemas antes de passar para o próximo nível?
8	Sistema real completo e qualificado em voo por meio de testes e demonstração.	A tecnologia tem sido comprovada para o trabalho em sua forma final e sob condições esperadas. Em quase todos os casos, este TRL representa o fim do desenvolvimento verdadeiro sistema. Exemplos incluem teste de desenvolvimento e avaliação do sistema em seu sistema de armas destina-se a determinar se ele atende às especificações do projeto.	Os resultados dos testes do sistema na sua configuração final sob a gama esperada de condições ambientais em que ele vai ser esperado para operar. Avaliação para determinar se ele irá atender suas necessidades operacionais. Quais os problemas (se houver), foram encontrados? Quais são / eram os planos, opções ou ações para resolver problemas antes de finalizar o design?
9	Sistema real testado em voo por meio de operações com missão alcançada.	Aplicação real da tecnologia em sua forma final e em condições de missão, tais como aquelas encontradas no teste operacional e avaliação. Exemplos incluem o uso do sistema em condições operacionais de missão.	Relatórios de teste operacional e avaliação.

Fonte: DOD (2011).

2.2.3.4. Avaliação TRL AFRL

O Laboratório de Pesquisa da Força Aérea dos Estados Unidos (AFRL- *Air Force Research Laboratory*) é uma organização científica de pesquisa que faz parte do Departamento de Defesa (DoD), dedicada a liderar descoberta, desenvolvimento e integração de tecnologias aeroespaciais. Criado em 1997, tem em seu quadro 5400 funcionários entre civis e militares (ARFL, 2014).

Nolte, W. (2003), pesquisador da *Air Force Research Laboratory* (AFRL), baseado em documentos da NASA e do DoD desenvolveu a ferramenta para avaliar TRL, a *Technology Readiness Assessment Tool*, popularmente conhecida como *TRL Calculator*, um aplicativo de planilhas do Microsoft Excel® que permitem ao usuário responder a uma série de questões além da calculadora que exibe o TRL alcançado.

A criação da ferramenta torna a aplicação da metodologia mais rápida, fácil e dinâmica, facilitando o processo de repetição da aplicação. A padronização da aplicação torna a

metodologia mais acessível na comparação com diferentes tecnologias que podem avaliar tanto *hardware* como *software* (NOLTE, 2003).

A calculadora passou por algumas modificações desde sua criação. Sua primeira versão 1.0, criada em 2001 e divide o conceito de *hardware* e *software*, permitindo ao usuário avaliar cada um deles ou ambos. Posteriormente, em 2007, foram incluídas questões da *Manufacturing Readiness Levels* (MR) e *Programmatic Readiness Levels* (PRL) versão 1.1.

Em 2008 foi criada a versão 2.2, exposta na Figura 5. A versão original foi seguida, porém foram feitas algumas modificações nas escalas para esclarecer os RL ambíguos (DHSS, 2009). As modificações permitiram ao usuário avaliar três tipos de combinações: i) apenas questões de TRL; ii) questões de TRL e MRL ou PRL; ou iii) todas as categorias juntas.

O processo de avaliação inicia-se quando o avaliador opta por um tipo de avaliação: MRL; PRL; e Quadros 3 e 4. Define, então, se a avaliação ocorrerá com *hardware*, *software* ou ambos. O próximo passo é uma série de descrições (questões) relacionadas aos respectivos níveis de maturidade da tecnologia a ser avaliada, iniciando como o processo de avaliação da NASA.

Concluído esse processo e definido em que nível de TRL o pesquisador acredita que se encontra a pesquisa, continua fazendo *checklist* de cada nível de TRL até o nível que julga indicado, podendo definir se tem todos os requisitos básicos de cada TRL.

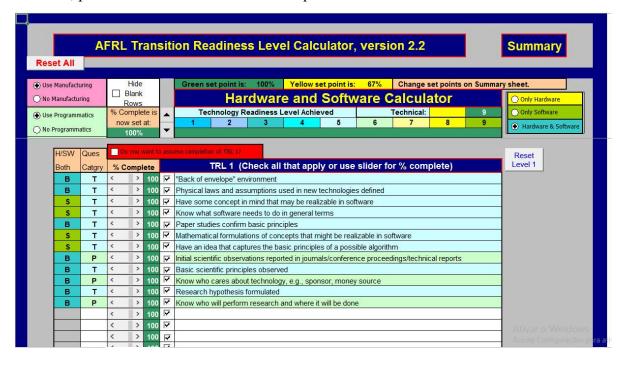


Figura 5- TRL Calculator 2.2 (AFRL, 2016).

Quadro 3 - Definições de MRL

MRL	DEFINIÇÃO DO NÍVEL MLR
3	Desenvolvimento de processos de fabricação
4	Processos críticos de fabricação prototipado.
5	Protótipo de sistemas de fabricação
6	Demonstração da maturidade dos processos de fabricação
7	Processos de fabricação comprovados
8	Conceitos de fabricação identificados
9	Demonstração do processo de produção

Fonte: DHSS (2009).

Quadro 4 – Definições de PRL

PRL	DEFINIÇÃO DO NÍVEL PRL
1	Identificação de conceitos científicos básicos e atores.
2	Estabelecimento de programa com o cliente e tecnologia identificados.
3	Riscos associados ao programa, os requisitos e características de desempenho e medidas são determinados.
4	Equipes de produto integradas e grupos de trabalho para desenvolver e fazer a transição de tecnologia estão estabelecidos.
5	Sistemas metodológicos de engenharia, arquitetura de sistemas e envolvimento do usuário final são estabelecidos.
6	Documentos de requisitos formais, teste final e Plano Diretor de Avaliação e Sistemas Plano de Engenharia estão completos.
7	Verificação finalizada, validação e certificação de sistema.
8	Treinamento e teste de avaliação e documentação estão completos.
9	Segurança e treinamento estão completos.

FONTE: DHSS (2009).

2.2.3.5 Norma ISO 16290:2013 e NBR ISO 16290:2015

A Norma ABNT NBR ISO 16290:2015 é uma versão, em português fiel, do conteúdo técnico da ISO 16290:2013. A ISO atua em diversos países, mas tem um escritório central em Genebra, na Suíça. O International Organization for Standardization ISO é um nome padrão para todos os países. Essa sigla é um derivado do grego ISO, que significa IGUAL (ISO, 2016).

A criação da Norma ISO, aqui estudada, se deve a membros do comitê técnico estabelecido, em que cada membro era representado por uma parte do estudo. Para tanto, foram

envolvidas organizações internacionais governamentais e não-governamentais (ISO 16290, 2013).

A criação da Norma se deu para uma padronização da aplicação e do entendimento do nível de maturidade tecnológica de uma determina tecnologia. Assim:

Esta Norma foi elaborada levando em consideração documentos sobre o assunto disponíveis previamente, incluindo, em particular, aqueles da *National Aeronautics Space Administration* (NASA), do *Department of Defense* (DoD) dos Estados Unidos e de Agências Espaciais Europeias (DLR, CNES e ESA) (NBR ISO 16290, 2015).

A metodologia foi criada com base no setor espacial, como já visto, com ênfase para hardware. Tem-se por conceito de hardware aquilo que é parte física, palpável, deixando em aberto aspectos de avaliação de upgrades e obsolescência de software.

Uma vez que as agências espaciais americana e europeia têm excelência nos projetos que realizam, a Norma tem por objetivo ser útil no setor espacial, porém pode ser utilizada em muitas áreas onde incluí, mas não se limita aos exemplos citados:

- a) Para o monitoramento inicial do desenvolvimentos de tecnologias básicas ou específicas a serviço de uma dada missão futura ou uma família de missões futuras;
- b) Para fornecer um *status* da maturidade ténica de um projeto de futuro, como contribuição para o processo de decisão da execução do projeto;
- c) Em alguns casos, para monitorar o progresso de uma tecnologia durante seu desenvolvimento (NBR ISO 16290, 2015).

A Norma é uma ferramenta de visão do estado atual do projeto ou da tecnologia analisada e não de solução do problema detectado. É utilizada para fornecer um *status* do projeto, para implementação no auxílio ao processo de decisão e para monitorar o progresso da tecnologia.

No mais, a Norma é dividida em quatro capítulos.O primeiro traz a explicação do que vem a ser tratado. Nesse escopo consta que:

Esta Norma define Níveis de Maturidade Tecnológica (TRL). É aplicável principalmente aos materiais relativos aos sistemas espaciais, embora as definições possam, em muitos casos, ser usadas em um domínio mais amplo. A definição dos TRL estabelece as condições a serem atendidas em cada nível, possibilitando uma acurada avaliação do TRL (NBR ISO 16290, 2015).

No segundo capítulo há uma explicação breve do que significa cada elemento citado na Norma, para um entendimento mais padronizado do que vem a ser citado e explicitado (ANEXO 1).

No terceiro capítulo a Norma descreve a metodologia utilizada e os requisitos mínimos para cada TRL. O nível de maturidade é uma evolução em direção à melhoria de processo. Cada nível de maturidade obtém um conjunto de requisitos e conceitos do *status*, provendo a *performance* futura da organização. O conjunto dos processos que atendem cada nível deve estar documentado, e quando satisfeito em todos os níveis o projeto encontra-se pronto para produção em escala.

A Norma define como um pré-requisito, para avaliação, a identificação do elemento que será analisado e os requisitos de desempenho que variam conforme a missão, porém, define apenas os critérios de conclusão dos níveis, deixando à organização o procedimento da aplicação da NBR ISO 16290:2015: "O procedimento detalhado para a avaliação do TRL deve ser definido pela organização ou instituto competente responsável pela atividade."

No quarto capítulo a Norma define a tabela de marcos alcançados e o trabalho documentado, simplificando e explicitando o terceiro capítulo. O processo de avaliação se dá pela análise documental das etapas que foram concluídas, determinando o índice em que a tecnologia se encontra e realizando uma análise de *checklist* dos documentos dos trabalhos com descrição do marco e do nível tecnológico.

Utiliza-se, para tal análise, a Quadro 5 de marcos e resultados alcançados. Quando a tecnologia se encontra no nível máximo de TRL, garante os processos reprodutíveis para a fabricação atendendo aos requisitos do ambiente operacional.

Nível de Maturidade da Tecnologia	Marco alcançado pelo elemento	Trabalho realizado (documentado)	
TRL 1: Princípios básicos observados e relatados	Aplicações potenciais são identificadas após observações de base, mas o conceito do elemento conceito ainda não está formulado.	Expressão dos princípios de base previstos para uso. Identificação de potenciais aplicações.	
		Formulação de aplicações em	
	Formulação de potenciais	potencial. Projeto conceitual	
TRL 2: Conceito e/ou aplicação	aplicações e conceito preliminar	preliminar do elemento,	
da tecnologia	do elemento. Nenhuma prova de	fornecendo entendimento de como	
	conceito ainda.	os princípios básicos podem ser	
		usados.	

Quadro 5 - Marcos e Realizações (continuação)

continuação

TRL 3: Prova de conceito analítica e experimental da função crítica e/ou da característica	O conceito do elemento é elaborado e o desempenho esperado é demonstrado por meio de modelos analíticos suportados por dados experimentais/características.	Requisitos de desempenho preliminares (podem objetivar diversas missões), incluindo definição de requisitos de desempenho funcionais. Projeto conceitual do elemento. Entradas de dados experimentais, definição e resultados de experimentos laboratoriais. Modelos analíticos do element para a prova de conceito.
TRL 4: Verificação funcional em ambiente laboratorial do componente e/ou maquete.	O desempenho funcional do elemento é demonstrado por ensaios com maquete em ambiente laboratorial.	Requisitos de desempenho preliminares (podem objetivar várias missões) com definição de requisitos de desempenho funcionais. Projeto conceitual do elemento. Plano de ensaios de desempenho funcional. Definição da maquete para verificação de desempenho funcional. Relatórios de ensaios com a maquete.
TRL 5: Verificação em ambiente relevante da função crítica do componente	As funções críticas do elemento são identificadas e o ambiente relevante associado é definido. Maquetes não necessariamente em escala real, são construídas para verificar o desempenho por meio de ensaios em ambiente relevante, sujeitos a efeitos de escala.	Definição preliminar dos requisitos de desempenho e do ambiente relevante. Identificação e análise das funções críticas do elemento. Projeto preliminar do elemento, sustentado por modelos apropriados para a verificação das funções críticas. Plano de ensaios das funções críticas. Análise de efeitos de escala. Definição da maquete para a verificação da função crítica. Relatórios de ensaios com a maquete.
TRL 6: Modelo demonstrando as funções críticas do elemento em um ambiente relevante	As funções críticas do elemento são verificadas e o desempenho é demonstrado em ambiente relevante com modelos representativos em formato, configuração e função.	Definição de requisitos de desempenho e do ambiente relevante. Identificação e análise das funções críticas do elemento. Projeto do elemento, sustentado por modelos apropriados para a verificação das funções críticas. Plano de ensaios da função crítica. Definição de modelo para as verificações das funções críticas.

		Relatórios dos ensaios com o
		modelo.
	O desempenho é demonstrado	
	para o ambiente operacional no	
	solo ou, se necessário, no espaço.	Definição de requisitos de
TRL 7: Modelo demonstrando o	Um modelo representativo,	desempenho, incluindo definição
desempenho do elemento para o	refletindo totalmente todos os	do ambiente operacional. Definição e realização do modelo.
ambiente operacional.	aspectos do projeto do modelo de	Plano de ensaios do modelo.
amorente operacionar.	voo, é construído e ensaiado com	Resultados de ensaios com o
	margens de segurança adequadas	modelo.
	para demonstrar o desempenho em	
	ambiente operacional.	
TRL 8: Sistema real completo e	O modelo de voo é qualificado e	Modelo de voo é construído e
aceito para voo ("qualificado para	integrado ao sistema final pronto	integrado no sistema final. Aceitação para voo do sistema
voo")	para voo.	final.
TRL 9: Sistema real "demonstrado	A tecnologia está madura. O	Comissionamento em fase inicial
em voo" por meio de operações	elemento está em serviço com	de operação.
com missão bem-sucedida.	sucesso, para a missão designada, no ambiente operacional real.	Relatório de operação em órbita.

Fonte: NBR ISO 16290 (2015).

3 Contextualização do Problema da Pesquisa

3.1 Quanto ao Setor Aeroespacial

O acesso ao espaço é hoje indispensável ao Brasil. O mercado espacial é relevante pela soberania e autonomia dada ao país que o domina, e pelos fatores econômicos gerados. Cresce em média 6 % ao ano e movimenta bilhões de dólares (PNAE, 2012). Os maiores desafios para desenvolver a atividade espacial são dois: recursos humanos e financeiros.

A realidade da Agência Espacial Brasileira (AEB) difere e muito da americana e europeia. No quadro de colaboradores há um déficit de pessoal de 235 pessoas apenas para funcionamento do instituto de pesquisa IAE, já a AEB sobreviveu até julho de 2016 apenas com funcionários emprestados de outros órgãos.

A NASA tem em seu quadro mais de oito mil colaboradores (SALGADO, 2016; SINDCT, 2016). Em questões monetárias investiu-se apenas 1,94% do que os EUA investiram no setor somente no ano de 2009 (RIBEIRO, 2014).

O investimento não cobre a falta de 318 milhões de reais para desenvolvimento das tecnologias denominadas críticas e conclusão dos projetos existentes, indo contra o programa de investimentos do PNAE para desenvolvimento de tecnologias críticas e de competências (SALGADO, 2016).

Segundo o Programa de Investimento do PNAE, no ano de 2016 foram investidos R\$ 21 milhões em desenvolvimento de competências no setor espacial e R\$ 242,5 milhões em tecnologias denominadas críticas, conseguindo desenvolver 90% das TCs existentes no setor espacial, conforme Figura 6.

A realidade, porém, difere do previsto e o total gasto até 2014 foi de R\$ 9,7 milhões em TC e R\$ 4,9 milhões em desenvolvimento de competências, valores abaixo do estipulado pelo programa de investimento do PNAE, conforme Tabela 2. A realidade é que dadas as exigências e burocracia governamental não foi investido nem o valor total autorizado.

Tabela 2– Comparativo de dinheiro liberado PNAE X Gasto AEB

	Te	ecnologias Crítica	S	Desenvolvimento de Competências		
	Programado	AEB		Programado	AI	EB
	PNAE	AUTORIZADO	GASTO	PNAE	AUTORIZADO	GASTO
	(milhões R\$)	(milhões R\$)	(milhões R\$)	(milhões R\$)	(milhões R\$)	(milhões R\$)
2012	22,5	5,0	3,2	3,0	3,5	1,2
2013	47,5	4,5	3,5	3,0	3,0	1,0
2014	52,5	4,6	3,0	5,0	4,7	2,7

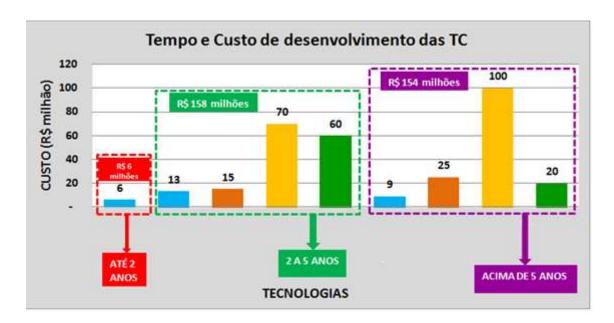


Figura 6 - Tempo e custo de desenvolvimento das TCs (SALGADO, 2016).

O baixo investimento que chega para a finalidade de P&D e a inconstância no incentivo em pesquisa no Brasil deixaram o país atrasado. O País investe somente em P&D com finalidade militar cerca de R\$ 30 milhões por ano, porém o investimento não chega ao seu destino real, pois cerca de 75% do valor investido são gastos com pessoal e informações do setor aeroespacial, conforme Apêndice A (ABDI, 2010; ROSSI, 2015).

Além do baixo investimento um outro problema é a dificuldade de aquisição dos produtos do setor aeroespacial. Ganem (2009) afirma que a Política Espacial Brasileira não possuí uma legislação de compras governamentais. Atualmente o processo de aquisição governamental de produtos é a licitação. Santana Júnior (2011) relata que a dificuldade de especificar todos os requisitos complica o trabalho do solicitante, uma vez que os produtos do setor aeroespacial exigem alto nível de qualidade.

Além dos problemas monetários e de aquisição de produtos o país sofre ainda de restrições e questões de embargos na aquisição de insumos e componentes (PANTOJA, 2011). Silva (2011), tenta suprir os problemas de aquisição de produtos utilizando metodologia de matriz do planejamento integrado da qualidade. A metodologia consiste em uma série de matrizes integradas para mensurar, planejar e gerenciar a qualidade do serviço de forma a manter os clientes satisfeitos especificando os fornecedores e características de qualidade do produto.

Dentre os problemas apresentados faz-se necessária a utilização de uma metodologia de auxílio à gestão de projetos para ampliar a visão dos gestores na manipulação dos recursos

disponíveis. A ferramenta de TRL auxilia os gerentes de projetos nas tomadas de decisão, e sua implementação nos projetos que incluam somente as tecnologias denominadas maduras garantem esses projetos dentro do escopo pré-estabelecido nos quesitos: orçamento, cronograma e desempenho.

3.2 Quanto à metodologia TRL

A metodologia de TRL auxilia na gestão de projetos tecnológicos. Sua relevância é indicada no PNAE (2012), que destaca a importância de impulsionar o avanço industrial no setor espacial, enfatizando que a indústria espacial oferece cada vez mais, e melhor, soluções, produtos e serviços que auxiliam no desenvolvimento de projetos de tecnologias denominadas críticas para o setor espacial (SALGADO, 2016).

A partir de 2013 deu-se a criação da ISO, com definição e padronização dos critérios mínimos estipulados para avaliação de cada TRL. Em 2015 a ABNT publicou a tradução da ISO com a Norma ABNT NBR 16290:2015. No presente estudo foram levantadas cinco formas de avaliar a maturidade da tecnologia com a ferramenta de TRL: Norma ABNT NBR ISO 16290:2015, TRL da NASA, TRL do DoD, TRL do AFRL e TRL da ESA.

Constatou-se, então, a necessidade da criação de uma metodologia para avaliação da TRL adaptada à realidade brasileira. A seção seguinte apresenta as divergências entre as metodologias supracitadas, porque essas metodologias falham em não analisar os pilares econômicos, documentais e políticos-legais no Brasil, abordando apenas os pilares tecnológicos.

A metodologia menos específica encontrada na pesquisa é a Norma, que possibilita aos mediadores da aplicação a decisão e construção de todo o processo de avaliação, não seguindo um padrão. Segundo Olechowski (2015) algumas das falhas mais agravantes encontrados na Norma estão listados a seguir.

- Não avalia *Know-How*, apenas dados documentais.
- Não avalia meios de transferência de conhecimento.
- Não aborda aspectos político-legais, (neste caso, aspectos do Brasil).
- Não padroniza a avaliação.
- Não aborda aspectos econômicos e documentais.
- Não realiza análise quantitativa.

3.2.1 Divergências Metodológicas

Foram identificadas divergências metodológicas em seis etapas do processo de avaliação:

1ª Quando realizar a análise TRL: a ESA relata que a avaliação deve ter no seu primeiro passo a definição formal dos requisitos para a avaliação, incluindo calendário, porém não foi encontrado documentos que identifiquem o prazo, o cronograma ou quem e quais critérios são tomados para o agendamento da aplicação.

A Norma ISO não define os requisitos de mínimos de frequência para realização da avaliação de maturidade tecnológica. A forma de realizar a avaliação fica a critério do instituto competente, assim como quando realizá-la e os pré-requisitos para o mediador que irá realizar a aplicação da metodologia.

No DoD somente são incluídas tecnologias em projetos que já realizaram sua análise. O Departamento afirma ainda que a análise deve ser realizada constantemente. O agendamento, cronograma estabelecido para o acontecimento da avaliação de TRL, ocorre assim que o Gerente de Projeto o define (GUIDANCE, 2011):

O processo de planejamento TRA começa quando o gerente de projeto estabelece um plano para a realização do TRA. Depois que o plano TRA é aprovado pelo diretor do programa, ele é fornecido para o secretário pelo gerente de projeto. O plano de TRA deve incluir um cronograma que alinha com a estratégia de aquisição. Quando uma pré-avaliação do Programa é realizado antes do lançamento, um projeto de TRA será revisto e aprovado pelo diretor do programa e pelo executivo de aquisição e fornecido ao secretário 30 dias antes do programa de revisão. A TRA deve ser finalizada pelo menos 30 dias antes da missão (GUIDANCE, 2011).

A NASA e o AFRL, criador da TRL Calculator, não relatam nos trabalhos encontrados a forma como definem os prazos para realização da avaliação.

2ª Definição da equipe que fará a aplicação: a ESA define em seu *Handbook* (2008) apenas o processo de validação de cada tecnologia e a pessoa encarregada para tal validação de acordo com o grau de TRL, que inclui: a gestão da organização, os tecnólogos envolvidos, pessoal da liderança, gestores e outros participantes no projeto, conforme Quadro 6, porém não define os critérios de escolha de cada participante.

Quadro 6 – Resumo do Processo de Validação da ESA

Nível TRL	Participantes da Validação e Revisão Independente			
TRL 1-3	Os tecnólogos envolvidos na realização de atividades de P & D devem conduzir a revisão e validação dos resultados de TRA. No entanto, mesmo neste nível um TRA deve envolver a participação da gestão da organização de desenvolvimento da tecnologia.			
TRL 4	Revisão Independente e Validação de resultados TRA devem ser conduzidos pela gestão de tecnologia da organização, com a participação de ambos os técnicos envolvidos e a liderança potencial das organizações do sistema.			
TRL 5	Revisão Independente e Validação de resultados TRA devem ser levados cooperativamente pela gestão da organização responsável o desenvolvimento da tecnologia e por que o sistema de prospectiva aplicação das novas tecnologias que estão sendo desenvolvidos. Tecnologistas e participantes do projeto de desenvolvimento de sistema (por exemplo, os gestore s dos subsistemas) devem desempenhar um papel significativo na condução de tais comentários.			
TRL 6-9	Revisão Independente e Validação de resultados TRA devem ser conduzidos pela gestão da organização responsável pelo desenvolvimento da aplicação do sistema potencial das novas tecnologias sob desenvolvimento (ou de operação para TRL 9). Tecnólogos e participantes no projeto de desenvolvimento do sistema (por exemplo, os gestores dos subsistemas) devem desempenhar papéis importantes na condução de tais comentários.			

Fonte: Handbook (2008).

A NBR ISO 16290:2015 não define os critérios utilizados e requisitos mínimos para a escolha de uma equipe para realizar a avaliação TRL. Apenas deixa em aberto que a instituição responsável deve escolher uma equipe para realizar tal atividade, que contenha o conhecimento da missão e do sistema onde irá aplicar a tecnologia: "TRL mais altos requerem também a definição dos requisitos de desempenho e, portanto, requerem o conhecimento da missão e do sistema onde se pretende usar o elemento e seu ambiente operacional." (NBR ISO 16290, 2015).

O DoD estipula, em seu *Guidance* (2011), as pessoas chaves na realização do processo de avaliação de TRL, que são as seguintes: autoridade de decisão máxima, diretor executivo de programa, gerente de projetos, secretário de pesquisa e engenharia e equipe especialista no assunto. O *Guidance* (2011) define ainda o papel de cada especialista, conforme Quadro 7.

Quadro 7 - Atribuições e Responsabilidades dos envolvidos na aplicação TRL DoD (continuação)

Cargo	Atribuições e Responsabilidades
Executivo de autoridade máxima	 Determina-se a aprovar a decisão de incluir em um projeto ou adiar até a tecnologia amadurecer. Determina se as tecnologias do programa podem ser certificadas. No caso das tecnologias não demonstradas num ambiente relevante, determina se os planos de mitigação de riscos propostos pelo gerente de projeto são adequados e, por sua vez, a inclusão ou exclusão da TC.

	- Com o utilizador, determina se o risco pode ser reduzido a um nível
	aceitável pelos requisitos do programa.
	- Aprova plano TRA dos gerentes de projetos e atribui participantes
	adicionais como desejado. - Aprova a lista de tecnologias críticas que apresentam potencial risco para
Diretor de programa de	o sucesso do programa e que serão avaliadas no TRA.
ciência e tecnologia	- Aprova o relatório final TRA e memorando de cobertura e inclui qualquer
ciclicia e techologia	material adicional desejado.
	- Transmite a TRA concluído para secretário de pesquisa.
	- Levanta quaisquer problemas que não podem ser resolvidos com o secretário de pesquisa para a autoridade de decisão máxima.
	- Avalia o risco tecnológico em seu programa
	- Garante financiamento de atividades de redução de riscos do programa
	para assegurar que as tecnologias de alcançar os níveis de maturidade
	apropriadas antes sendo incorporados ao desenho do programa de linha de base.
	- Prepara um plano para a condução da TRA.
	- Financia a TRA e garante que seja realizado apropriadamente.
	- Prepara um projeto de programa de TRA e incorpora a versão aprovada
	em Plano Integrado Master.
	- Atribui membros da equipe de especialistas nos assuntos independentes e informa o diretor executivo do programa final.
	- Familiariza a equipe com programa, o desempenho e os requisitos técnicos
	e os projetos em análise.
	- Identifica possíveis tecnologias críticas para a consideração da equipe.
	- Fornece evidências de demonstração da tecnologia em ambientes relevantes para a equipe para a avaliação, incluindo dados contratante,
	conforme necessário.
Gerente de projetos	- Fornece proposto planos de mitigação de riscos para abordar o risco
	associado as tecnologias críticas para a equipe de especialistas em cada
	assunto independente Fornece conhecimento técnico para a equipe, conforme necessário.
	- Preparar o relatório TRA, que incluirá os resultados, conclusões e outros
	materiais pertinentes elaborados pelos especialistas nos assuntos
	independentes.
	- Prepara o relatório da TRA, que pode incluir informações técnicas consideradas adequadas para apoiar ou em desacordo com as conclusões da
	equipe nos assuntos independentes.
	- Envia a TRA concluída, com comentários da equipe de assuntos
	independentes inalterada, através do diretor do programa ao executivo para
	avaliação e encaminhamento à secretaria de Defesa para Pesquisa de
	Engenharia em conjunto com qualquer informação adicional que o executivo escolhe para fornecer.
	- Determina se uma renúncia à exigência de certificação pode ser
	apropriada, e em caso afirmativo, solicita ao diretor do programa aprovação
	para solicitar uma renúncia.
	- Revê o plano de TRA fornecido pelo gerente de projeto e fornece comentários sobre estratégia de execução.
	- Em conjunto com a equipe de assuntos independentes, analisa a lista de
	tecnologias críticas fornecidas pelo gerente de projetos para recomendar
	adições ou exclusões.
Secretário Assistente de	- Com base no relatório final de TRA, proporciona a uma autoridade de decisão máxima avaliação independente e revisão sobre a tecnologia em que
pesquisa e engenharia	o programa foi demonstrada num ambiente relevante.
	- Se uma renúncia foi solicitada, fornece uma recomendação do decisor de
	autoridade máxima, com as razões, quanto a saber se uma renúncia deve ser
	concedida Recomenda linguagem maturidade da tecnologia para uma decisão de
	aquisição, observando, em particular, as condições sob as quais a nova
	tecnologia pode ser inserida no programa.

- Trabalha em estreita colaboração com o Gerente de Projetos em todo o processo TRA.

- Analisa o desempenho, requisitos técnicos, e projeta estar considerados para inclusão no programa.
- Analisa lista de tecnologias críticas fornecidas pelo Gerente de Projetos para avaliar e recomenda adições ou exclusões.
- A equipe deve fazer recomendações ao gerente de projetos (com fundamentos) sobre as tecnologias que devem ser avaliadas no TRA.
- Avalia se a redução do risco adequada para todas as tecnologias em apreço, incluindo, especificamente, a demonstração em um ambiente relevante.
- A avaliação deve ser baseada em evidências objetivas recolhidas durante os eventos, tais como testes, demonstrações, pilotos, ou simulações baseadas. Se demonstração num ambiente relevante não foi alcançado, irá rever as medidas de mitigação de riscos previstos pelo gerente de projeto e fazer uma determinação quanto à sua suficiência para reduzir riscos a um nível aceitável.
- TRLs vai ser usada como um padrão ou de referência com base em conhecimentos, mas não deve substituir o julgamento profissional sob medida para as circunstâncias específicas do programa.
- Prepara os comentários PME no relatório TRA, incluindo a PME credenciais da equipe e as conclusões da equipe SME, conclusões e evidência de suporte.

Fonte: Guidance (2011).

Especialistas

assuntos independentes

A NASA e o AFRL- TRL Calculator não relatam nos trabalhos encontrados a forma como definem a equipe que fará a avaliação. O processo e o entendimento de quem realiza a avaliação também influencia no resultado final.

3ª Identificação das tecnologias a serem avaliadas: a ESA não publica em seu *Handbook* os critérios para identificação de quais tecnologias serão avaliadas. A NBR ISO 16290:2015 não define os requisitos de escolha de uma tecnologia para realização da sua avaliação, porém define a identificação do elemento que será analisado como um pré-requisito.

No DoD somente são avaliadas as tecnologias consideradas críticas e inclusas em projetos. A NASA e o AFRL, criador da TRL Calculator, relatam nos trabalhos encontrados que fazem a análise TRL em todas as tecnologias inseridas e não inseridas em projetos, e estipulam um TRL a ser alcançado na realização do pré-projeto.

4ª Recolha dos materiais para avaliação: a ESA não publica em seu *Handbook* o processo de recolha de materiais para realização da avaliação pela equipe estipulada. A Norma define seu *checklist* de documentos a serem analisados conforme a terceira coluna do quadro de Marco alcançado e trabalho (documentado).

No DoD é definida a equipe que realizará a avaliação e o papel de cada participante na recolha de materiais e sua avaliação. A NASA utiliza a metodologia da ISO 16290:2013 para realização da sua avaliação, portanto utiliza-se do *checklist* estipulado pela Norma. AFRL não relata nos trabalhos encontrados a forma como faz a recolha dos materiais para sua avaliação.

5ª Avaliação de TRL: a ESA fornece definições e orientações sobre cada um dos nove níveis de prontidão de tecnologia. Primeiramente fornece uma descrição geral do respectivo TRL; depois são inseridas algumas questões para serem colocadas durante a avaliação de prontidão da tecnologia, que são destinadas a facilitar a determinação de um dado TRL de acordo com os critérios pré-estabelecidos pela metodologia. Por último, apresentam alguns exemplos de realizações que caracterizam cada nível.

A NBR ISO 16290:2015 não define um padrão de avaliação a ser seguido, deixando ao critério da instituição. Limita-se à apresentação de cada nível TRL, à descrição de *checklist* de cada marco alcançado no TRL e à descrição dos documentos necessários para cada TRL.

No DoD, o processo de avalição é pouco documentado em seu *Guidance*. Relata apenas que as tecnologias são inseridas no relatório final e que são analisadas, passando por etapas e processos avaliados pelos membros individualmente. Em documentos oficiais publicados pela NASA não há relatos de aplicação da metodologia, há apenas a afirmação, em seu *site*, que utiliza a Norma ISO 16290:2013 para realizar suas avaliações.

O AFRL apenas divulgou sua calculadora de TRL, não deixando claro a forma de aplicação. A calculadora, dentre as metodologias citadas, é a metodologia mais completa, abordando aspectos econômicos, de transferência de conhecimento e de desempenho do projeto. Apenas o TRL Calculator da AFRL aborda aspectos de transferência da tecnologia e avalia não somente o TRL, incluindo também MRL e PRL.

- **6ª Relatório da avaliação:** no DoD há um padrão de relatório final a ser entregue por projeto, relatando as tecnologias avaliadas conforme apresenta em seu *Guidance* (2011). O seguinte esboço é o modelo apresentado no documento citado:
 - 1.0 Finalidade deste documento
 - 2.0 Sumário Executivo
 - 3.0 Visão Geral do Programa
 - 3.1 Objetivo do Programa
 - 3.2 Descrição do Programa
 - 3.3 Descrição do sistema
 - 4.0 Tecnologia Programa de Riscos Resumo e Readiness Assessment
 - 4.1 Descrição do Processo
 - 4.2 Identificação das Tecnologias Avaliadas
 - 4.3 Demonstração tecnologia num ambiente relevante e avaliação da TC
 - 4.3.1 Primeira Tecnologia
 - 4.3.2 Segunda Tecnologia...

5.0 Resumo

A NBR ISO 16290:2015 não define um tipo, padrão de relatório final das tecnologias avaliadas, deixando a critério da instituição. A ESA, NASA e AFRL também não relatam em suas publicações um padrão de relatório/apresentação dos resultados das avaliações.

4 Proposta da Metodologia para Avaliação do TRL

A presente metodologia tem o objetivo de facilitar e viabilizar a aplicação da ferramenta de gestão TRL. Auxilia os tomadores de decisão na obtenção do entendimento comum do estado da tecnologia - *status*. A decisão quanto à forma de ligação entre a avaliação TRL e a utilização real de uma dada tecnologia em um programa/projeto de aplicação específico está fora desse contexto. A criação da metodologia de avaliação limita-se somente aos aspectos das divergências metodológicas.

A aplicação de TRL proposta tem por objetivo adaptar a avaliação de TRL para o cenário brasileiro. Além das relevâncias citadas na contextualização do problema, ressalta-se que sofremos embargos na aquisição de produtos e no desenvolvimento de tecnologias consideradas críticas, o país sofre também com perda de conhecimento de tecnologias já desenvolvidas e perda de mão de obra qualificada (PANTOJA, 2011).

A presente metodologia enquadra a avaliação das tecnologias com a Norma ABNT NBR ISO 16290:2015, abordando aspectos utilizados pela NASA, DoD, ESA e o *layout* utilizado pelo AFRL- *TRL Calculator*, incluindo critérios abordados pelas ferramentas de gestão estratégica.

A metodologia foi criada com base nas etapas levantadas em contextualização do problema com aspectos divergentes das instituições analisadas, conforme Figura 7, e descritas a seguir.



Figura 7- Etapas de aplicação da metodologia de TRL desenvolvida.

4.1 Decisão da Aplicação

Identificar o tempo quando realizar uma avaliação que depende da decisão da alta gestão da instituição competente (GUIDANCE, 2011) e a decisão inicial da avaliação é relevante à sua

frequência. A decisão inicial de realizar a avalição deve vir de um chamado do processo de avaliação, e a sua frequência pode ocorrer de duas formas: ter uma frequência pré-estabelecida ou somente quando muda algo no projeto ou na tecnologia.

Olechowski (2015) refere-se à mudança como adaptação, *up grade*, troca de um componente por outro, o que na prática contradiz a teoria da NASA: não se refaz a análise de todo o projeto, apenas do aspecto modificado. A NBR ISO 16290:2015 não se manifesta a respeito da frequência da aplicação.

4.2 Definição da equipe

A NBR ISO 16290:2015 preconiza que a equipe que realizará a avaliação deve ter conhecimento da missão, do sistema e do ambiente operacional; características essas identificadas também pela equipe de avaliação da ESA (NBR ISO 16290, 2015; HANDBOOK, 2008). Como pessoas essenciais para avaliação identificam-se: o pesquisador, conhecedor da tecnologia avaliada; o gestor responsável pela missão do projeto; e o conhecedor do ambiente operacional.

Como sugestão para realização da avaliação propõe-se a presença do facilitador como membro externo. O facilitador é um membro da organização com conhecimento especializado do processo de avaliação, cujo foco está em forçar a objetividade e orientar o processo (FERENCE, 2012).

4.3 Identificação das tecnologias

A NBR ISO 16290:2015 preconiza que deve existir a identificação do elemento a ser avaliado. Como processo de identificação das tecnologias a serem analisadas sugere-se o processo de avaliação completa, ou seja, dentro de um projeto realizar a avaliação em todas as tecnologias. Esse processo confirma a visão de Olechowski (2015) e da NASA, que definem que para um projeto, uma TRL completa precisa avaliar todos os itens, por mais exaustivos e impraticáveis que sejam (NASA, 2007).

4.4 Recolha dos materiais

A avaliação deve ser realizada por meio de *checklist*, conforme descrito na NBR ISO 16290:2015. O *checklist* documental deve ser realizado juntamente com a equipe definida de

cada tecnologia, em reuniões de avaliação. Para realização da avaliação é necessário o aporte total da documentação do projeto (tecnologia) a ser avaliado.

4.5 Avaliação TRL

A metodologia de avaliação ocorre em três passos, conforme conforme demonstrado na Figura 8.



Figura 8 - Etapas do processo de avaliação da metodologia desenvolvida.

- Passo 1- Demonstração da metodologia de avaliação TRL: o primeiro passo consiste em uniformizar o conhecimento do que vem a ser TRL aos respondedores da avaliação (equipe definida para realizar a avaliação).
- **Passo 2-** Dados da tecnologia a ser avaliada: o segundo passo consiste na identificação e enquadramento da tecnologia a ser avaliada.
- **Passo 3** Avaliação TRL: a avaliação consiste num questionário a ser respondido e no *checklist* a ser realizado para concluir o TRL alcançado.

Como contribuição para a presente pesquisa desenvolveu-se uma ferramenta, o aplicativo denominado Calculadora TRL IAE/ITA-2016-1 no *software Microsoft Excel*. O aplicativo, cujo *layout* foi desenvolvido baseado no *TRL Calculator* do AFRL, viabiliza a aplicação da metodologia. Objetiva facilitar a avaliação deixando-a mais dinâmica, padronizada e agilizando a obtenção do resultado, tornando-o imediato.

Os recursos do *software* viabilizam a comparação dos resultados da avaliação TRL dos critérios de *checklist* da NBR ISO 16290:2015 com os resultados da avaliação da Calculadora TRL IAE/ITA-2016-1 proposta. A descrição dos passos, juntamente com a demonstração da contribuição da ferramenta desenvolvida são descritas a seguir:

Passo 1 - Demonstração da Metodologia de avaliação TRL na página inicial do aplicativo Calculadora TRL IAE/ITA-2016-1, no *software* Microsoft Excel, tem-se o conceito

de TRL conforme demonstrado na Figura 9. Essa ferramenta de gestão é utilizada para auxiliar os gestores e tomadores de decisão.

A metodologia viabiliza um entendimento comum aos gestores, técnicos e pesquisadores, enfim, aos interessados. Possibilita a todos o entendimento comum do *status* do aspecto em que se encontra a tecnologia, facilitando os *feedbacks*, a visão para comparação de tecnologias e futuras tomadas de decisão.



Figura 9 - Página inicial da Calculadora TRL IAE/ITA-2016-1.

Na mesma página encontra-se a possibilidade da consulta ao resumo dos critérios para cada nível de TRL, o *checklist* citado da Norma ABNT NBR ISO 16290:2015 (Tabela 7), descrevendo o nível de maturidade, o marco alcançado pelo elemento e o trabalho realizado, conforme documentado na Figura 10.

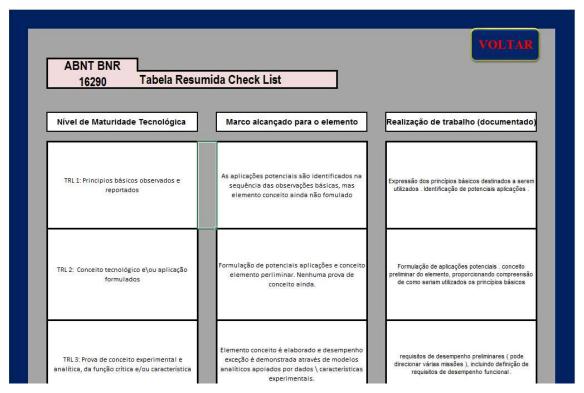


Figura 10 - Consulta dos requisitos da Norma (NBR ISO 16290, 2015).

Com a finalidade de facilitar a manipulação da calculadora o aplicativo disponibiliza botões macro de apoio: VOLTAR (Figura 10), para sair da página de consulta da calculadora e voltar à página inicial, e INICIAR (Figura 9) para direcionar a próxima etapa da aplicação: o passo 2.

Passo 2- Dados da Tecnologia: neste segundo passo da avaliação o mediador, que é a pessoa responsável pela manipulação do aplicativo no *software* e aplicação da metodologia na avalição, responde às questões de fichamento da tecnologia: nome da tecnologia, responsável pela tecnologia (nome do respondedor das questões) e data da avaliação.

Posteriormente, o respondedor identifica o grupo de TRL que ele pretende alcançar. Os níveis de TRL foram agrupados conforme Quadro 8.

O aplicativo no Excel abrirá somente as questões até o grupo de TRL que o respondedor almeja alcançar na avaliação. Para comparação e melhor análise do resultado devem ser respondidas todas as questões do grupo estipulado. Após determinar até qual grupo pretendese alcançar nesse projeto, segue-se para a definição do nível de tolerância a ser utilizado.

Quadro 8 - Ciclo de TRL

Nível de TRL	Grupo de TRL	Descrição do Grupo de TRL			
1 a 3	Pesquisa e Desenvolvimento (P & D)	Atividades de pesquisa e exploração da tecnologia, descobrimento e formulação do conceito da tecnologia a ser desenvolvida.			
4 a 6	Construção da Tecnologia	Desenvolvimento do conceito da tecnologia e aplicação (protótipo), prova experimental da tecnologia realizada em ambiente laboratorial relevante.			
7 a 9	Validação e Produção	Demonstração em ambiente aeroespacial, sistema qualificado e missão alcançada, possibilidade de reprodução em escala, processo de parceria e transferência tecnológica para indústria.			

Com o objetivo de incluir métodos quantitativos para avaliação na ferramenta utilizou-se o grau de tolerância, também utilizado no *TRL Calculator*. Esse grau é o percentual aceito para conclusão de um TRL na avaliação das questões desenvolvidas que estarão no próximo passo, portanto, o total do comprimento dos critérios das questões deve chegar ao percentual estipulado para que possa mudar para o próximo nível de TRL (Figura 11).

A tolerância pode ser modificada no aplicativo, caso haja necessidade identificada pelo gestor responsável pela avaliação. Assim como no AFRL, utiliza-se a tolerância de 85% de cumprimento dos requisitos. Para poder passar para o próximo nível de TRL, a tecnologia pode não cumprir 15% dos requisitos estipulados pelo TRL analisado, sucessivamente do TRL 1 ao TRL 9.

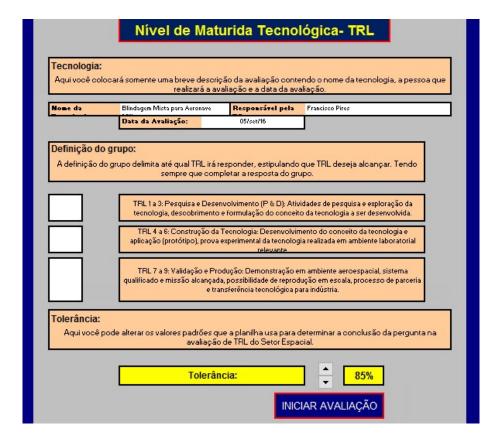


Figura 11 - Dados da Tecnologia.

Após a conclusão do segundo passo, em que o respondente finaliza as questões de fichamento da tecnologia (nome, respondente e data da avaliação), estipula-se o ciclo desejado e o percentual aceito de tolerância. Aperta-se no aplicativo a macro disponibilizada INICIAR AVALIAÇÃO para viabilizar a etapa seguinte: o passo 3.

Passo 3- Avaliação TRL: o terceiro passo da avaliação ocorre com um questionário, em que o entrevistado responde a uma quantidade de questões referentes a um mesmo nível de TRL. Para cada nível há questões da NBR ISO 16290:2015 que correspondem ao *checklist* supracitado e questões extras desenvolvidas com base no cenário brasileiro e nos conteúdos apresentados pelas instituições analisadas.

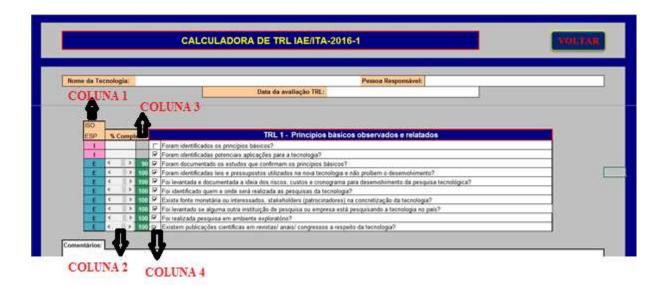


Figura 12- PASSO 3- Avaliação TRL.

O processo de resolução do questionário, como demonstrado na Figura 12, acontece da seguinte forma: na coluna 1 há dois tipos de questões assinaladas com as letras I e E. As marcadas com a letra I são referentes ao *checklist* da NBR ISO 16290:2015 e somente são respondidas se atendem ou não ao critério estipulado, selecionando o quadrado na coluna 4.

As questões marcadas com a letra E são respondidas em percentual já realizado, que pode ser estipulado de 0 a 100, sempre múltiplo de 5. Para responder e marcar o percentual já realizado basta rolar a barra com o auxílio das setas na coluna 2 de '% completo', e o valor do percentual desejado aparece na coluna 3.

Esse processo de avaliação acontece em todas as questões desenvolvidas. Cada nível de TRL apresenta um conjunto de questões que foram desenvolvidas na metodologia proposta, aqui chamada de questionário de TRL.

4.5.1 Questionário de TRL

O questionário atende às especificações NBR ISO 16290:2015 e incluí questões de gestão estratégica, abordando aspectos qualitativos, quantitativos, análises do ambiente interno e externo do projeto, buscando melhorar a conclusão e especificação do nível de TRL. O questionário é composto por 89 questões (Figura 14) agrupadas em temas, conforme a Figura 13.



Figura 13 – Temas das Questões de TRL desenvolvidas.

TIPO DE QUESTÃO						
NÍVEL DE TRL	ISO	*	***************************************			Nº TOTAL DE QUESTÕES
1	2	0	2	2	4	10
2	1	3	2	1	2	9
3	3	4	1	1	1	10
4	2	3	2	1	2	10
5	5	3	0	1	1	10
6	2	5	0	0	0	7
7	3	4	1	0	1	9
8	1	5	3	1	2	12
9	2	6	2	1	1	12

Figura 14 - Numéro de questões desenvolvidas em cada tema.

Foram incluidas questões pertinentes à avaliação de projeto, como questões qualitativas, quantificando-as e analisando os aspectos internos e externos da empresa como:

 Tecnológicas: as questões tecnológicas são pertinentes à confirmação da descrição da NBR ISO 16290:2015.

- Econômicas: as questões econômicas abordam análise de risco e desenvolvimento do projeto (cronograma, orçamento).
- Político-legais: as questões político-legais são relacionadas à viabilidade de desenvolvimento, possibilidade de embargos de desenvolvimento e questões legais.
- Documentais: as questões documentais são relacionadas à gestão do conhecimento,
 que deve ser documentado, uma vez que o desenvolvedor não pode reproduzi-lo.

O desenvolvimento das questões ocorreu como formação de um ciclo concluído conforme o agrupamento das TRL, em que: i) o Ciclo P&D entrega a pesquisa teórica tecnológica; ii) o Ciclo de Desenvolvimento entrega o protótipo pronto; e iii) o Ciclo de Produção entrega o produto já testado em ambiente real que pode ser reproduzido pela indústria.

I - Ciclo P&D

O Ciclo de pesquisa e desenvolvimento se dá na construção da teoria da tecnologia, formulação e validação da pesquisa para futuro desenvolvimento de protótipo. A metodologia busca validar e aprofundar os conceitos utilizados na Norma NBR ISO 16290:2015 e no descritivo de cada TRL.

No TRL 1, os princípios básicos são observados e relatados; no TRL 2 o conceito tecnológico e a aplicação são formulados; e no nível de TRL 3 há prova do conceito definido da função crítica e/ou característica da tecnologia.

No descritivo da Norma (2015) tem-se por **TRL 1**:

Existe pesquisa científica relacionada à tecnologia a ser avaliada e começa a ser convertida em pesquisa aplicada e desenvolvimento. Princípios de base estão observados e relatados por meio de pesquisas do tipo acadêmicas. Potenciais aplicações estão identificadas, mas requisitos de desempenho ainda não estão especificados.

Em TRL 1 nenhuma missão específica pode ser associada à tecnologia, pois os conceitos e/ou aplicações só são formulados em TRL 2. Portanto, os requisitos de desempenho podem não estar definidos neste estágio (NBR ISO 16290, 2015).

As questões 1 e 2 foram construídas conforme exigência de realização descrita na Norma NBR 16290:2015.

Questão 1 - Foram identificados os princípios básicos?

Questão 2 - Foram identificadas potenciais aplicações para a tecnologia?

Com a finalidade de garantir melhoria na gestão do conhecimento, em guardar as informações para possível reprodução e consultas futuras, houve a preocupação de documentar os estudos realizados, validando a informação proposta pela NBR ISO 16290:2015 com estudos de confirmação, e ressaltando a preocupação em salvar e não perder o conhecimento adquirido foi desenvolvida a questão 3.

• Questão 3- Foram documentados os estudos que confirmam os princípios básicos?

A realidade encontrada para produzir desenvolvimento tecnológico nos institutos é de sofrimento por causa dos inúmeros entraves burocráticos que inviabilizam a pesquisa, portanto é preciso garantir que foram analisadas as leis, seus pressupostos e possível proibição de desenvolvimento da tecnologia que inviabiliza o projeto de pesquisa.

Um exemplo são tecnologias utilizadas para a produção de misseis, que passam por rigorosa legislação e muitas vezes são proibidas de desenvolvimento com base no Regime de Controle de Tecnologia de Mísseis (MTCR, sigla em inglês de *Missile Technology Control Regime*). Nesse contexto deu-se a elaboração da questão 4.

• Questão 4 - Foram identificadas as leis e pressupostos utilizados na nova tecnologia que não proíbem o desenvolvimento?

No Brasil, a viabilização de recursos financeiros para pesquisa de base necessita de uma proposta de projeto apresentada a instituições de fomento, como CNPq, CAPES e FAPESP. Dados os inúmeros atrasos em cronogramas e estouros de orçamentos de projetos como citados pelo GAO, viu-se a necessidade de prospecção de custos e prazos em todas as etapas, incluindo a de levantamento de dados, que consta na questão 5.

Outro aspecto analisado é a identificação, na etapa inicial, do local e da pessoa/equipe que realizará o levantamento da pesquisa a respeito da tecnologia. Esses elementos devem ser estipulados no início do projeto e constar na sua proposta, de acordo com a questão 6.

- Questão 5 Foi levantada e documentada a ideia dos riscos, custos e cronograma para desenvolvimento da pesquisa tecnológica?
- Questão 6 Foram identificados quem e onde serão realizadas as pesquisas da tecnologia?

As pesquisas para projetos são desenvolvidas com recursos governamentais e/ou privados. É de suma importância, na aprovação de um projeto de recurso governamental, a existência e interesse de futuros clientes da tecnologia, embora na descrição da TRL 1 na NBR ISO 16290:2015 define-se que nenhuma missão específica deve ser associada à tecnologia.

Esse fato se contrapõe à realidade brasileira, pois sem *stakeholders* (patrocinadores) interessados não se produz pesquisa nem conhecimento, dada restrição dos recursos. A questão 7 aborda esse quesito.

• Questão 7: Existe fonte monetária ou interessados, *stakeholders* (patrocinadores) na concretização da tecnologia?

Para finalizar os princípios de base observados e relatados e analisar o TRL 2, levantase a preocupação da pesquisa exploratória a respeito da tecnologia, conforme a questão 8, que aborda esse tipo de pesquisa como levantamento de possíveis pivotamentos e aplicações diversas da pesquisa para outras aérea, e até mesmo exploração de possíveis parcerias com outras instituições públicas e/ou privadas para pesquisa e desenvolvimento da nova tecnologia como fonte de parceria.

Destrinchada a pesquisa exploratória deu-se a elaboração das questões 9 e 10, que futuramente viabilizam e complementam a questão 7, referente à captação de *stakeholders*.

- Questão 8 Foi realizada pesquisa em ambiente exploratório?
- Questão 9 Foi levantado se alguma outra instituição de pesquisa ou empresa está pesquisando a tecnologia no país?
- Questão 10: Existem publicações científicas em revistas/ congressos a respeito da tecnologia?

No descritivo da Norma (2015) tem-se por TRL 2:

Uma vez que os princípios de base foram observados, aplicações práticas podem ser inventadas. As aplicações são especulativas e pode não haver prova ou análise detalhada para dar suporte às suposições.

Em TRL 2, os requisitos de desempenho do elemento são gerais e definidos de maneira abrangente, porém consistentes com qualquer conceito ou aplicação formulados (NBR ISO 16290, 2015).

Após a realização da pesquisa em ambiente exploratório e levantamento dos princípios básicos da tecnologia é necessário o levantamento de pesquisa em ambiente de trabalho (laboratorial) com a finalidade de identificar as principais funções a serem desempenhadas e formular as potenciais aplicações da tecnologia.

Como pressuposto e confirmação da exigência da Norma NBR ISO 16290:2015, conforme a questão 1, foram formuladas as questões 2 e 3.

• Questão 1: Foram formuladas as potenciais aplicações?

Formuladas as principais aplicações da tecnologia, iniciam-se as pesquisas em ambiente de trabalho (questão 2) com caráter ainda exploratório já identificando as principais funções a serem desempenhadas pela tecnologia (questão 3).

- Questão 2 Foi realizada pesquisa em ambiente de trabalho?
- Questão 3- Foram identificadas as principais funções a serem desempenhadas pela tecnologia?

A preocupação com a gestão do conhecimento na formulação das potenciais aplicações nos possíveis projetos onde será inserida a tecnologia vem com a sua confirmação por estudos na questão 4.

Questão 4: Foi documentada a viabilidade das aplicações confirmadas por estudos?

Realiza-se o levantamento da confirmação dos aspectos analisados em TRL 1 nas questões 5 e 7, que levantam a viabilidade da tecnologia. Em TRL 2 a tecnologia já está com o conceito sendo formulado. É necessária a identificação da funcionalidade da tecnologia (visão da aplicação final, questão 5) e exploração dos possíveis GAPs que ela terá, conforme a questão 6.

- Questão 5 Foi identificada a funcionalidade da tecnologia?
- Questão 6 Foram identificados e documentados possíveis GAPs da tecnologia?

Em caráter exploratório e na construção dos projetos com finalidade de liberação de financiamento dos órgãos de fomento no processo de validação e formulação da tecnologia é relevante a identificação: i) de quais projetos ela irá apoiar, de acordo com as questões 7 e 8; ii) quais projetos, clientes, a tecnologia terá; e iii) se o há interesse na aplicação (questão 9).

Esses aspectos podem possibilitar possível transferência de conhecimento futuro, intensificando a pergunta no TRL 1 em que a tecnologia já identifica os possíveis clientes, aprofundando a preocupação na gestão para não perder o conhecimento.

- Questão 7 Sabe que programa (projeto) a tecnologia vai apoiar?
- Questão 8 Foram identificados os potenciais clientes?
- Questão 9 O cliente demonstra interesse na aplicação?

No descritivo da Norma (2015) tem-se por TRL 3:

A prova da função ou da característica do elemento é feita por análise, incluindo modelamento e simulação, e por experimentação. A prova deve incluir tanto estudos analíticos, para colocar a tecnologia em um contexto apropriado, quanto experimentos laboratoriais ou medidas para dar suporte físico às predições analíticas e modelos. Em TRL3, os requisitos de desempenho do elemento são gerais, definidos de maneira abrangente e podem ser preliminares. Eles são consistentes com qualquer conceito ou

aplicação formulada. Os requisitos de desempenho funcional do elemento estão estabelecidos e os objetivos estão definidos em relação ao atual estado da arte (NBR ISO 16290, 2015).

As questões 1, 2, e 3 foram construídas com base nos requisitos da Norma NBR ISO 16290:2015.

- Questão 1 Foi concretizada a realização do projeto conceitual do elemento e documentado?
- Questão 2 Foi verificada a viabilidade da aplicação por experimentos de laboratório (simulação)?
- Questão 3 Foram especificados os requisitos de desempenho da tecnologia?

Com o fechamento da tecnologia no ciclo de pesquisa e realizados testes laboratoriais, já existe a possibilidade de identificação dos possíveis GAPs da tecnologia, dai a elaboração da questão 4.

 Questão 4 -Foram identificados os possíveis defeitos da tecnologia em experimentos de laboratório?

No próximo ciclo, o do desenvolvimento, as tecnologias já trabalharão juntas em um projeto. Dai a necessidade de identificação da visão sistêmica da tecnologia (questão 5).

 Questão 5- Foram identificados e documentados os componentes que devem trabalhar juntos (visão sistêmica)?

No Brasil, os recursos para desenvolvimento da tecnologia são escassos. Para uma possível liberação e aprovação do projeto nos órgãos de fomento é interessante a demonstração da viabilidade científica da tecnologia para sua aprovação, conforme questão 6.

• Questão 6 - Foi plenamente demonstrada a viabilidade científica da tecnologia?

O processo de pesquisa da tecnologia encontra-se finalizado e iniciará o processo de desenvolvimento do protótipo. Para o desenvolvimento é necessário o conhecimento das técnicas de desenvolvimento da tecnologia (questão 7); os conceitos para sua fabricação (questão 8); os componentes chaves para a produção (questão 9); e a documentação na visão de projetos do protótipo em custos, riscos e cronograma para desenvolvimento e aprovação em órgãos de fomento (questão 10).

- Questão 7- Foram identificadas e desenvolvidas as técnicas de desenvolvimento da tecnologia?
- Questão 8 Foram avaliados os conceitos de fabricação da tecnologia?
- Questão 9 Foram identificados os componentes chaves para fabricação?

• Questão 10-Foi documentada a ideia de riscos, custos e cronograma para o desenvolvimento do protótipo?

No TRL 3 ocorre a finalização da etapa de P&D e a tecnologia passa por testes laboratoriais iniciais. Com o projeto conceitual já realizado ocorrem as confirmações laboratoriais. Verifica-se a viabilidade da aplicação e inicia-se a identificação dos possíveis GAPs com pesquisas laboratoriais, obtendo então o modelo do elemento para produção do protótipo no ciclo de desenvolvimento, na verificação funcional em ambiente laboratorial do componente e/ou maquete.

II - Ciclo de desenvolvimento

No descritivo da Norma (2015) tem-se por TRL 4:

Uma maquete de laboratório do elemento é integrada para estabelecer que as peças funcionam bem juntas na demonstração do desempenho funcional básico do elemento. A verificação é de "baixa fidelidade", comparada com o sistema final, e está limitada ao ambiente de laboratório.

Em TRL 4, da mesma forma que em TRL 3, os requisitos de desempenho do elemento são gerais e definidos de maneira abrangente. Eles são consistentes com quaisquer potenciais aplicações em sistemas. Os requisitos de desempenho funcionais do elmento são estabelecidos e os objetivos estão definidos em relação ao atual estado da arte (NBR ISO 16290, 2015).

Na segunda etapa ocorre o desenvolvimento do protótipo. A primeira análise é a validação dos componentes separados em ambiente de laboratório. A realização dos testes identifica as possíveis falhas tecnológicas em testes laboratoriais, conforme descrito nas questões NBR ISO 16290:2015, questões 1 e 2.

- Questão 1-Foi realizado o projeto conceitual da tecnologia?
- Questão 2- Foram realizados os relatórios de teste da placa de ensaio (*breadboard*)?

Para realização do projeto conceitual da tecnologia e realização dos relatórios dos testes do *breadboard* vê-se a necessidade de testes individuais realizados em laboratório (questão 3). Com a realização dos testes e para descrição do projeto tem-se a identificação dos possíveis GAPs da tecnologia com os testes laboratoriais (questão 4).

 Questão 3: Foram testados os componentes individuais em laboratórios e realizados relatórios? • Questão 4: Foram totalmente identificados os possíveis GAPs da tecnologia?

Identificada e confirmada a definição dos usuários finais no ciclo de P&D da tecnologia é necessária a identificação dos usuários finais para uma possível validação dos componentes de laboratório, já que podem requerer requisitos específicos (questão 5).

 Questão 5 - Foram identificados os requisitos gerais do sistema para aplicação aos usuários finais?

Com a exigência NBR ISO 16290:2015 do projeto conceitual da tecnologia finalizado inicia-se o estabelecimento das métricas de desempenho da tecnologia (questão 6); custos (questão 7); e cronograma para possível desenvolvimento do protótipo (questão 8).

- Questão 6 Foram estabelecidas as métricas de desempenho da tecnologia?
- Questão 7 Foram identificados os custos para desenvolvimento do protótipo?
- Questão 8 Foi elaborado o cronograma para desenvolvimento do protótipo?

O programa de gestão de risco da tecnologia inicia-se no protótipo (questão 9), dada a iniciação do desenvolvimento da tecnologia e possível integração ao projeto final (questão 10).

- Questão 9- Foi iniciado o programa de gestão de risco do protótipo?
- Questão 10 Foram iniciados os estudos de integração da tecnologia ao projeto final?

TRL 5- Verificação em ambiente relevante da função crítica do componente e/ou maquete.

O TRL 5 é atingido quando as funções críticas do elemento são demonstradas em ambiente relevante, usando maquetes apropriadas, as quais geralmente não têm escala real nem todas as funções. O desempenho no ensaio está de acordo com as predições analíticas.

Em TRL 5, os objetivos da missão e o ambiente operacional são preliminares, mas suficientemente compreendidos para permitir uma definição preliminar de requisitos de desempenho do elemento, ambiente relevante associado e projeto preliminar do elemento. Requisitos em falta ou incompletos são aceitáveis neste estágio na medida em que isto não afeta a identificação das funções críticas do elemento e o plano de verificação associado.

Para atingir TRL 5, as funções críticas do elemento são identificadas, requerendo verificação específica, e o ambiente relevante correspondente é definido. Com relação à identificação das funções críticas, os requisitos de escala são definidos e um plano de verificação é estabelecido e os ensaio com maquetes são executados com sucesso para assegurar o desempenho do elemento e remover as incógnitas.

As maquetes podem ser adaptadas para as necessidades de verificação da função crítica, mas devem ser representativas do elemento, conforme necessário para a

remoção, sem ambiguidade, das incógnitas e demonstração do desempenho do elemento.

Quando o TRL 5 é atingido, a exequibilidade do elemento pode ser considerada como demonstrada, embora sujeita a problemas de escala, já que o desempenho das funções críticas está verificado por meio de ensaios com maquete no ambiente relevante. Neste estágio, os requisitos de desempenho do elemento são frequentemente consolidados, a partir dos ensaios de verificação com maquetes. No entanto, o desenvolvimento do elemento não está totalmente garantido, devido às incertezas resultantes dos efeitos em escala. Há também riscos remasnescentes associados com uma falha na identificação das funções críticas, uma falta de integridade no plano de verificação associado e/ou uma subestimativa dos efeitos de acoplamento entre as peças do elemento que tornam o (s) modelo (s) inapropriado (s) para remover incógnitas (NBR ISO 16290, 2015).

São exigências da NBR ISO 16290:2015, que confirmam a validação oficial do componente em ambiente laboratorial para finalização do protótipo da tecnologia (questões 1 a 5) a realização dos testes com relatórios; levantamento de definição preliminar dos requisitos da tecnologia no ambiente relevante; realização do projeto preliminar; identificação das funções críticas; e efeitos da criticidade em escala.

- Questão 1- Foi realizada a definição preliminar de requisitos de desempenho no ambiente relevante?
- Questão 2 Foi realizado o projeto preliminar do elemento, suportado por modelos apropriados para a verificação das funções críticas?
- Questão 3- Foi realizado o plano de teste de função crítica para análise dos efeitos de escala?
- Questão 4- Foi estipulada a definição da placa de ensaio para a verificação da função crítica?
- Questão 5 Foram realizados os testes da placa de ensaio com relatórios?

Para diminuir as incertezas resultantes dos efeitos em escala e os riscos remanescentes das funções críticas foram realizadas questões extras. Identificaram-se como relevantes: a validação total dos componentes em ambiente relevante; a verificação das funções críticas; a identificação das possíveis falhas da tecnologia (questão 6); os requisitos de sistemas de interface; e a interação entre eles (questão 7 e 8).

A identificação torna possível a demonstração do protótipo em ambiente relevante, assim como a realização dos testes e modificações laboratoriais para sua adequação (questão 9

- e 10). As referidas questões afirmam a análise de risco da tecnologia e viabilizam o desenvolvimento do protótipo.
 - Questão 6 Foram identificados os efeitos das possíveis falhas da tecnologia (se houver)?
 - Questão 7 Foram identificados os requisitos de interface de sistemas?
 - Questão 8 Foram identificadas as interações entre os componentes/ subsistemas?
 - Questão 9 Foram realizadas modificações no ambiente de laboratório para aproximar o ambiente operacional deixando-o apto a testes?
 - Questão 10- Foram realizados testes tecnológicos dos componentes em ambiente relevante?

TRL 6- Modelo demonstrando as funções críticas do elemento em um ambiente relevante.

O TRL 6 é atingido quando as funções críticas do elemento são verificadas no ambiente relevante. Para este propósito, um modelo representativo em termos de formato, configuração e função é usado para demosntrar as funções críticas e demonstrar, sem ambiguidade, o desempenho do elemento. O desempenho do ensaio está conforme as previsões analíticas.

Em TRL 6, assim como para TRL mais altos, os objetivos da missão, o ambiente operacional e os requisitos de desempenho operacional são estabelecidos e acordados pelas partes interessadas, levando em conta a integração do elemento no sistema final. O desempenho geral do elemento está, a princípio, demonstrado. Em particular, convém que seja possível neste estágio estabelecer um cronograma de desenvolvimento do elemento. Ainda há riscos de desenvolvimento remanescentes em relação ao desempenho que podem incluir: falha na identificação das funções críticas, falha de integralidade no plano de verificação associado, e/ou uma subestimativa dos efeitos de acoplamento entre as peças do elemento, o que torna o modelo inapropriado para remover as incógnitas (NBR ISO 16290, 2015).

Com o fechamento de um ciclo de desenvolvimento do protótipo, a afirmação da documentação das funções críticas da tecnologia (questão 1) e o conhecimento do ambiente relevante (questão 2) identificados pela NBR ISO 16290:2015, vê-se a necessidade de documentação do funcionamento e requisitos de desempenho (questão 3), e dos sistemas e subsistemas (questão 4) para a conclusão do protótipo da tecnologia.

- Questão 1 Foram realizadas identificação e análise das funções críticas do elemento e verificadas as funções críticas e documentadas em relatório?
- Questão 2 O ambiente relevante de funcionamento para eventual sistema é conhecido?

- Questão 3 Foi realizada e documentada a definição de requerimento do desempenho e do ambiente relevante?
- Questão 4 Foram documentados os requisitos completos de sistema e subsistema para funcionamento?

Já na fase de finalização do protótipo e demonstração em ambiente relevante foram identificadas as funções críticas e os GAPs da tecnologia em ambiente relevante. Essa identificação deve ser documentada para possível reprodução/ modificação (questões 5 e 6).

- Questão 5 Foram realizadas identificação e análise das funções críticas do elemento e verificadas as funções críticas e documentadas em relatório?
- Questão 6 Foram concluídas as avaliações das características de desempenho da tecnologia mesmo com os possíveis GAPs?

Para confirmação da finalização do ciclo de desenvolvimento e demonstração do protótipo em ambiente relevante dá-se a confirmação de teste do protótipo em ambiente relevante (laboratorial adaptado de alta fidelidade) para aquisição de dados de manutenção real e de confiabilidade (questão 7 e 8).

- Questão 7 Foi iniciada a aquisição de dados de manutenção real, confiabilidade e dados de suporte?
- Questão 8 Foi testado o modelo representativo (protótipo) completo em laboratório,
 ambiente operacional de alta fidelidade (simulação)?

III. Ciclo de Produção

TRL 7- Modelo demonstrando o desempenho do elemento para o ambiente operacional

O TRL 7 requer a validação do desempenho do elemento por meio de ensaios para demonstrar desempenho no ambiente operacional.

Em TRL 7, os objetivos da missão, ambiente operacional e requisitos de desempenho operacional são estabelecidos e acordados com as partes interessadas, levando em conta a integração do elemento no sistema final.

Para alcançar TRL7, um modelo representativo, refletindo plenamente todos os aspectos de projeto do modelo de voo opera em um ambiente que replica todas as condições necessárias do ambiente operacional real para demonstrar que ele funciona no ambiente operacional real.

Quando a demonstração do modelo é alcançada no solo, o modelo do elemento é submetido a uma série de ensaios, que são concebidos para representar o ambiente operacional esperado com margens adequadas. Portanto, o modelo não tem a intenção

de ser usado para voo, já que ele é em geral testado em excesso. No entanto, em alguns casos, os processos e margens de ensaio estão adaptados para o modelo a ser colocado em voo.

Quando o ambiente operacional é mandatório para a demonstração do desempenho, o modelo é a primeira representação do elemento que vai voar (NBR ISO 16290, 2015).

As questões de documentação de requisitos de desempenho, ambiente operacional e realização de testes deu-se da NBR ISO 16290:2015 (questões 1, 2 e 3).

- Questão 1 Foi documentada a definição de requisitos de desempenho?
- Questão 2 Foi documentada a definição do ambiente operacional?
- Questão 3 Foi documentada a definição do modelo e a realização do teste?

Para a confirmação das atividades supracitadas e colocar a tecnologia em TRL de demonstração do protótipo em ambiente aeroespacial é necessária a realização de testes de cada interface individual em condições de tensão e anômalas (questão 4).

• Questão 4 - Foram realizados testes em cada interface do sistema/ *software* individualmente em condições de tensão e anômalas?

Para identificação de possíveis novos GAPs em ambiente aeroespacial, a simulação das funcionalidades, a integração do protótipo e o teste em ambiente estipulado (ambiente real, ou laboratorial-real), a documentação do modelo confirma e engloba aspectos que podem não ser analisados somente com as questões NBR ISO 16290:2015 (questões 5, 6 e 7).

- Questão 5 Foram simuladas as funcionalidades disponíveis para demonstração em ambiente operacional?
- Questão 6: Foi totalmente integrado o protótipo ao ambiente real demonstrado (ou simulado ambiente operacional)?
- Questão 7: Foi realizado teste com sucesso do protótipo do sistema em um ambiente estipulado?

A ideia de riscos, custos e de cronograma de desenvolvimento da tecnologia é relevante, pois no ciclo de produção inicia-se o processo de transferência da tecnologia ou parceria com instituições para produção em escala/comercial. Para isso é necessária a documentação total das fases anteriores e desenvolvimento do modelo de negócio da tecnologia (questões 8 e 9).

- Questão 8 Foi feita a documentação do teste do modelo de protótipo?
- Questão 9: Foi documentada a ideia dos riscos, custos e cronograma para desenvolvimento da tecnologia em escala?

TRL 8- Sistema real completo e aceito para voo (qualificado para voo)

O elemento qualificado é integrado no sistema final pronto para voar.

Em TRL 8, os objetivos da missão, o ambiente operacional e os requisitos de desempenho são estabelecidos e acordados com as partes interessadas, levando em conta a integração do elemento no sistema final.

Para alcançar TRL 8, o sistema, incluindo o elemento em consideração, tem sido aceito para voo. Por definição todas as tecnologias utilizadas no sistema real estão em TRL 8 (NBR ISO 16290, 2015).

A primeira questão é da NBR ISO 16290:2015:

• Questão 1 - Foi construído e integrado o modelo final (produto) no sistema final?

A fim de confirmar e analisar todos os aspectos da construção de um modelo final no sistema final e da qualificação em voo, por meio de testes e demonstração, foram incluídas algumas questões extras, como a realização de ajustes, o teste do sistema para função pretendida, a demonstração dos resultados da tecnologia e a conclusão do processo de controle (questões 2 a 5).

- Questão 2-Foram realizados ajustes dos componentes a suas funções para deixá-los compatíveis com o sistema operacional?
- Questão 3-Foi testado o sistema e caracterizado com seu *design* e função para a aplicação pretendida?
- Questão 4 Foram demonstrados os resultados, o funcionamento e a função da tecnologia em eventual teste de sistema de plataforma?
- Questão 5- Foi concluído o processo de controle da interface?

Com o processo de gestão do conhecimento e preocupação em guardar a tecnologia vê-se a necessidade da conclusão de documentação da tecnologia, como a regulamentação e manutenção da tecnologia, caso necessite, pelos possíveis GAPs já identificados (questões 6 e 7).

- Questão 6- Foi concluída a documentação formal de regulamentação?
- Questão 7 Foi concluída a documentação de manutenção e configuração?

Após a finalização da documentação tem-se a confirmação da demonstração da funcionalidade da tecnologia e identificação de que atende às especificações para possível voo em missão (questões 8 e 9).

- Questão 8 -Foram demonstradas todas as funcionalidades em ambiente operacional simulado e sistema qualificados em teste e avaliação na plataforma real?
- Questão 9- Foi identificado que o sistema atende às especificações?

Para o início do processo de transferência da tecnologia para indústria são necessários: o programa de gestão de risco; identificação de custos; e cronograma para desenvolvimento em escala da tecnologia (questões 10, 11 e 12).

- Questão 10 Foi iniciado o programa de gestão de risco em parceria com o desenvolvimento e com a indústria?
- Questão 11- Foram identificados os custos para desenvolvimento da tecnologia em escala ou transmitido o conhecimento em parceria com a indústria?
- Questão 12- Foi estipulado o cronograma para desenvolvimento em escala da tecnologia ou realizado trabalho em parceria com a indústria?
 - TRL 9- Sistema real demonstrado em voo por meio de operações com missão alcançada

O elemento qualificado é integrado no sistema final e em serviço para a missão designada.

Em TRL 9, os objetivos da missão, o ambiente operacional e os requisitos de desempenho são estabelecidos e acordados com as partes interessadas, levando em consideração a integração do elemento no sistema final.

O TRL 9 é alcançado e o elemento é maduro após operações bem-sucedidas e alcance de desempenho no ambiente operacional real (NBR ISO 16290, 2015).

No TRL 9 o sistema real foi testado com missão alcançada e está pronto para ser reproduzido e transferido para indústria. As questões 1 e 2 são da NBR ISO 16290:2015, referentes ao processo de comissionamento, que é a criação formal de uma comissão de trabalhos e a finalização dos relatórios.

- Questão 1- Foi realizado comissionamento na fase de operação inicial?
- Questão 2 Foram finalizados os relatórios de operação em voo?

Para confirmação e aprofundamento das questões NBR ISO 16290:2015 foram acrescentadas questões da demonstração plena do sistema real, com a finalidade de obter a informação do alcance do objetivo final (questão 3); o sucesso da implementação do conceito operacional da tecnologia (questão 4); confirmado pela implementação da tecnologia em plataforma antes destinada, sem alterações (questão 5); e finalizada pela missão bem-sucedida, alcançando o objetivo e os resultados esperados (questão 6).

- Questão 3 Foi plenamente demonstrado o sistema real?
- Questão 4 Foi implementado com sucesso o conceito operacional?
- Questão 5 Foi instalada e implantada a tecnologia em plataforma de sistema antes destinado?

• Questão 6 – Foram realizadas operações de missão bem-sucedidas e o sistema de missão real de voo comprovado?

Com a tecnologia aprovada em voo tem-se a necessidade de transferência do conhecimento da instituição de pesquisa para dar início à produção em escala na indústria. Em um projeto de negócio tem-se a necessidade de todos os processos de fabricação estarem em nível adequado, e a documentação, relação de custos, cronograma e margem de lucro identificadas (questões 7, 8, 9 e 10).

- Questão 7 Foram realizados todos os processos de fabricação controlados para o nível de qualidade adequado?
- Questão 8- Foi incluída na documentação o processo de desenvolvimento em escala, o custo e o cronograma para tal desenvolvimento?
- Questão 9 Foi incluída na documentação final o processo de parceria e de transferência de conhecimento para indústria?
- Questão 10 Foi realizado um plano de negócio para desenvolvimento da tecnologia?
 Uma forma de gestão do conhecimento para guardar a tecnologia e divulgar seu processo de produção é a realização de publicações ou patentes e apresentação em congressos (questão 11).
 - Questão 11: Foram realizadas publicações científicas e/ou patentes a respeito da tecnologia?

Ao fim da missão bem-sucedida de voo deve ser possível o processo de reprodução da tecnologia com os mesmos requisitos, levando em consideração que a questão tempo e o processo de obsolescência da tecnologia e troca de algum componente exigem uma nova avaliação TRL (questão 12).

• Questão 12 - É possível reproduzir o mesmo projeto com mesmos requisitos?

4.6 Relatório TRL

O processo de avaliação para passar de um nível de TRL para o próximo nível pode ocorrer de duas formas: em uma avaliação somente são analisados os critérios da NBR ISO 16290:2015 e na outra são analisadas todas as questões: as desenvolvidas na pesquisa mais as questões NBR ISO 16290:2015.

As respostas podem ser iguais ou divergentes, uma vez que a tolerância pode ser modificada. Na avaliação NBR ISO 16290:2015 não há tolerância, ou seja, caso não atenda a um critério (uma questão), a avaliação da tecnologia não irá para o próximo nível e se entenderá

como o nível atingido apenas aquele que completar todos os critérios (questões) estipulados pela NBR ISO 16290:2015 em cada TRL.

Devido as duas respostas do *status* da tecnologia há possibilidade de uma análise comparativa. O aplicativo desenvolvido no *software* Microsoft Excel traz as duas respostas de forma visual, conforme demonstrado na Figura 15, a seguir.

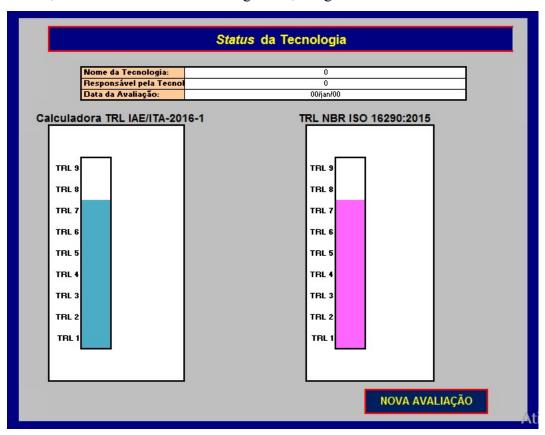


Figura 15 - Status da Tecnologia.

A macro NOVA AVALIAÇÃO zera a Calculadora e volta à página inicial para uma nova avaliação. Para uma avaliação mais profunda há a possibilidade de o gestor avaliar a tecnologias pelos ciclos. A ferramenta de aplicativo desenvolvida apenas demonstra o *status* da tecnologia assim como o índice de TRL, cabendo ao gestor análises mais específicas da tecnologia.

5 Aplicação da Metodologia TRL

- **Etapa 1- Decisão de Aplicação**: a avaliação ocorreu no Instituto Tecnológico de Aeronáutica e Espaço (IAE).Um processo formal de decisão da aplicação de TRL foi realizado e instaurado no IAE.
- **Etapa 2- Definição da Equipe**: a aplicação da metodologia deu-se com a presença do facilitador (autor e orientador) e do pesquisador representante de cada tecnologia, do gerente de projeto e membros competentes para responder ao questionário de TRL proposto.
- Etapa 3- Identificação das Tecnologias a serem avaliadas: com a finalidade de validar a metodologia proposta foram escolhidas quatro tecnologias para serem avaliadas. As tecnologias foram escolhidas para analisar comparativamente os seguintes aspectos:
 - aplicação em diferentes setores: uma tecnologia da área de Defesa, MARIMBA, e outras de três tecnologias da área espacial: Compósitos termoestruturais de carbono reforçado com fibras de carbono, Motor L75 e VSB 30.
 - projetos concluídos (MARIMBA e VSB 30) e projetos em andamento (Compósitos termoestruturais de carbono reforçado com fibras de carbono e Motor L75); e
 - tecnologias em visão sistêmica (VSB 30, Motor L75 e MARIMBA) e tecnologia de base (Compósitos termoestruturais de carbono reforçado com fibras de carbono).
 Segue a descrição das tecnologias avaliadas.
 - MARIMBA: projeto do IAE do setor de Materiais/Defesa pesquisado durante 11 anos, concluído em 2011. O projeto desenvolveu materiais resistentes ao impacto balístico, para uso em aeronaves, helicópteros e veículos militares (IAE, 2011). Segundo o gerente do projeto, em entrevista para avaliação desta tecnologia na Calculadora TRL IAE/ITA-2016-1, a tecnologia objetiva TRL 9, porém o processo de transferência para a indústria não foi concretizado em razão de problemas de ordem burocrática.
 - CARBONO: consiste em compósitos termoestruturais de carbono reforçado com fibras de carbono usando hidroclaves. A simples compactação de fibras de reforço, sejam naturais ou sintéticas, aglomeradas com um material ligante na forma de uma resina termorrígida formulada com endurecedores, forma materiais leves e estruturalmente adequados para uma variedade de aplicações, trazendo benefícios a vários segmentos industriais que se estendem da área médica até a área aeroespacial.

- MOTOR L75: consiste em projetar, fabricar, testar e operar um motor foguete à propulsão líquida (oxigênio líquido e querosene). Tecnologia de interesse do País descrito no PNAE, que visa capacitá-lo na área de propulsão líquida, objetivando o crescimento da capacidade dos veículos lançadores para disputar mercado internacional de transporte espacial (ALMEIDA, 2012). Em entrevista para avaliação dessa tecnologia na Calculadora TRL IAE/ITA-2016-1, o gestor responsável pela tecnologia objetiva o desenvolvimento do protótipo da tecnologia que ainda está em testes laboratoriais e processo de pesquisa, e pretende alcançar o TRL 5.
- VSB 30: é um foguete de sondagem, resultado de uma parceria entre o Instituto IAE e o Centro Aeroespacial Alemão (DLR) que financiou parte do seu desenvolvimento. É um veículo certificado. O processo de qualificação do foguete contou com a avaliação da Agência Espacial Europeia (ESA), do DLR e da Agência Espacial Sueca (SSC), além das empresas Kayser-Threde e EADS. O foguete já teve sete lançamentos bem sucedidos: dois no Brasil e cinco na Suécia (AEB, 2009). O VSB-30 objetiva transferência para a indústria, uma vez que é necessário e de interesse político para a produção em escala e viabilização de investimento para a indústria, já que é um produto certificado, com garantia de qualidade conforme a AEB (2009):

A certificação consolida o VSB-30 como o melhor produto em sua categoria e um dos poucos no mundo com a garantia formal de qualidade, emitida por um órgão de competência reconhecida internacionalmente", afirma o diretor do Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE), o coronel Francisco Carlos Melo Pantoja.

A entrega do certificado de homologação, pelo Instituto de Fomento e Coordenação Industrial (IFI), do CTA, de acordo com Pantoja, também acelera o processo de transferência da tecnologia de produção do veículo para a indústria brasileira. Atualmente, várias empresas trabalham no seu desenvolvimento e produção: Villares, Cenic, Fibraforte, Mectron, Compsis, Avibrás, Orbital, entre outras (AEB, 2009).

Etapa 4- Recolha de Materiais: toda a documentação dos projetos se encontram no escritório de projetos do IAE (MARIMBA, VSB 30) ou nas divisões onde são tratados (CARBONO, MOTOR L75).

Etapa 5- Avaliação: o processo da avaliação deu-se com entrevistas com duração de aproximadamente uma hora. A aplicação da metodologia seguiu os passos supracitados na proposta metodológica. Para a avaliação foi utilizado o aplicativo de Calculadora TRL IAE/ITA-2016-1. A etapa da avaliação ocorre em três passos:

- Passo1- Demonstração da metodologia: foi realizada uma breve apresentação a respeito de TRL para os pesquisadores representantes da tecnologia e explicado o processo de avaliação proposto.
- Passo 2- Dados da Tecnologia: o facilitador fez questões pertinentes à tecnologia: nome da tecnologia avaliada, nome do gestor representante da tecnologia e respondente e data da avaliação. Para confirmar a aplicação da metodologia proposta foi estipulado um grau de tolerância de 15 % do não cumprimento de atividades. Optou-se pela decisão dos 15% do não cumprimento por ser esse o índice utilizado no AFRL com o TRL Calculator (NOLTE, 2003).
- Passo 3- Avaliação TRL: foram apresentadas as questões de cada TRL, uma a uma, e perguntado para o pesquisador respondente. Deixou-se em aberto a possibilidade de mudança de alguma questão, indagação de dúvidas, sugestões e possíveis observações a respeito de cada pergunta referente à tecnologia. Na avaliação usou-se o conceito de APROVADO e REPROVADO para cálculo final das analises de cada tecnologia em casa nível de TRL. O conceito APROVADO é que a tecnologia cumpriu o requisito mínimo do grau de tolerância e passou para o próximo nível no coceito da CALCULADORA, e REPROVADO quando não atinge a porcentagem de cumprimento de requisitos aceitos. Já no conceito da NBR ISO, caso a tecnologia não cumpra um requisto ela está REPROVADA nesse nível de TRL, ela necessariamente precisa cumprir todos os requisitos das questões feitas com base na NBR ISO 16290:2015 para atingir tal nível de TRL.

Etapa 6- Relatório Final: consiste na apresentação das duas análises TRL: Norma ABNT NBR 16290:2015 e Calculadora TRL IAE/ITA-2016-1. A aplicação da metodologia demonstra apenas o *status* em que a tecnologia se encontra, cabendo ao gestor responsável realizar análises mais profundas a respeito da tecnologia avaliada.

6 Discussão dos Resultados

A discussão deu-se apenas na metodologia, em caráter percentual das questões atingidas com uma breve análise, não considerando aspectos de cada tecnologia em si nem aspectos a serem melhorados, o que compete a uma avaliação por especialistas.

Como resultado obteve-se, em três das avaliações realizadas, a Norma NBR ISO 16290:2015 com um TRL mais avançado que o TRL com requisitos criados para a Calculadora TRL IAE/ITA-2016-1, conforme Figura 16. No caso da avaliação do VSB30, que é um veículo já certificado, obteve-se o TRL máximo em ambas as avaliações.

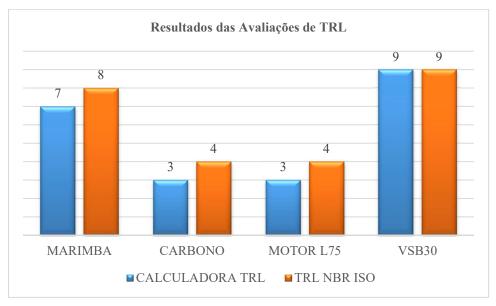


Figura 16 – Resultado das avaliações TRL.

Todas as tecnologias cumpriram a primeira etapa, o ciclo de pesquisa (pesquisa básica) do desenvolvimento de um produto segundo os critérios da NBR ISO 16290:2015 e os critérios estipulados para a Calculadora TRL IAE/ITA-2016-1. Todas as tecnologias responderam ao questionário completo até o segundo ciclo. As tecnologias de Carbono e Motor L75, por não cumprimento da TRL estipulada, não responderam ao questionário do ciclo de produção.

No primeiro ciclo o TRL com menor média de cumprimento dos requisitos totais foi o TRL 3 (Tabela 5), seguido pelo TRL 2 (Tabela 4) e o mais alto foi o TRL 1 (Tabela 3), com 95,5 %, 95,7% e 96,0% respectivamente.

TRL 1- Princípios de base observados e relatados como respostas das entrevistas conforme Tabela 3.

Blindagem Carbono Motor L75 VSB30 Tecnologia Q.1 100 100 100 100 Q.2 100 100 100 100 Q.3 100 100 100 100 Q.4 100 100 100 80 Q.5 95 60 100 100 IRL 1 Q.6 100 80 100 100 Q.7 100 100 100 70 Q.8 100 **70** 100 100 Q.9 100 100 100 100 Q.10 100 90 100 100 **CALCULADORA APROVADO APROVADO APROVADO APROVADO** NBR ISSO APROVADO APROVADO APROVADO APROVADO

Tabela 3- Respostas do TRL 1

As tecnologias de Blindagem, Motor L75, e VSB 30 obtiveram em seu TRL 1 médias altas de cumprimento dos requisitos, 99,5%; 100,0% e 98,0% respectivamente. A média geral de aceite estipulada para a aplicação foi 85,0%. Apenas a tecnologia de Carbono teve uma média mais preocupante, 87,0%, embora tenha passado para o próximo TRL, pois obteve cumprimento dos requisitos.

As questões NBR ISO 16290:2015 (1 e 2) obtiveram 100 % em todas as tecnologias, assim como as questões 3 e 9, portanto, foram realizadas pesquisas em ambiente exploratório, identificando os princípios básicos, as potenciais aplicações, documentando os estudos que confirmam os princípios básicos. A tecnologia que menos cumpriu os requisitos do TRL 1 foi o Carbono, seguido pelo VSB 30 e Blindagem, somente o Motor cumpriu 100 % dos requisitos do TRL 1.

A questão 4, da identificação de leis e pressupostos para desenvolvimento da tecnologia, teve como não identificada totalmente apenas a tecnologia do VSB 30, com 20 % de não cumprimento no início de seu projeto, dado o fato de a tecnologia ser complexa por se tratar de um projeto tecnológico com possibilidade de aplicação dual do conhecimento para produção de misseis. A questão já foi resolvida por se tratar de um projeto finalizado e certificado.

A questão menos completa do TRL 1 foi a questão 5, de identificação dos riscos, custos e cronograma para desenvolvimento de um projeto. Foi a única questão que a tecnologia de Blindagem não cumpriu 100%, atingindo então 95% de cumprimento. Já dentro da tecnologia de Carbono a porcentagem é relevante, com 40% de não cumprimento.

As questões 6, 7, 8 e 10, de identificação da instituição e pessoa que fará a pesquisa; identificação de fonte monetária (patrocinadores); levantamento se alguma outra instituição está pesquisando a tecnologia e existência de publicações científicas tiveram uma margem baixa de não cumprimento, obtendo as respectivas porcentagens de 20%, 30%, 30% e 10% respectivamente, todas pela tecnologia de Carbono.

O TRL 2, conceito e/ou aplicação da tecnologia formulados, obteve as respostas das entrevistas conforme a Tabela 4.

	Tecnologia	Blindagem	Carbono	Motor L75	VSB30
	Q.1	100	100	100	100
	Q.2	90	100	100	100
	Q3	100	100	100	100
	Q.4	100	70	100	100
L 2	Q.5	90	70	100	100
TRL	Q.6	80	80	90	100
•	Q.7	100	100	100	100
	Q.8	80	100	100	100
	Q.9	100	100	100	100
	CALCULADORA	APROVADO	APROVADO	APROVADO	APROVADO
	NBR ISO	APROVADO	APROVADO	APROVADO	APROVADO

Tabela 4- Respostas do TRL 2

Em TRL 2, todas as tecnologias obtiveram médias altas: Blindagem 93,3%; Carbono 91,1%; Motor L75 98,8% e VSB 30 100,0%, cumprindo todos os requisitos. A questão NBR ISO 16290:2015 obteve 100 % em todas as tecnologias. Nas questões 3, 7 e 9 foram formuladas as potenciais aplicações, identificando por completo os projetos que a tecnologia irá apoiar e o interesse do cliente na aplicação em todas as TCs.

A questão menos completa do TRL 2 foi a questão 6, de identificação e documentação de possíveis GAPs da tecnologia estudada, obtendo 20% de não cumprimento na tecnologia de Blindagem; 20 % na tecnologia de Carbono; e 10% na tecnologia do Motor L75.

A questão 5 aborda a identificação da funcionalidade da tecnologia e obteve TRL baixo nas tecnologias de Blindagem (10%) e Carbono (30%), confirmando a falha na identificação dos possíveis GAPs da questão 6.

As questões 2 e 8 na tecnologia de Carbono apresentaram porcentagens de não cumprimento de 10% e 20% respectivamente, abordando as principais funções a serem desempenhadas e a identificação dos potenciais clientes, confirmando as porcentagens defasadas nas questões 5 e 6.

A questão 4 obteve 30% de não cumprimento apenas na tecnologia do Motor L75, de documentação da viabilidade da tecnologia confirmada por estudos, e finalizando o ciclo de pesquisa obteve-se a resposta do TRL 3 (Tabela 5).

TRL 3- Prova de conceito analítica e experimental da função crítica e/ou da característica

Blindagem Carbono Motor L75 VSB30 Tecnologia 0.1 100 100 100 100 0.2 100 100 100 100 Q.3 100 **80** 100 100 100 Q.4 100 90 100 Q.5 90 90 100 100 FRL 3 100 Q.6 100 70 100 Q.7 100 100 90 100 Q.8 90 100 100 100 100 Q.9 100 90 100 Q.10 80 100 80 **70** APROVADO **CALCULADORA** APROVADO **APROVADO** APROVADO **NBR ISO** APROVADO APROVADO APROVADO APROVADO

Tabela 5- Respostas do TRL 3

As tecnologias de Blindagem, Motor L75 e VSB 30 obtiveram em seu TRL 3 médias altas: 97,0 %; 100,0% e 97,0%. Apenas a tecnologia de Carbono obteve uma média mais baixa, de 8,8%, embora tenha cumprido o ciclo de pesquisa e finalizado o TRL 3 com 85% de cumprimento dos requisitos totais.

A questões NBR ISO 16290:2015 (1 e 2) foram as únicas a obterem 100 % em todas as tecnologias, portanto foram concretizados e especificados os requisitos de desempenho da tecnologia e finalizado o seu projeto conceitual.

As questões 4, 7, 8 e 9 tiveram 10 % de não cumprimento em suas análises apenas na tecnologia de Carbono. Todas as questões eram relacionadas com experimentos em laboratórios e processo de produção do protótipo que iniciará o próximo ciclo.

A tecnologia de Carbono, confirmando o não cumprimento das questões supracitadas, obteve também 20% de não cumprimento na questão 3, que aborda a viabilidade da tecnologia confirmada por experimentos em laboratórios. Segue a confirmação na questão 6, com 30 % de não cumprimento na demonstração plena da viabilidade científica da tecnologia.

A questão 5 obteve 10% de não cumprimento nas tecnologias de Carbono e Blindagem, o que identifica a visão sistêmica da tecnologia. A questão mais identificada nas tecnologias no TRL 3 foi a questão 10, que obteve 20% de não cumprimento nas tecnologias de Carbono e

Blindagem e 30 % na tecnologia do VSB 30, na documentação da ideia de análise de risco, custos e cronograma para desenvolvimento do protótipo no próximo ciclo.

TRL 4- Verificação funcional em ambiente laboratorial do componente e/ou maquete

Tabela 6- Respostas do TRL 4

	Tecnologia	Blindagem	Carbono	Motor L75	VSB30
	0.1	100	100	100	100
	Q.2	100	100	100	100
	Q.3	100	20	50	100
	Q.4	90	50	50	100
	Q.5	100	100	100	100
4 7	Q.6	100	90	100	100
TRL	Q.7	100	70	70	50
•	Q.8	100	20	100	100
	Q.9	60	20	90	50
	Q.10	100	40	10	100
	CALCULADORA	APROVADO	REPROVADO	REPROVADO	APROVADO
	NBR ISO	APROVADO	APROVADO	APROVADO	APROVADO

As tecnologias de Blindagem e VSB 30 obtiveram em seu TRL 4 médias aprovadas com 95,0% e 90,0%, respectivamente. As tecnologias de Carbono e Motor L75 não cumpriram os 85,0% dos requisitos para aprovação no nível de TRL 4, conforme Tabela 6, porém conseguiram aprovação nos critérios da NBR ISO 16290:2015.

A questões NBR ISO 1 e 2, e a questão 5 obtiveram 100 % em todas as tecnologias, portanto, foram identificados os requisitos gerais para aplicação da tecnologia e concluídos o projeto conceitual e os relatórios de testes da placa de ensaio- *breadboard* em todas as tecnologias.

As questões 6 e 8 apenas foram identificadas na tecnologia de Carbono, com 10% e 80% de não cumprimento. As questões abordam as métricas de desempenho e o cronograma para desenvolvimento. A questão 7, de levantamento de custos, obteve 30 % de não cumprimento nas tecnologias de Carbono e Motor L75, e 50% de não cumprimento no VSB 30.

As questões 7 e 8 são partes da questão 9, de análise de risco do protótipo, que obteve porcentagem alta de não cumprimento nas tecnologias de Blindagem, 40%, Carbono, 80%, e 50% no VSB 30. Apenas a tecnologia de Motor L75 obteve 10% de não cumprimento, confirmando as respostas das questões anteriores.

A questão 10 aborda a realização dos estudos de integração da tecnologia ao projeto final. Obteve 60 % de não cumprimento na tecnologia de Carbono e 90 % de não cumprimento no Motor L75.

TRL 5- Verificação em ambiente relevante da função crítica do componente e/ou maquete

Blindagem Carbono Motor L75 VSB30 Tecnologia 0.1 100 100 100 100 Q.2 100 100 100 0.3 100 100 100 100 100 100 100 100 TRL 5 Q.6 95 90 **50** 100 Q.7 100 50 **50** 100 100 **50** Q.8 50 100 Q.9 100 **50** 50 100 Q.10 100 10 **50** 100 **CALCULADORA APROVADO REPROVADO REPROVADO** APROVADO NBR ISO APROVADO REPROVADO REPROVADO APROVADO

Tabela 7 - Respostas do TRL 5

As tecnologias de Blindagem e VSB 30 obtiveram em TRL 5 médias altas e aprovadas: 99,5% e 100,0%. A tecnologia de Motor L75, embora cumpra quase todos os requisitos não atingiu a porcentagem para conclusão de TRL, obtendo média 72,0%, e não cumpriu um requisito NBR ISO, conforme Tabela 7. A tecnologia de Carbono não cumpriu quatro dos requisitos NBR ISSO 16290:201 e obteve média 58,0%.

Das questões NBR ISO 16290:2015 (1 a 5), apenas a questão 1 obteve cumprimento de todas as tecnologias da definição dos requisitos de desempenho da tecnologia no ambiente relevante. As questões 2, 3 e 4, de realização do projeto preliminar, a verificação das funções críticas e o plano de teste para análise dos efeitos em escala tiveram não cumprimento apenas da tecnologia de Carbono.

A questão relacionada aos testes da tecnologia com relatórios teve não cumprimento nas tecnologias de Carbono e Motor. Em relação ao Motor há uma ressalva: a tecnologia iniciou os testes por não cumprimento total e realização dos relatórios. Colocou-se como incompleta essa questão, mas no consenso de conclusão por parte dos testes obteria o TRL 5 exigido pela NBR ISO 16290:2015.

A questão 6, da identificação dos efeitos das possíveis falhas, obteve o não cumprimento de 5 % na tecnologia de Blindagem, 10 % na tecnologia de Carbono e 50 % na tecnologia de

Motor L75, o que confirma a questão 5 da realização de testes não concluídos nas tecnologias de Carbono e Motor.

As questões 7,8, 9 e 10 tiveram margens de não cumprimento apenas nas tecnologias de Carbono e Motor L75, com 50 % de não cumprimento em ambas as tecnologias nessas questões, na identificação dos requisitos de interface de sistema, interações entre sistemas/subsistemas, e realização de modificações laboratoriais para aproximação do ambiente operacional. Já a questão 10 teve 90% de não cumprimento da tecnologia de Carbono e 50% da tecnologia de Motor L75, na realização de testes dos componentes em ambientes relevantes.

TRL 6- Modelo demonstrando as funções críticas do elemento em um ambiente relevante

	Tecnologia	Blindagem	Carbono	Motor L75	VSB30
	Q.1	100	100	100	100
	Q.2	100		100	100
	Q.3	100	100	100	100
9	Q .4	90	100	100	100
TRL	Q.5	100	50	50	100
Ξ	Q.6	90	0	0	90
	Q.7	100	0	0	100
	CALCULADORA	APROVADO	REPROVADO	REPROVADO	APROVADO
	NBR ISO	APROVADO	REPROVADO	APROVADO	APROVADO

Tabela 8- Respostas do TRL 6

As tecnologias de Blindagem e VSB 30 tiveram médias aprovadas no TRL 6 e concluíram o ciclo de desenvolvimento do protótipo com 97,0% e 98,0% respectivamente. A tecnologia de Motor L75, embora cumpra todos os requisitos ISO do TRL 6, não atingiu o TRL 5 e cumpriu quase todos os requisitos do TRL 6, obtendo média 64,0%. A tecnologia de Carbono não cumpriu os TRL 5 e 6 deixando um requisito ISO sem cumprir. Obteve a média 58,0%, conforme Tabela 8.

Das questões NBR ISO (1 e 2), apenas a questão 1 obteve cumprimento de todas as tecnologias, na identificação e documentação das funções críticas da tecnologia. A questão 2 teve não cumprimento da tecnologia de Carbono, no conhecimento do ambiente relevante.

A questão 3 do TRL 6 confirma a 1 e a 10 do TRL 5 na documentação do desempenho e ambiente relevante, que obteve 100 % em todas as tecnologias, dando resultado a questão 4 da documentação total dos requisitos de sistemas e subsistemas para funcionamento da tecnologia, que confirma a questão do TRL 5 de identificação dos requisitos. Não teve cumprimento apenas de 10% da tecnologia de Blindagem.

A questão 5, quanto à conclusão das avaliações das características da tecnologia, mesmo com os possíveis GAPs obteve 50% de não cumprimento nas tecnologias de Carbono e Motor

L75. Esse resultado se confirma pela questão 6, na aquisição de dados de manutenção e confiabilidade, que teve não cumprimento total das tecnologias de Carbono e Motor L75 e 10% de não cumprimento das tecnologias concluídas do TRL 6, Blindagem e VSB 30, e pela questão 7 do teste do protótipo realizado em ambiente operacional, com não cumprimento total das tecnologias de Carbono e Motor L75.

No Ciclo de Produção somente responderam ao questionário as tecnologias de Blindagem e VSB 30, conforme a Tabela 9.

TRL 7- Modelo demonstrando o desempenho do elemento para o ambiente operacional

	Tecnologia	Blindagem	Carbono	Motor L75	VSB30
	Q.1	100			100
	Q.2	100			100
	Q.3	100			100
	Q.4	90			100
_	Q.5	90			100
TRL	Q.6	100			100
	Q.7	100			100
	Q.8	100			100
	Q.9	60			90
	CALCULADORA	APROVADO	REPROVADO	REPROVADO	APROVADO
	NBR ISO	APROVADO	REPROVADO	REPROVADO	APROVADO

Tabela 9- Respostas do TRL 7

As tecnologias de Blindagem e VSB 30 tiveram média 93,0% e 99,0% respectivamente, e foram aprovadas também pela ISO com cumprimento de todos os requisitos. A tecnologia do VSB30 teve cumprimento total em quase todos os requisitos, com não cumprimento de 10% apenas na questão 9, na documentação da ideia de custos, riscos e cronograma para desenvolvimento da tecnologia em escala. Esse requisito não foi cumprido 100% também pela tecnologia de Blindagem, atingindo 40% de não cumprimento.

A tecnologia de Blindagem embora aprovada teve não cumprimento de 10% nos requisitos das questões 4 e 5, na realização de testes individuais em condições adversas sobre as tecnologias, e na simulação das funcionalidades da tecnologia no ambiente operacional realizada no TRL 6. Nas demais questões 1,2,3,6,7 e 8, ambas as tecnologias obtiveram 100% de cumprimento, demonstrando o protótipo em ambiente operacional com toda a documentação dos testes.

A segunda etapa do ciclo de produção é o sistema qualificado em voo, realizado por meio de testes e demonstrações, questões abordadas no TRL 8, Tabela 10.

TRL 8- Sistema real completo e aceito para voo.

Tabela 10- Respostas do TRL 8

	Tecnologia	Blindagem	Carbono	Motor L75	VSB30
	Q.1	100			100
	Q.2	100			100
	Q.3	100			100
	Q.4	100			100
	Q.5	50			100
	Q.6	50			100
× 1		30			100
TRL	Q.8	50			100
•	Q.9	95			100
	Q.10	100			100
	Q.11	0			60
	Q.12	0			100
	CALCULADORA	REPROVADO	REPROVADO	REPROVADO	APROVADO
	NBR ISO	APROVADO	REPROVADO	REPROVADO	APROVADO

Ambas as tecnologias foram aprovadas pelos requisitos da NBR ISO no TRL 8, porém somente a tecnologia de VSB 30 atingiu a média para aprovação de todos os requisitos, com 96,0%. A tecnologia de Blindagem teve média 65,0%, não atingindo os requisitos totais.

As questões 2, 3, 4 e 10 obtiveram 100% de cumprimento em ambas as tecnologias, iniciando o programa de gestão de risco da tecnologia para desenvolvimento em escala. Foram realizados os ajustes e os testes, demonstrando os resultados do funcionamento da tecnologia.

Na tecnologia do VSB 30 apenas a questão 11, da identificação dos custos para desenvolvimento da tecnologia em escala ou transmissão do conhecimento para indústria, não foi totalmente realizada. Dado o fato de a tecnologia ser de interesse apenas do governo, no país, é necessário apoio governamental para produção e interesse na transferência por parte da indústria.

Essa questão não atingiu nenhuma porcentagem pela tecnologia de Blindagem, assim como a questão 12 de realização do cronograma para desenvolvimento ou transferência da tecnologia para indústria. A tecnologia de Blindagem teve 5% de não cumprimento na questão 9, de o sistema atender às especificações, e 50% de não cumprimento nas questões 5,6 e 8.

Essas questões abordam temas referentes ao processo de controle, à documentação e regulamentação da tecnologia e à demonstração de todas as funcionalidades em ambiente operacional. O não cumprimento das questões supracitadas confirma os 70% de não cumprimento na questão 7 sobre documentação da manutenção da tecnologia.

Para finalizar o ciclo de produção e obter o TRL 9 do sistema real testado em voo por missão vem sucedida é necessário o cumprimento das questões de TRL 9, Tabela 11.

TRL 9- Sistema real demonstrado em voo em operações de missão bem-sucedida

Apenas a tecnologia de VSB 30 obteve cumprimento total dos requisitos NBR ISO e alcance do TRL 9, confirmado por uma tecnologia já certificada. A tecnologia do VSB 30 obteve média de 96,0%, com não cumprimento de apenas 50% da questão 9, da inclusão na documentação final do processo de parceria ou transferência do conhecimento para a indústria.

Motor L75 Blindagem Carbono VSB30 Tecnologia Q.1 100 Q.2 100 Q.3 100 Q.4 100 Q.5 100 100 100 Q.6 100 TRL 9 Q.7 100 Q.8 100 Q.9 50 Q.10 100 0.11100 100 Q.12 100 100 CALCULADORA **REPROVADO** REPROVADO **REPROVADO** APROVADO REPROVADO REPROVADO **NBR ISO REPROVADO APROVADO**

Tabela 11- Respostas do TRL 9

A tecnologia de Blindagem não cumpriu os requisitos ISO e não atingiu a médias dos requisitos totais, tendo como média 4. Essa tecnologia concluiu apenas as questões 5, 6, 11 e 12 da implementação da tecnologia em ambiente antes estipulado, realizou missão bemsucedida, publicações científicas a respeito da tecnologia e é possível a reprodução da tecnologia.

Não foram finalizados, porém, os relatórios de operação em voo. O sistema não foi plenamente demonstrado, não incluindo em sua documentação o processo de transferência para indústria, os custos, cronograma e plano de negócio da tecnologia.

7 Considerações Finais

A metodologia de TRL foi criada por pesquisadores da NASA, porém, nem todas as agências espaciais detêm a mesma realidade de processo e de pessoal. O intuito da metodologia proposta é de desenvolvimento de uma aplicação TRL adaptada para a realidade brasileira, enquadrada na Norma ABNT NBR 16290:2015.

A metodologia proposta enquadrou em suas questões os pilares econômicos, documentais e políticos-legais, abordando não apenas os pilares tecnológicos. Foram inclusas questões do ambiente interno e externo quantitativamente e qualitativamente. Quantos aos aspectos de divergências metodológicas foram levantadas as seguintes questões:

1ª Quando realizar a análise TRL

Atualmente a metodologia vem sendo utilizada como ferramenta para monitorar e auxiliar a inclusão de uma tecnologia em um projeto, porém o processo de identificação de quando realizar a avaliação deve ser levantado pela instituição competente: se realizar de forma constante, para obtenção do *status* das tecnologias e tomadas de decisão em todas as tecnologias que estão sendo desenvolvidas, ou somente nas que serão inclusas em projetos.

A identificação das duas formas de avaliação quanto à frequência e/ou *up grade* de uma tecnologia foi confirmada pelo relatório da ESA, e os gestores devem manter-se atentos quanto ao fator tempo e obsolescência da tecnologia. Em particular, se o desenvolvimento de tecnologia foi realizado no passado e a tecnologia precisa ser reutilizada deve ser reavaliada novamente. Especial atenção deve ser dada à possível obsolescência da tecnologia (HANDBOOK, 2008).

A decisão de quando realizar a avaliação pode acarretar diferenciais de orçamento e cronogramas, conforme levantamento da NASA. A Agência estima que 10 % do valor gasto em desenvolvimento de tecnologia é para atingir do TRL 1 ao TRL 6, e os outros 90 % do TRL 6 ao TRL 9, no processo de produção da tecnologia (ELFES, 2011). O DoD (2006) relata não incluir em projetos tecnologias em fase inicial – antes de TRL6 - para evitar atrasos em cronograma, desempenho e variações orçamentárias.

2ª Definição da equipe que fará a aplicação

O processo de avaliação deixou clara a necessidade de pesquisador e conhecedor da tecnologia a ser avaliada, pois somente esses indivíduos conseguem responder questões

técnicas. A abordagem de aspectos econômicos, político-legais e documentais confirma a necessidade da presença do gestor de projetos.

Embora a facilidade de utilização do aplicativo Calculadora TRL IAE/ITA-2016-1 no *software* Excel disponibilize a qualquer conhecedor da tecnologia realizar a aplicação da metodologia, a presença do facilitador e conhecedor da metodologia mostrou-se relevante uma vez que agilizou e objetivou as respostas das questões levantadas. No IAE essa função poderia ser exercida por um representante do escritório de projetos.

3ª Identificação das tecnologias a serem avaliadas

Olechowski (2015) levanta em seu trabalho duas formas de abordar a avaliação TRL: i) a estrutura total do produto, que consiste em avaliar todos os elementos inclusive os mínimos em um projeto, o que torna a avaliação extensa e exaustiva uma vez que seria preciso avaliar cada parafuso utilizado em um projeto; e ii) o elemento crítico tecnológico, que avalia somente os elementos que apresentam maior risco. Embora seja mais prático esse método de avaliação, ele pode deixar falhas uma vez que passa uma tecnologia, ou componente, sem ser avaliada e dar problemas futuros.

Confirmada a primeira visão de Olechowski (2015), a NASA define que em um projeto uma TRL completa precisa avaliar todos os itens, por mais exaustivos e impraticáveis que sejam (NASA, 2007). O DoD recomenda que se faça a avaliação de maturidade em todos os elementos considerados críticos identificados no projeto e não em todos os elementos que o compõem.

No presente trabalho avalia-se a tecnologia como um todo, não abordando aspectos específicos como avalição de todos os elementos conforme estipulado pela NBR ISO 16290:2015. O processo tornou a avaliação mais dinâmica e rápida.

O fato de não avaliar tecnologia item por item, ou tecnologia por tecnologia em um projeto, pode diferenciar e modificar o índice de um TRL, identificando então que para obter um TRL mais preciso e dentro da abordagem da Norma NBR ISO é necessária a identificação de uma avaliação item a item.

4ª Recolha dos materiais para avaliação

Na avaliação para validação das questões o processo de *checklist* foi deixado na responsabilidade e confiabilidade dos gestores e técnicos.Os documentos das tecnologias avaliadas encontram-se disponíveis nas respectivas áreas de pesquisa e no repositório denominado SIGTEC, que é um sistema de gestão do conhecimento utilizado pelo IAE.

5ª Avaliação de TRL

A estrutura de divisão por ciclo da metodologia facilitou a visão do *status* da tecnologia, devido ao fato de que nem todos os pesquisadores pretendem alcançar a TRL 9, obtendo assim um procedimento mais fácil de avaliação. A NBR ISO 16290:2015 defende que o procedimento de avaliação da TRL deve ser definido pela organização que a fará, ou seja, cada organização releva e dá ênfase em um âmbito, tornando divergentes as conclusões a respeito do nível de maturidade tecnológica de um projeto e padronizando apenas o *checklist* documental e o marco alcançado.

As questões adicionadas como requisitos para critérios, além da NBR ISO 16290:2015, demonstraram avaliar de uma forma mais profunda. Três das quatro tecnologias avaliadas tiveram o TRL da NBR ISO 16290:2015 maior que o TRL da Calculadora TRL IAE/ITA-2016.

No caso da tecnologia de Motor L75 (TRL da Calculadora TRL IAE/ITA-2016-1=3), se concorda com o aceite do ciclo 2 de estar realizando os critérios de documentação da NBR ISO 16290 no TRL 5, a tecnologia chegaria concluída com o TRL 6, pois atingiu os critérios e responderia ao próximo ciclo, demonstrando a defasagem encontrada na NBR ISO 16290:2015.

A inclusão dos conceitos econômicos foi confirmada ao analisar a metodologia por ciclos. Dentre os três ciclos, as questões com menor percentual de realização foram as que abordam aspectos da documentação de riscos, custos e cronogramas para desenvolvimento do protótipo.

Confirmou-se a importância da preocupação com o plano de negócio, com a gestão do conhecimento e transferência do conhecimento da tecnologia, não identificadas na NBR ISO 16290:2015. Reafirmam-se os dados publicados pelo DoD (2006), citados no presente trabalho, que instaurar tecnologias de TRL baixo acarretam em atrasos de cronograma e custos.

A Norma NBR ISO 16290:2015 foi criada para aplicação em *hardware*, contudo os problemas de interface de maturidade e de integração de sistemas, em sua maioria *software*, são relevantes em um projeto e os que mais acarretam atrasos em cronogramas e estouros orçamentários (OLECHOWSKI *et al.*, 2015). A metodologia proposta não teve ênfase em *software* ou *hardware*, podendo ser aplicada em ambos.

No quesito político legal foi confirmado pelo aspecto relevante não identificado na NBR ISO 16290:2015. A subjetividade da Norma implica em não abordar questões como o caráter dual de uma suposta tecnologia sendo utilizada em aplicação civil e militar, que acarreta restrições e embargos na aquisição de insumos e componentes, com base no Regime de Controle de Tecnologia de Mísseis MTCR, sigla em inglês de *Missile Technology Control*

Regime. Assim, numa análise de TRL para a esfera civil haveria um TRL, e para a esfera militar outro TRL, contradizendo com a padronização proposta pela Norma.

6ª Relatório da Avaliação

A elaboração de um relatório da avaliação identificando o passo a passo a torna mais prática e rápida, uma vez que a utilização do *software* Excel disponibiliza o compartilhamento da informação e da avaliação completa pelos gestores, tornando dispensável a realização de um relatório extenso.

Nesta pesquisa identificou-se a necessidade de avalição nas demais tecnologias fora do contexto aeroespacial e em *software*, contudo a metodologia proposta adaptada à realidade brasileira e enquadrada aos requisitos da Norma NBR ISO 16290:2015 foi validada com a avaliação das tecnologias.

O objetivo de facilitar, padronizar e viabilizar a aplicação da avaliação TRL foi conquistado com as análises realizadas e disponibilização do *software* no Excel e afirmações confirmadas pelos pesquisadores entrevistados, que citaram a facilidade, agilidade e rapidez da avaliação e dos resultados.

8 Conclusão

A presente pesquisa concluiu o objetivo proposto de desenvolver uma metodologia de aplicação para o cálculo do TRL (*Technology Readiness Levels*) abordando aspectos técnicos, econômicos, documentais, político-legais com base na NBR ISO 16290:2015 e nas ferramentas utilizadas pela NASA, DoD, AFRL e ESA.

Como contribuição a presente pesquisa desenvolveu um aplicativo denominado Calculadora TRL IAE/ITA-2016-1. O aplicativo foi desenvolvido no *software* Microsoft Excel® viabilizou, facilitou e padronizou a avaliação de maturidade técnológica, aspectos estes confirmados pelos pesquisadores entrevistados.

A presente pesquisa respondeu as perguntas do problema de pesquisa:

Quais as possíveis falhas da Norma NBR ISO 16290:2015 quando inserida no contexto da realidade espacial brasileira?

Como minimizar essas falhas de avaliação?

Como avaliar com reprodutibilidade o nível de maturidade tecnológica dos projetos do setor espacial?

A identificação das possíveis falhas deu-se através do levantamento bibliográfico e da análise comparativa das divergências metodológicas nas metodologias estudadas.

O processo de minimizar as falhas encontradas na Norma NBR ISO 16290:2015 deu-se com a criação da metodologia de TRL aqui proposta. Foram desenvolvidas 89 questões contendo questões pertinentes somente aos critérios da NBR ISO 16290:2015 e questões pertinente aos aspectos analisados (técnicos, documentais, político legais e econômicos) baseados nas metodologias avaliadas e enquadradas na NBR ISO 16290:2015.

A metodologia desenvolvida mostrou-se mais específica uma vez que 75% das respostas obtidas tiveram o TRL da NBR ISO 16290:2015 maior que o da Calculadora TRL IAE/ITA-2016-1, demonstrando a subjetividade mencionada na Norma.

O processo de criação da metodologia e o aplicativo desenvolvido viabilizam a reprodutibilidade da avaliação de TRL. A metodologia padronizou o processo de avaliação e tornou possível uma melhor comparação de tecnologia a tecnologia, possibilitou também uma comparação aos aspectos da NBR ISO 16290:2015 com os aspectos desenvolvidos, dando ao gestor uma melhor visão da tecnologia/projeto avaliado. As questões desenvolvidas e o

processo de avaliação foi confirmado e comprovado pelos gestores entrevistados, confirmando a eficiência, eficácia da metodologia e o cumprimento do objetivo proposto nesta pesquisa.

Referências

AAB- Associação Aeroespacial Brasileira. **A visão da AAB para o Programa Espacial Brasileiro**. São José dos Campos-SP. Novembro 2010. 74p. Disponível em: http://www.aeroespacial.org.br/downloads/AAB_VisaoProgramaEspacialBrasileiro_vFinal(201011).pdf . Acesso em: fevereiro 2016.

ABDI. GÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL – ABDI. **Determinantes da acumulação de conhecimento para inovação tecnológica nos setores industriais no Brasil: Base Industrial de Defesa**. Brasília: [s. n.], 2010. 70 p.

AEB. Agência Espacial Brasileira. **Foguete brasileiro recebe certificação**. 27 de julho de 2009. Disponível em: < http://www.aeb.gov.br/foguete-brasileiro-recebe-certificacao/ Acesso em: setembro 2016.

AFRL. **Air Force Research Laboratory – About us**. Published December 15, 2014. [Online] Disponível em:

http://www.af.mil/AboutUs/FactSheets/Display/tabid/224/Article/104463/air-force-research-laboratory.aspx. Acesso em: setembro 2016.

AIAB, Associação das Indústrias Aeroespaciais do Brasil. **Plano de Desenvolvimento do Polo Aeroespacial da Região de São José dos Campos-SP**. Outubro, 2007. Disponível em: http://www.desenvolvimento.gov.br/arquivos/dwnl_1248288458.pdf>. Acesso em: fevereiro 2016.

ALMEIDA, V. R. Sensores Iniciais Fotônicos para aplicações aeroespaciais: nível de maturidade tecnológica. Monografia apresentada em 05.set.2008. CCEM 2008.

ALMEIDA, D.S. **Motor Foguete a Propelente Líquido L75**. 6° SePP&D- Seminário de Projetos e Desenvolvimento em Veículos Espaciais e Tecnologias Associadas. Workshop: Tendências Futuras para Veículos Lançadores. IAE. São José dos Campos. Agosto 2012. Disponível em:

http://servidor.demec.ufpr.br/CFD/bibliografia/IAE/Palestra%20L75_%20Daniel%20S%20 de%20Almeida 6%20SePPeD.pdf> . Acesso em : 15 de setembro 2016.

ALTUNOK, T., CAKMAK, T. A technology readiness levels (TRLs) calculator software for systems engineering and technology management tool. Advances in Engineering Software, Elsevier available [Online] 25 january 2010. Disponível em: Acesso em: março 2015.

BOEING. **Boeing CLEEN Technologies Briefing**. [Online] 27 de Outubro de 2010. Disponível em:

 $< http://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/apl/research/aircraft_technology/cleen/2010_c onsortium/media/Boeing\%20-$

%20FAA%20CLEEN%20Consortium%202010%20%20Unlimited%20Rights.pdf.> Acesso em: maio 2015.

BRASIL- **Constituição Federal do Brasil**. Art. 1°- I; Art. 3°- II; Art. 4°- I; Art. 218- § 2°; Art. 219.1988. [Online] Disponível em: <

http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Constituicao/Constituicao.htm> Acesso em: setembro 2015.

CANADA. Defence Research and Development Canada. **A Technology Maturity Measurement System for the Department of National Defence: The TML System**. DRDC Atlantic CR 2005-279. 2006. [Online]. Disponível em: http://cradpdf.drdc.gc.ca/PDFS/unc56/p525859.pdf Acesso em: maio 2015.

CANONGIA, C.; SANTOS, D. M.; SANTOS, M.M.; ZACKIEWICZ, M. *Foresight*, inteligência e gestão do conhecimento: instrumentos para a gestão da inovação. Gestão e Produção. V. 11, n 2. p. 231-238, mai.- ago. 2004.

DEVEZAS, et al. The struggle for space: Past and future of the space race. **Technological Forecasting and Social Change**, v.79, n.5, p. 963 – 985, Junho de 2012.

DEVEZAS, T.C. Apostila de Prospecção Tecnológica. Disciplina do ITA. 2014.

DHSS. Department of Homeland Security Science and Technology Readiness Level Calculator (ver 1.1). Final Report and User's Manual. Arlington. 79p. September, 2009.[Online] Disponível em:

<www.anser.org/docs/reports/DHS_ST_RL_Calculator_report20091020.pdf> Acesso em:
maio 2015.

DOD. **Technology Readiness Assessment (TRA) Deskbook**. [Online] Julho de 2009. Disponível em: < https://www.skatelescope.org/public/2011-11-18_WBS-SOW_Development_Reference_Documents/DoD_TRA_July_2009_Read_Version.pdf.>. Acesso em: 11 de janeiro de 2016.

DOD 2011 *GUIDANCE* - **Technology Readiness Assessment (TRA) Guidance**.[Online] Departamento de Defesa dos Estados Unidos. Abril de 2011. Pdf. Disponível em: < http://www.acq.osd.mil/chieftechnologist/publications/docs/TRA2011.pdf> Acesso em: fevereiro 2016.

DOD. **About the Department of Defense**. Agosto, 2015.[Online] Disponivel em: http://www.defense.gov/About-DoD>. Acesso em: 09 fevereiro 2016.

ELFES. **Alberto Elfes do Jet Propulsion Lab** - Fonte: Entrevista no Estadão, 05 março 2011. [Online]. Disponível em: http://saude.estadao.com.br/noticias/geral,nasa-cogita-explorar-tita-lua-de-saturno,688306 Acesso em: abril 2016.

ESA- European Space Agency. Future Mission Office- Technology Readiness Level (TRL). June, 2015. [Online] Disponível em: < http://sci.esa.int/sci-ft/50124-technology-readiness-level/> Acesso em: março 2016.

ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA. United States General Accounting Office. **BEST PRACTICES**: Better Management of Technology Development Can Improve Weapon System Outcomes, GAO/NSIAD-99-162, Washington, D.C., 1999.

- FERENCE, T.P.; THURMAN, P.W.; tradução Silvio Antunha. **Estratégia**. Série fundamentos. Conhecimento real para o mundo real. São Paulo: Saraiva, 2012. 192 p.
- FREIRE, A.P.B.B. Metodologia de Avaliação de Nível de Maturidade Tecnológica para o Ciclo de Vida dos Materiais. Maj QEM Antonio Paulo Bruno de Britto Freire. Rio de Janeiro, 2006. 18 p.
- GANEM, C. Política Espacial Brasileira- uma reflexão. In: Rollemberg, R. (relator); Veloso, E. M. (coord.); Filho, A. P. Q.; demais autores. **A política espacial brasileira.** Série cadernos de altos estudos 2v.- número 7. Brasília, DF: Câmara dos Deputados- Edições Câmara. 2009. p.107 -112.
- GUIDANCE. DOD 2011- **Technology Readiness Assessment (TRA) Guidance**. Departamento de Defesa dos Estados Unidos. Abril de 2011.[Online] Disponível em: https://www.researchgate.net/file.PostFileLoader.html?id=5566cff45cd9e318e88b4696&assetKey=AS:273785192681472@1442286884102 Acesso em: 11 de janeiro 2015.
- HANDBOOK. **Technology Readiness Levels Handbook for Space Applications**. 2008 [Online]. Disponível em:< https://artes.esa.int/sites/default/files/TRL_Handbook.pdf.>. Acesso em: 08 março 2015.
- IAE. Instituto de Aeronáutica e Espaço. **Relatório de atividades**. 2011. p.65. Disponível em: http://www.iae.cta.br/Arquivos/Relatorio_de_atividades_2011.pdf . Acesso em: 15 de setembro de 2016.
- JUCA, A.S.J.; CONFORTO, E.C.; AMARAL, D.C. Maturidade em gestão de projetos em pequenas empresas desenvolvedoras de software do Polo de Alta Tecnologia de São Carlos. Gest. Prod., São Carlos, v. 17, n. 1, p. 181-194, 2010
- KERZNER, H. **Gestão de Projetos: as melhores práticas**. Porto Alegre: Bookman, 2006. 158 p.
- LARGENT, M. C. A Probabilistic Risk Management Based Process for Planning and Management of Technology Development. A Thesis presented in Partial Fulfillment of the requirements for the Degree Doctor of Philosophy in Aerospace Engineering. Georgia Institute of Technology, 2003.
- MAGNO, A.; REJANE, C.; SIMÕES, F.; PEREIRA, I.; SIMÕES, L. Compreendendo como os modelos de maturidade facilitam no desenvolvimento de projetos. UNEB. SALVADOR, 2011. Disponível em: <

http://www.csi.uneb.br/engenharia_de_software/anexos/Artigo-ModelosdeMaturidade.pdf>. Acesso em: 04 abril 2016

- MALLACO, L.M.R.; MIRABEL C.R. **As Tecnologias Amadurecem**. Instituto de Aeronáutica e Espaço, Revista Qualidade nº 3, 2011.
- MALLACO, L.M.R. Nota técnica de TRL. Comunicação privada- reservado. 2014

- MANKINS, J.C., *Technology Readiness Level: A White Paper.* Advanced Concepts Office, Office of Space Acess and Technology, NASA, April 6, 1995. [Online]. Disponível em: https://www.hq.nasa.gov/office/codeq/trl/trl.pdf>. Acesso em: maio 2015.
- MANKINS, J.C., **Technology readiness and risk assessment: A new approach**. Artemis Innovation Management Solutions LLC, Ashburn VA USA. Research Gate Available [Online] 17 abril 2009. A. Disponível em: <

https://www.researchgate.net/publication/256934710_Technology_Readiness_and_Risk_Asse ssments_A_New_Approach >. Acesso em: maio 2015.

MANKINS, J.C., **Technology readiness assessment: A retrospective**. Artemis Innovation Management Solutions LLC, Ashburn VA USA. Science Direct Available [Online] 18 abril 2009. B. Disponível em: <

http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0094576509002008>. Acesso em: maio 2015.

MINAYO, M.C.S. **Análise qualitativa: teoria, passos e fidedignidade**. Fundação Oswaldo Cruz. Rio de Janeiro- RJ. Scielo, 2011. p. 621-626. Disponível em: http://www.scielosp.org/pdf/csc/v17n3/v17n3a07>. Acesso em: 05 julho 2016.

NASA. **Systems Engineering Handbook**. Washington DC: NASA, 2007. [Online]. Disponível em: < http://www.acq.osd.mil/se/docs/NASA-SP-2007-6105-Rev-1-Final-31Dec2007.pdf> Acesso em: julho 2016.

NASA. **Termômetro de representação dos níveis de TRL**. Figura. [Online] Disponível em: http://www.hq.nasa.gov/office/codeq/trl/trlchrt.pdf>. Acesso em: 05 mai. 2016.

NBR ISO 16290:2015. **Sistemas espaciais- Definição dos níveis de maturidade da tecnologia (TRL) e de seus critérios de avaliação**. Norma Brasileira. Primeira edição. 16 outubro de 2015.

NOLTE, W. L.; KENNEDY, B. C.; DZIEGIEL JUNIOR, R. J. **Technology Readiness Calculator**. In: 6th Annual System Engineering Conference, 2003, San Diego. Anais eletrônicos... San Diego: NDIA, 2003. Disponível em http://www.dtic.mil/ndia/2003systems/nolte2.pdf. Acesso em: julho 2016.

NOLTE, W. **Readiness Level Proliferation.** AFRL/XPQ. Integrity, service, excellence.[Online] Dtic.mil. EUA. 26 october 2011. Disponível em: http://www.dtic.mil/ndia/2011system/13132_NolteWednesday.pdf>. Acesso em: julho 2016. .

OLECHOWSKI, A.; EPPINGER, S. D.; JOGLEKAR, N. Technology Readiness Levels at 40: a study of state-of-the-art use challenges, and opportunities. MIT Sloan School of Management, MIT Sloan School Working Paper 5127- 15. [Online] April 1, 2015. Disponível em: https://dspace.mit.edu/bitstream/handle/1721.1/96307/MITSloanWP5127-15 Eppinger PICMET.pdf?sequence=1 >.Acesso em: julho 2015.

OT. Relatório de Atividades do Observatório Tecnológico do setor Aeroespacial. 2015. [RESERVADO- comunicação privada].

- PANTOJA, F.C.M.; KASEMODEL, C.A. Os desafios e a estratégia brasileira de acesso ao espaço. In: BRASIL. Presidência da República. Secretaria de Assuntos Estratégicos (Org.). **Desafios do Programa Espacial Brasileiro.** Brasília, DF, 2011.p.125-138.
- PARDINI, L.C.; GONÇALVES, A. **Processamento de compósitos termoestruturais de carbon reforçado com fibras de carbono**. JATM- Journal of Aerospace Technology and Management. V.1, n.2. [Online] JUL-DEC. 2009. 12.p. Disponível em: http://www.jatm.com.br/ojs/index.php/jatm/article/view/30/236 Acesso em: Setembro 2016.
- PNAE. **Programa Nacional de Atividades Espaciais: PNAE: 2012-2021**/ Agência Espacial Brasileira. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, Agência Espacial Brasileira, 2012.3 6 p.: il.
- RIBEIRO, J.R. Construção de Cenários Futuros para o Setor Espacial. 2014. 184f. Tese de doutorado em Produção- Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.
- ROSSI, Juliano Scherner. **Transferência Internacional de Tecnologia: A Política de Compensação Comercial, Industrial e Tecnológica (de offset) do Ministério da Defesa e o Regime Internacional de Proteção do Know-How**. Orientador: Luiz Otávio Pimentel Florianópolis –SC, 2015. 199p.
- SADIN, S.R.; POVINELLI, F.P. e ROSEN R. *The NASA technology pushes towards future space mission systems*. Acta Astronautica, Vol 20, 1989, pág.73-77.
- SALGADO, Maria Cristina Vilela. **Estudo sobre tecnologias críticas de veículos espaciais aplicado ao Instituto de Aeronáutica e Espaço.** 2016. 200f. Tese de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Aeronáutica e Mecânica na área de Produção Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos. (Cominucação privada).
- SANTANA JÚNIOR, A. O desafio da propulsão líquida- tecnologia estratégica para o Brasil. In: BRASIL. Presidência da República. Secretaria de Assuntos Estratégicos (Org.). **Desafios do Programa Espacial**. Brasília, DF, 2011. p. 161- 190.
- SILVA, Alexandre Wilson Alves. **Utilização da metodologia QFD na aquisição de produtos aeroespaciais**. Dissertação de mestrado- Universidade de Taubaté, Departamento de Engenharia Mecânica. 2011. 121f.
- SILVA, Edna Lúcia da e MENEZES, Estera Muszkat. **Metodologia da Pesquisa e Elaboração de Dissertação**. 3a edição revisada e atualizada. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Laboratório de Ensino a Distância. 2001. 121 páginas.
- SINDCT. SindCT- Jornal do SindCT. Ano 6, número 48, junho/julho 2016 pág. 2.
- TONINI, A. C.; CARVALHO, M. M.; SPINOLA, M. M. Contribuição dos modelos de qualidade e maturidade na melhoria dos processos de software. Produção, v. 18, n. 2, p. 275-286, 2008. Disponível em: < http://www.scielo.br/pdf/prod/v18n2/06.pdf>. Acesso em: 03 de abril de 2016

WRIGHT, P. L.; KROLL, M. J.; PARNELL, J. **Administração estratégica: conceitos**. São Paulo: Atlas, 2000. 4ª ed. Tradução Celso A. Rimoli, Lenita R. Esteves. v. 1. 433 p.

Apêndice A- Setor Espacial

A 1 Setor Espacial

A 1.1 Setor Espacial no Mundo

O setor aeroespacial tomou a devida importância com a chamada corrida espacial, confronto entre duas superpotências buscando segurança nacional e superioridade tecnológica (AIAB, 2007).

A corrida espacial deu-se com o fim da Segunda Guerra Mundial, em 1945, quando a hegemonia de dois países com ideologias antagônicas buscava soberania. Os Estados Unidos (EUA) com a visão capitalista e a União Soviética (URSS) com ideologia socialista, instauraram então a chamada Guerra Fria. Disputa realizada sem combate físico, mas que colocou o mundo em grande tensão dada a possibilidade de aniquilação mútua (JÚNIOR, 2016; DEVEZAS, 2012; RIBEIRO, 2014).

O início da corrida espacial foi dado pela URSS em 1957, quando enviaram o primeiro satélite artificial, o Sputnik. Um mês depois a URSS lançou o Sputnik II levando a bordo o primeiro ser vivo a adentrar ao espaço, a cadela Laika. Pouco tempo depois a URSS colocou o primeiro homem no espaço, o astronauta russo Yuri Gagarin, a bordo da nave Vostok I.

Como resposta aos lançamentos da URSS, os EUA lançam o satélite Explorer I em 1958, e investem no projeto Apollo destinado à exploração da Lua. Em 1968, a bordo do Apollo 8 foi realizada a missão de reconhecimento da Lua, e no ano seguinte a espaçonave Apollo XI pousou a primeira nave na Lua, mudando a história aeroespacial e divulgando o primeiro homem a pisar na Lua.

O fim da guerra fria e da disputa entre os dois países deu-se em 1975, quando uniramse para a realização do projeto Apollo-Soyuz. Posteriormente, em 1991, a URSS se desintegra, oficializando então o fim da Guerra Fria e da primeira corrida espacial (SILVA, 2016).

Com a primeira corrida espacial veio a descoberta e o desenvolvimento de diversas tecnologias e inovações utilizadas até os dias de hoje, tais como os motores a jato e mísseis balísticos, assim como a criação de empresas privadas no setor espacial: *Boeing, Lockheed Martin, MacDonald Dettwiler, Hughes Aircraft Company e Raytheon*.

Muitas empresas privadas fecharam após a primeira corrida espacial, pois as maiores atividades estavam em poder do governo e a indústria não obteve um desenvolvimento de muito

progresso, embora atualmente reconheça-se que a maior eficiência foi das empresas privadas (RIBEIRO, 2014; DUNK, 2011).

As tecnologias espaciais estão intrínsecas na vida das pessoas, e são inúmeros os setores que se utilizam de tais tecnologias para sua sobrevivência. Atualmente as tecnologias espaciais vêm sendo utilizadas por diversos serviços, tais como: previsão meteorológica, monitoramento ambiental, meios de comunicação e desenvolvimento em P&D, levando a nação à autonomia e soberania, além da dualidade de sua aplicação na esfera civil e militar, o que torna a atividade espacial mais controlada e competitiva (BARTELS, 2004; AAB, 2010; VILELA, 2014).

Seu mercado de serviços movimenta em média US\$ 310 bilhões por ano no mundo, mas sua dominância tecnológica encontra-se restrita a alguns países (VILELA, 2014). O mercado de satélites é um setor em constante investimento e evolução. Cresce em média 6% ao ano e movimentou somente em 2010, R\$ 276,5 bilhões no mundo (PNAE, 2012).

Quando comparado com os outros segmentos de produtos, obtém o maior valor agregado, uma discrepância de 166.666 vezes mais que o setor não menos importante agrícola, sendo a relação preço/kg US\$ 50.000,00 e US\$ 0,30 respectivamente (AIAB, 2007).

De acordo com os dados da *Euroconsult* (2012), a estimativa para o mercado de satélites em órbitas LEO, MEO e GEO movimentará US\$168 bilhões, e o Governo é o principal cliente potencial para os próximos 50 anos (RIBEIRO, 2014).

Englobam-se em produtos espaciais duas vertentes: os veículos lançadores e os satélites, e os serviços gerados pela tecnologia espacial juntamente com os *spin-offs* gerados pelo setor (RIBEIRO, 2014).

O setor espacial é um dos mais importantes criadores de *spin-offs* para outros setores industriais nos países que conduzem programas espaciais (AAB, 2010). Já gerou 115 serviços para 17 diferentes setores no Brasil. = p. 16

Em uma lista publicada pela NASA foram gerados, entre 1976 e 2012, 1.800 spin-offs tecnológicos. (Relatório de Estudos Estratégicos OT) (AAB, 2010). Ademais aos spin-offs gerados, o constante investimento na atividade espacial tem motivações políticas e cooperação científica, além da intenção de o Estado promover soberania civil e militar pela autonomia de acesso ao espaço. Países com tal autonomia têm, além da geração de riquezas com a exploração econômica do setor, prestígio político e relevante desenvolvimento científico e tecnológico (RIBEIRO, 2014).

Devezas (2014) identifica, em sua apostila de Técnicas de Previsão, no estudo sobre antevisão para a 5^a onda de Kondratieff (2018-2035-2050), que há uma janela de oportunidade para os novos entrantes nesse mercado para uma nova corrida espacial. Ideologia essa

confirmada por Ribeiro (2014), que afirma: "Há evidências concretas que uma nova corrida espacial está emergindo com características distintas quando comparada à primeira corrida espacial estabelecida nas décadas de 1950 e 1960".

A quinta onda, que tem seu processo de ascensão em 2018, estagna-se em 2035 e finaliza em 2050; o estudo identifica em todas as áreas envolvidas no desenvolvimento de um país: infraestrutura, sistema de transporte, comunicações, materiais, ciência e energia primária, incluindo inovações e tecnologias de ponta (Quadro 1).

Quadro 1- Transformações que caracterizaram as quatro ondas de Kondratieff e antevisão para a 5ª

Onda Inovação	Primeira (1775-1802- 1829)	Segunda (1833- 1857-1880)	Terceira (1905-1920- 1937)	Quarta (1960- 1975-1993)	Quinta (2018- 2035-2050)
Infraestrutura	Canais	Linhas estradas de ferro	Redes de estradas. Linhas telefônicas. Eletrificação	Aeroportos Sistemas de Satélites	Estações Espaciais Autoestradas da Informação
Sistema de Transporte	Navegação fluvial	Comboios Barcos a vapor	Automóveis Aviões e hélice	Aviões a jato	Veículos espaciais reutilizáveis Maglevs ou equivalente
Comunicações	Publicações periódicas	Telégrafo	Telefone Rádio	Televisão Satélites	Ciberespaço, Internet, redes informáticas
Materiais	Ferro forjado	Ferro Fundido Aço Carbono	Aço Inoxidável Alumínio	Materiais sintéticos (plásticos, fibras, semicondutores)	Nano materiais HTSC Materiais Inteligente
Ciências	Química Eletromagnetismo Termodinâmica		Mecânica Quântica Teoria da relatividade	Genética (DNA) Ciência dos materiais Teoria do Caos	Fusão nuclear Inteligência Artificial Engenharia Genética

Energia Madeir Primária (máx. r	Carvão (máx. na 3 ^a)	Petróleo FFF (máx. na 4 ^a)	Eficiência energética (máx. na 5 ^a)	Alternativas hidrogênio (máx. na 6ª)
------------------------------------	----------------------------------	--	---	--

Fonte: Devezas (2014)

Pode-se identificar que as previsões para a 5 ª onda são basicamente tecnologias de ponta vindas da pesquisa espacial. Vale mencionar que o surgimento de uma tecnologia em uma determinada onda não restringe apenas aquela onda. Com a vinda de uma nova tecnologia, essa se aperfeiçoa e continua muitas vezes em constante evolução (DEVEZAS, 2014). O estudo ainda identifica como participantes da nova corrida espacial: Estados Unidos, Rússia, União Europeia, China, Japão e Índia.

Atualmente uma característica aparente da nova corrida espacial é que vão haver parcerias. A união passou a ser uma forma de obter resultados em um setor que demanda conhecimento de tecnologias de alta complexidade e investimentos exorbitantes. Kirkalev, Diretor do Centro de Treinamento dos Cosmonautas, explica que: "Diferentemente da primeira corrida espacial, hoje há mais cooperação espacial que competição entre os países" (NOTIMP, 2013).

Marc Swisdak, do Departamento dos Estudos da Física de Plasmas Espaciais da Universidade do Maryland (EUA) relata que a NASA recebe ajuda de outros países para manter a ISS, sendo grande parte desempenhada pela Rússia, por empresas privadas e as agências espaciais europeia e japonesa (NOTIMP, 2013).

A ESA, Agência espacial europeia, e a Rocosmos, agência espacial russa, assinaram um acordo em 2013 para estudar Marte e enviarem duas missões, 2016 e 2018 (NOTIMP, 2013). Embora a maior parte das empresas-líderes se localize nas nações mais desenvolvidas, países como China, Índia e Brasil apresentam competências não só em determinados elos da cadeia produtiva aeroespacial, como também em diversas etapas de concepção, desenvolvimento e integração de produtos aeroespaciais (AIAB, 2007).

O Brasil tem parceria com diversos países na América, Ásia e Europa em pesquisa científica conjunta, transferência de conhecimento e parceria de produção (AEB, 2012). Embora haja parcerias para desenvolvimento tecnológico aeroespacial, é preciso que essas iniciativas sejam conduzidas com certa habilidade, uma vez que deve haver a real transferência de conhecimento para ambas as partes envolvidas.

É necessário definir precisamente os objetivos e avaliar os riscos econômicos e jurídicos para que o processo de parceria seja bem-sucedido (ROSSI, 2015). O processo de parcerias não

extingue a estratégia de desenvolvimento própria dos países (RIBEIRO, 2014 apud GUIMARÃES, 1998).

A parceria pode ter fim e o desenvolvimento de tecnologias nessa área sofre muitas incertezas, obstáculos e embargos. Além da parceria de países vale mencionar a parceria público-privada, que é de suma importância por causa do setor privado sofrer menos embargos e possuir mais flexibilidade para adquirir tecnologias.

Quando comparado com os países como Índia, China e África do Sul, exceto a Rússia que já possui um histórico espacial, autonomia e tem em sua memória participação na primeira corrida espacial, o Brasil é o segundo menos desenvolvido espacialmente do grupo BRICS, perdendo apenas para a África do Sul.

O professor Celso Melo, da Universidade Federal de Pernambuco e ex-presidente da Sociedade Brasileira de Física, disse em entrevista para a revista Galileu quando perguntaram se o país adentraria na nova corrida espacial: "Não é que o Brasil vai perder o bonde, ele já perdeu. O país está atrás não só da China e da Índia, mas da Coreia do Sul e de Israel".

Em contrapartida vale mencionar que o Brasil faz parte de pequeno grupo de elite, entre países de alto-médio desenvolvimento com programas avançados em pesquisa de mísseis, defesa e espaço (ROBERT C. HARDING, AIR AND SPACE POWER JOURNAL, dez. 2009).

Dos países da América Latina, a Argentina é o único país com tecnologia de produção de satélite geoestacionário e veículo para o lançamento, fazendo com que entrasse para o seleto grupo de nações que projetam e fabricam satélites de forma totalmente autônoma, juntando-se a EUA, União Europeia, Rússia, Israel, Japão, China e Índia (LINO, 2015).

A 1.2 Setor Espacial Brasileiro

O polo aeroespacial brasileiro encontra-se em São José dos Campos, e é uma das maiores conquistas do desenvolvimento científico, tecnológico e industrial do país (BERNARDES, 2002).

As pesquisas espaciais foram iniciadas nos anos 60, incentivadas por políticas governamentais de atração regional e de desenvolvimento setorial. Criou-se o chamado Centro de Lançamento da Barreira do Inferno (CLBI), que em 1965 lançou um foguete da NASA e deu o pontapé inicial para grandes atividades especiais no Brasil, colocando o país como membro do seleto grupo de atividades espaciais (PONTES, 2015).

Nos anos 70 o Brasil dominava as tecnologias espaciais básicas, e nas décadas de 80 e 90 os institutos IAE, INPE, CLBI e CLA detinham mais de 2.000 funcionários na ativa. O

Brasil é o único a não possuir tecnologia de capacidade de lançamento de satélite (Tabela 1). Uma pesquisa realizada por Silva (2014) em estudos práticos, analisando os maiores feitos das agências espaciais, destacou que no Brasil o maior feito foi o lançamento do foguete VS-30 e V13 com propulsão de etanol líquido.

Tabela 1 - Orçamento civil dos programas espaciais governamentais

País	Agência	Orçamento anual (US\$ milhões)	Ano de fundação	Capacidade de lançamento de satélite
EUA	NASA	17.600	1958	Sim
Europa	ESA	5.350	1975	Sim
França	CNES	2.590	1961	Sim
Rússia	ROCOSMOS	2.400	1992	Sim
Japão	JAXA	2.100	2003	Sim
China	CNSA	1.300	1993	Sim
Índia	ISRO	1.010	1969	Sim
Irã	ISA	400	2004	Sim
Brasil	AEB	343	1994	Não
Ucrânia	NSAU	250	1992	Sim
Coréia do Sul	KARI	150	1989	Sim

Fonte: Euroconsult- Government Space Market (2010).

O PNAE destaca a importância de impulsionar o avanço industrial no setor espacial, enfatizando que a indústria espacial oferece cada vez mais - e melhor- soluções, produtos e serviço. Ultimamente, porém, o setor aeroespacial no Brasil não vem atraindo muitos recursos governamentais.

Pontes (2015) relata que na estimativa de investimento do BNDES (2013) para 2014-2017, o setor Aeronáutico é o que aparece com menor investimento, com uma estimativa para 25 bilhões de reais no período. A Associação das Indústrias Aeroespaciais do Brasil (2015), em análise feita de 2009 a 2014 nas vertentes de receitas, exportações e empregos gerados no país, relata o setor espacial como menos importante para todo o setor aeroespacial brasileiro.

Inclui, como atividades da área de espaço, pesquisas e desenvolvimento de satélites e suas estruturas; sistemas e sensores; propulsão; veículos espaciais; integração de sistemas; segmentos de solo; serviços de engenharia; consultorias e suas aplicações, conforme Tabela 2.

Tabela 2: Participação da Industria Aeroespacial

	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Receitas	6,9	6,7	6,8	7,5	7,0	6,4
(US\$ bilhões)		ŕ	ŕ	•	•	•
Exportações	5,14	4,99	5,1	6,00	5,4	5,1
(US\$ bilhões)						
Empregos	24.000	22.600	22.900	23.500	27.000	24.000

Fonte: Associação das Indústrias Aeroespaciais do Brasil (2016); Pontes (2015).

Dos últimos seis anos, o ano de 2014 apontou maior decadência no setor aeroespacial: foi o ano com menor receita; o segundo menor com valores em exportação; houve queda no número de empregos; e o setor aeroespacial não deteve muitas empresas no país.

De acordo com dados atualizados em março de 2015, estão cadastradas no Instituto de Fomento e Coordenação Industrial (IFI, do DCTA) 354 empresas, habilitadas em todo território nacional e a especializadas para realizarem serviços ao setor aeroespacial, que vem movimentando 24 mil funcionários (PONTES, 2015).

Tabela 3: Segmentação da Industria Aeroespacial do Brasil

	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Aeronáutica	87,55%	82%	86,79%	85,7%	80,38%	84,24%
Defesa	8,8%	12,83%	10,58%	12,18%	17,13%	75,40%
Espacial	0,44%	0,50%	0,63%	0,23%	0,46%	0,0012%
Outros	3,21%	4,67%	2,01%	1,26%	0,02%	0,0015%
Exportação	74%	73,8%	75,4%	81,42%	78,55%	79,64%

Fonte: Associação das Indústrias Aeroespaciais do Brasil (2016); Pontes (2015).

Os dados fortalecem a mencionada falta de recursos instaurada no setor espacial (Tabela 3), que detém menos de 1% de todo o setor. A análise do último dado divulgado do setor espacial tem ainda menos importância: sua participação caiu em 76% dentro do setor aeroespacial, saindo de 0,5% para 0,0012%. Já os demais setores não tiveram quedas. O setor de aeronáutica manteve a média de 85% e o setor de d efesa no último ano subiu de 12,3% para 75,4%.

Apesar do problema de recursos que o país enfrenta, é preciso relatar que tem como privilégio sua localização geográfica. A base de lançamento é favorável ao lançamento de satélites brasileiros e de interesse estrangeiro comercial (GUIMARÃES, ano?). Sua localização

pode, portanto, gerar recursos financeiros e transferência tecnológica considerável se bem estipulada no processo de parceria com os países para desenvolvimento do campo comercial.

Como histórico foram lançados, na base brasileira, 2.984 foguetes. Desse total, 2.497 até a década de 90, e 487 desde 90 até março de 2015, sendo 2.405 foguetes nacionais e 579 foguetes estrangeiros.

O Observatório Tecnológico (OT) em sua análise de tendências do setor espacial publicou no Relatório de Atividades 2013-2014 que identificou a necessidade de priorizar e acelerar o desenvolvimento das tecnologias críticas para atender à necessidade nacional e desenvolver o campo comercial para o setor aeroespacial no país.

No Relatório foram citadas, também, algumas transformações que o setor está passando, dentre elas:

- -multipolarização do espaço com a entrada de novos atores espaciais
- -disputa entre os principais atores espaciais (EUA, China, Rússia, Índia, Japão e Europa) por meio de missões científicas para Lua e Marte,
- -crescimento da quantidade de satélites de pequeno porte em órbita baixa,
- -investimento no desenvolvimento da própria constelação de satélites de Sistema de Posicionamento Global (GPS),
- -crescimento da quantidade de empresas espaciais privadas assumindo novos papéis, produtos e mercados,
- -crescimento do lixo espacial, desenvolvimento de veículos lançadores de pequeno porte ou de grande porte, entre outros" (RELATÓRIO DE ATIVIDADES DO OBSERVATÓRIO TECNOLÓGICO DO IAE)

Política Espacial Brasileira

O setor espacial brasileiro é regido pela Política Nacional de Desenvolvimento das Atividades Espaciais (PNDAE), Decreto nº 1.332, que estabelece objetivos e diretrizes para os programas e projetos relacionados à área de espaço.

O conjunto de ações e diretrizes das atividades espaciais no Brasil é descrito pelo Programa Nacional de Atividades Espaciais (PNAE), que é desenvolvido pelo Sistema Nacional de Desenvolvimento das Atividades Espaciais (Sindae) e coordenado pela AEB, conforme Figura 1.

O INPE e o DCTA são os centros responsáveis pelo desenvolvimento das atividades espaciais descritas no PNAE e são os principais órgãos do Sindae.

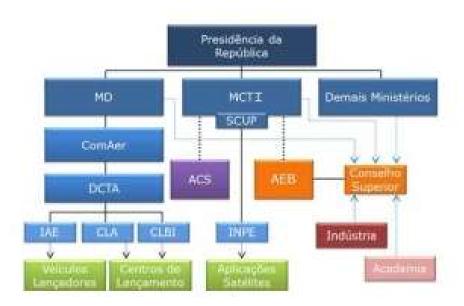


Figura 1: Organograma da Política Espacial Brasileira (AEB, 2016).

PNAE

O Programa Nacional de Atividades Espaciais (PNAE) está em sua quarta versão (2012-2021). Tem como prioridade impulsionar o avanço industrial, apelando à inventividade e ao empreendedorismo no país. No PNAE são descritas as diretrizes estratégicas do país no setor espacial:

(se é prioridade já é maior)

- 1) consolidar a indústria espacial brasileira;
- 2) desenvolver itens do programa de tecnologias críticas;
- 3) ampliar parcerias com outros países;
- 4) estimular o financiamento de programas em parcerias públicas/privadas;
- 5) promover maior integração do sistema de governança das atividades espaciais no país;
- 6) aperfeiçoar a legislação para dinamizar as atividades espaciais no país;
- 7) fomentar a formação e capacitação de especialistas no setor espacial brasileiro; e
- 8) promover a conscientização da opinião pública sobre a relevância do estudo.

De acordo com o PNAE, o acesso ao espaço é indispensável ao Brasil:

Precisamos de mais telecomunicações, mais conhecimento e uso sustentável de recursos naturais, maior e melhor acompanhamento das mudanças ambientais e climáticas, mais rapidez e competência para enfrentar os desastres naturais, mais vigilância nas fronteiras e costas marítimas, mais redução das desigualdades regionais, mais promoção da inclusão social" (PNAE).

Atualmente há oito projetos mobilizadores e estruturantes no PNAE. Para a sua realização foram definidas quatro ações estratégicas, que devem ser tomadas para a realização e concretização dos projetos existentes no país:

- organizar e fortalecer a cadeia produtiva da indústria espacial;
- ampliar o mercado de produtos e serviços espaciais;
- incrementar a participação em projetos de cooperação internacional; e
- dominar as tecnologias críticas necessárias ao nosso desenvolvimento.

A ação estratégica de dominar as tecnologias críticas necessárias ao desenvolvimento do país teve ênfase com a criação do Observatório Tecnológico.

Observatório Tecnológico

O observatório tecnológico foi criado em 2013 pelo projeto Prospecção Tecnológica para Veículos Lançadores de Satélites (PROSPECTA), um projeto CNPq da chamada 33. Tem por finalidade três grandes atividades:

- 1ª) a área de prospecção, responsável pelas análises de tendências, de patentes, bibliográficas, e construção de cenários futuros, trabalho da tese de Doutorado da Dra. Joana Ramos Ribeiro Gomes:
- 2^a) a construção de um *Roadmap*, produto final entregue pelo projeto e trabalho da tese de doutorado da M^a. Maria Cristina Vilela Salgado; e
- 3ª) levantamento de tecnologias críticas, análise, validação e priorização e ponderação de critérios para desenvolvimento das TCs do setor espacial do Instituto.

O presente trabalho toma por ambiente de estudo as tecnologias críticas levantadas pelo Projeto PROSPECTA, doravante Observatório Tecnológico.

Tecnologias Críticas

A tecnologia constitui um dos temas mais sensíveis no desenvolvimento de um país, de modo que a nenhum estado moderno pode ignorá-la (ROSSI, 2015). O domínio tecnológico possibilita o surgimento de novos produtos e serviços, e sua produção em excelência ocasiona venda direta e produção em larga escala. A consequência é maior eficiência e redução de custos.

Pimentel (2010) afirma que tecnologia se encontra na raiz do crescimento econômico e é um fator de competitividade cada vez mais importante para o desempenho industrial e comercial do país e de suas empresas.

Ao tratar-se de tecnologias do setor espacial é necessário um enfoque a mais, uma vez que as tecnologias necessárias para esse setor espacial são denominadas tecnologias críticas-TC. Adotou-se neste trabalho o conceito de TC do Observatório Tecnológico do IAE:

Tecnologias Críticas são tecnologias necessárias para o desenvolvimento não dependente dos projetos e programas estabelecidos pelo Instituto. O seu domínio torna o país independente da importação destas tecnologias, cujo embargo já existe ou pode vir a existir no futuro. Consequentemente, dependem de áreas essenciais que fortalecem a capacidade industrial e de inovação para realização de seus projetos (IAE).

A relevância do domínio das tecnologias críticas é relatada no PNAE (2012):

É imperativo priorizar o desenvolvimento e o domínio das tecnologias espaciais críticas, indispensáveis ao avanço industrial e à conquista da necessária autonomia nacional em atividade tão estratégica. Esse domínio so se alcança com intensa e efetiva participação sinérgica do governo, centros de pesquisa, universidades e indústrias.

As tecnologias descobertas no setor aeroespacial têm sido modificadas e transferidas para outros setores, ilustrando essas aplicações muitos dos avanços observados em telecomunicações, transporte, energia, sensoriamento remoto, meteorologia, medicina e agricultura. Ainda existem, porém, muitos enclaves a vencer para a produção de tecnologias aeroespaciais, como citado por Cairo (2014):

Há desafios a vencer no desenvolvimento e na produção nacional dos novos materiais, que incluem a falta de investimento contínuo para pesquisa e desenvolvimento com foco no cliente, a falta de qualificação e consolidação de fornecedores nacionais de matérias-primas, a pequena interação entre empresas e institutos de pesquisa e universidades e a dificuldade para acesso a financiamentos.

Obter o domínio, ou seja, atingir a maturidade das tecnologias críticas (TC) do setor espacial é de suma importância, uma vez que essas tecnologias têm caráter dual, com aplicações na esfera civil e militar. Sofrem, no entanto, embargos e dificuldades de aquisição ameaçando

os projetos existentes no Instituto, tornando-se assunto relevante para a Agência Espacial Brasileira (AEB) e para o Ministério da Defesa (MD).

REFERÊNCIAS

AAB- Associação Aeroespacial Brasileira. **A visão da AAB para o Programa Espacial Brasileiro**. São José dos Campos-SP. Novembro 2010. 74p. Disponível em: http://www.aeroespacial.org.br/downloads/AAB_VisaoProgramaEspacialBrasileiro. Final(201011).pdf>. Acesso em: fevereiro 2016.

AEB. Agência Espacial Brasileira. **Cooperação Internacional**. 2012. Disponível em: < http://www.aeb.gov.br/cooperacao-internacional/> Acesso em: setembro 2016.

AIAB, Associação das Indústrias Aeroespaciais do Brasil. **Plano de Desenvolvimento do Polo Aeroespacial da Região de São José dos Campos-SP**. Outubro, 2007. Disponível em: http://www.desenvolvimento.gov.br/arquivos/dwnl_1248288458.pdf. Acesso em: fevereiro 2016.

BARTELS, Walter. **Cenário atual e perspectiva da indústria aeronáutica brasileira**. AIAB- Associação das Industrias Aeroespaciais do Brasil. Seminário "O adensamento da cadeia produtiva da indústria aeronáutica- BNDES. Rio de Janeiro, 15 abril. 2004. Disponível em: <

http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhec imento/seminario/aer AIAB.pdf>. Acesso em: 22 dezembro 2015.

BERNARDES, Roberto; PINHO, Marcelo. **Aglomeração e aprendizado na rede de fornecedores locais da Embraer**. Rede de pesquisa em Sistemas Produtivos e Inovativos Locais. Projeto da Univesidade Federal do Rio de Janeiro. 36 p. Setembro, 2002. Disponível em: < http://www.ie.ufrj.br/redesist/NTF2/NT%20Bernardes-Pinho.PDF>. Acesso em: 11 mar. 2016.

DEVEZAS, et al. The struggle for space: Past and future of the space race. **Technological Forecasting and Social Change**, v.79, n.5, p. 963 - 985, Junho de 2012.

DEVEZAS, T.C. Apostila de Prospecção Tecnológica. Disciplina do ITA. 2014.

DUNK, F.G. Space tourism, pivate spaceflight and the law: key aspects. **Space Policy**, v.27, n.3, p. 146-152, agosto 2011.

JÚNIOR, Demercino José Silva. **"A corrida espacial"**; *Brasil Escola*. Disponível em http://brasilescola.uol.com.br/historiag/a-corrida-espacial.htm. Acesso em 13 de abril de 2016

LINO, Geraldo Luis. **Argentina e Brasil: Perspectivas Diferentes na Exploração Espacial.** Março 2015. [Online]. Disponível em: http://msiainforma.org/argentina-e-brasil-perspectivas-diferentes-na-exploração-espacial/. Acesso em: agosto 2016.

NONAKA, Ikujiro; TAKEUCHI, Hirotaka. **Criação de conhecimento na empresa**: como as empresas japonesas geram a dinâmica da inovação. Rio de Janeiro: Campus, 1997.

NOTIMP 332. **Radio Voz da Russia**. 29 novembro 2013. Disponível em: < http://www.fab.mil.br/notimp/mostra/29-11-2013> Acesso em: 14 dezembro de 2015.

PIMENTEL, Luiz Otávio (Org.). Curso de propriedade intelectual & inovação no agronegócio. 2. ed. Brasília : MAPA ; Florianópolis : EaD/UFSC, 2010.

PNAE. **Programa Nacional de Atividades Espaciais: PNAE: 2012-2021**/ Agência Espacial Brasileira. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, Agência Espacial Brasileira, 2012.3 6 p.: il.

PONTES, Anderson da Silva. O complexo Militar e o Setor Aeroespacial Brasileiro no Processo de Industrialização Nacional (1960-2015). 2015. 62 f. Monografia (Bacharelado) - Curso de Economia, Departamento de Economia, UFRN, Natal, 2015.

Relatório de Atividades-OT. Relatório de Atividades do Observatório Tecnológico do setor Aeroespacial. 2015. [RESERVADO- comunicação privada

RIBEIRO, J.R. Construção de Cenários Futuros para o Setor Espacial. 2014. 184f. Tese de doutorado em Produção- Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.

ROSSI, Juliano Scherner. **Transferência Internacional de Tecnologia: A Política de Compensação Comercial, Industrial e Tecnológica (de offset) do Ministério da Defesa e o Regime Internacional de Proteção do Know-How.** Orientador: Luiz Otávio Pimentel – Florianópolis –SC, 2015. 199p.

SILVA, Débora. **Corrida Espacial.** *Estudo Prático*. Disponível em:< http://www.estudopratico.com.br/corrida-espacial-contexto-historico-e-principais-fatos/>. Acesso em 12 de abril de 2016.

SINDCT. SindCT- Jornal do SindCT. Ano 6, número 48, junho/julho 2016 pág. 2.

VILELA, Thyrso; BRANDÃO, Alessandra de Moura; MAIA, Jackson Max Furtunato. Considerações sobre gerenciamento tecnológico e de recursos humanos na área espacial. Abordagens metodológicas, seção 2. CGEE. 20p. Disponível em: http://seer.cgee.org.br/index.php/parcerias_estrategicas/article/viewFile/742/680. Acesso em 13 nov. 2015.

ANEXO 1 - Capítulo 2 da Norma ABNT NBR 16290:2015

Termos e definições

Para os efeitos deste documento, aplicam-se os seguintes termos e definições.

2.1 maquete

Modelo físico (2.10) projetado para ser submetido a ensaios de funcionalidade e adaptado à necessidade da demonstração.

2.2 função crítica de um elemento

Função mandatória que requer verificação específica da tecnologia (2.19)

NOTA 1 - Esta situação ocorre quando o elemento ou seus componentes são novos e não é possível que sejam avaliados com base em realizações anteriores, ou quando o elemento é usado em um domínio novo, como nova condição ambiental ou diferente utilização específica não demonstrada anteriormente.

NOTA 2 Quando usada nesta Norma, "função crítica" sempre se refere a "função crítica da tecnologia" e não convém confundir com "função crítica de segurança".

NOTA 3 Quando usada nesta Norma, "função crítica" sempre se refere à "função crítica de um elemento".

2.3 parte crítica de um elemento

Parte do elemento associada a uma função crítica

NOTA 1 A parte crítica de um elemento pode representar um subconjunto do elemento e a verificação da tecnologia para a função crítica pode ser obtida por ensaios dedicados apenas à parte crítica.

NOTA 2 Sempre que for utilizado nesta Norma, "parte crítica" se refere a "tecnologia da parte crítica".

NOTA 3 Sempre que for utilizado nesta Norma, "parte crítica" se refere a "parte crítica de um elemento".

2.4 elemento

Item ou objeto sob consideração para a avaliação da maturidade tecnológica

NOTA O elemento pode ser um componente, uma parte do equipamento, um subsistema ou um sistema.

2.5 função do elemento

Efeito previsto para o *elemento* (2.4)

2.6 requisitos de desempenho funcional

Subconjunto dos requisitos de desempenho (2.14) de um elemento (2.4), especificando as funções do elemento (2.5)

NOTA Os requisitos de desempenho funcional não necessariamente incluem requisitos resultantes do ambiente operacional.

2.7 ambiente laboratorial

Ambiente controlado necessário para demonstrar os princípios subjacentes e o desempenho funcional

NOTA O ambiente laboratorial não se refere necessariamente ao ambiente operacional (2.11)

2.8 tecnologia madura

Tecnologia definida por um conjunto de *processos reprodutíveis* (2.17) para o projeto, a fabricação, os ensaios e a operação de um *elemento* (2.4), de modo a satisfazer um conjunto de requisitos de desempenho no *ambiente operacional* (2.11) real

2.9 operações relativas à missão

Sequência de eventos que são definidos para o atendimento da missão

2.10 modelo

Representação física ou abstrata de aspectos relevantes de um *elemento* (2.4), que serve de base para cálculos, predições, ensaios e avaliações futuras

NOTA 1 O termo "modelo" também pode ser usado para identificar casos particulares do elemento, por exemplo, modelo de voo.

NOTA 2 Adaptado da ISO 10795, definição 1.141.

2.11 ambiente operacional

Conjunto de condições naturais e induzidas que constitui uma restrição para o *elemento* (2.4) desde a definição de sua concepção até sua operação

EXEMPLO 1 Condições naturais: tempo, clima, condições oceânicas, terreno, vegetação, poeira, luz, radiação etc.

EXEMPLO 2 Condições induzidas: interferência eletromagnética, calor, vibração, poluição, contaminação etc.

2.12 requisitos de desempenho operacional

Subconjunto dos requisitos de desempenho (2.14) de um elemento (2.4), especificando as funções do elemento (2.5) em seu ambiente operacional (2.11)

NOTA 1 Os requisitos de desempenho operacional estão expressos por meio de especificações técnicas, cobrindo todos os domínios da engenharia. Eles são validados por meio de operações em órbita bem-sucedidas e podem ser verificados por meio de uma coleção de verificações do elemento em solo, cobrindo integralmente

NOTA 2 O conjunto de requisitos de desempenho de um elemento consiste nos requisitos de desempenho operacional e nos requisitos de desempenho para o uso do elemento em solo.

2.13 desempenho

Aspectos de um *elemento* (2.4) observados ou medidos a partir de sua operação ou função NOTA 1 Esses aspectos são geralmente quantificados.

NOTA 2 Adaptado da ISO 10795, definição 1.155.

2.14 requisitos de desempenho

Conjunto de parâmetros que são satisfeitos pelo *elemento* (2.4)

118

NOTA O conjunto completo de requisitos de desempenho inclui inevitavelmente as condições

ambientais nas quais o elemento é usado e operado e, portanto, está ligado a (s) missão (ões)

em consideração e também ao ambiente do sistema no qual ele está incorporado.

2.15 processo

Conjunto de atividades inter-relacionadas ou integradas que transformam entradas em saídas

NOTA 1 Entradas de um processo são geralmente saídas de outros processos.

NOTA 2 Processos em uma organização são geralmente planejados e realizados sob condições

controladas para adicionar valor.

NOTA 3 Um processo no qual a conformidade do produto resultante não seja verificada

prontamente, em termos econômicos, é frequentemente chamado de "processo especial".

[FONTE: ISO 10795, definição 1.160]

2.16 ambiente relevante

Subconjunto mínimo do ambiente operacional (2.11), que é necessário para demonstrar o

desempenho das funções críticas do elemento (2.2) em seu ambiente operacional (2.11)

2.17 processo reprodutível

Processo (2.15) que pode ser repetido no tempo

NOTA 1 É fundamental na definição de "tecnologia madura" e está intimamente ligado à

capacidade de realização e de verificação.

NOTA 2 Um elemento desenvolvido "por acaso", mesmo que atenda aos requisitos, obviamente

não está declarado como sendo uma tecnologia madura, se houver pouca possibilidade de

reproduzir o elemento de uma forma confiável. Por outro lado, reprodutibilidade introduz

implicitamente a noção de tempo na definição de tecnologia madura. Uma tecnologia pode ser

declarada madura em um determinado momento, e degradada mais tarde para um nível de

maturidade mais baixo devido à obsolescência de seus componentes ou porque os processos

envolvem uma organização específica com habilidades únicas e que foi fechada.

119

2.18 requisito

Necessidade ou expectativa que é declarada e atendida

NOTA Adaptado da ISO 10795, definição 1.190.

2.19 tecnologia

Aplicação do conhecimento científico, ferramentas, técnicas, oficios, sistemas ou métodos de

organização, com o objetivo de resolver um problema ou atingir um objetivo.

2.20 validação

Confirmação, por meio de evidências objetivas, de que os requisitos (2.18) para um uso ou

aplicação específicos previstos foram satisfeitos

NOTA 1 O termo "validado" é usado para designar o status correspondente.

NOTA 2 Para o item: As condições de uso para validação podem ser reais ou simuladas.

NOTA 3 Para o item: Pode ser determinada por uma combinação de ensaio, análise,

demonstração e inspeção.

NOTA 4 Para o item: Quando o elemento é validado, fica confirmado que ele é capaz de atender

ao uso previsto no ambiente operacional (2.11) previsto.

NOTA 5 Para o item: Adaptado da ISO 10795, definição 1.228.

2.21 verificação

Confirmação, por meio do fornecimento de evidência objetiva, de que os requisitos (2.18)

especificados foram atendidos

NOTA 1 O termo "verificado" é usado para designar o status correspondente.

NOTA 2 Para o item: A confirmação pode ser composta de atividades como realização de

cálculos alternativos, comparação de uma nova especificação de concepção com uma similar já

120

comprovada, submissão a ensaios e demonstrações e revisão prévia de documentos a serem

emitidos.

NOTA 3 Para o item: A verificação pode ser determinada por uma combinação de ensaio,

análise, demonstração e inspeção.

NOTA 4 Para o item: Quando um elemento está verificado, está confirmado que ele atende às

especificações do projeto.

NOTA 5 Para o item: Adaptado da ISO 10795, definição 1.229.

FOLHA DE REGISTRO DO DOCUMENTO

^{1.} CLASSIFICAÇÃO/TIPO	^{2.} DATA	^{3.} REGISTRO N°	^{4.} N° DE PÁGINAS
DM	30 de janeiro de 2017	DCTA/ITA/DM-104/2016	120

Uma adaptação da Norma NBR ISO 16290:2015 aplicada em projetos do setor aeroespacial.

6. AUTOR(ES):

Daiane Rocha

7. INSTITUIÇÃO(ÕES)/ÓRGÃO(S) INTERNO(S)/DIVISÃO(ÕES):

Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA

B. PALAVRAS-CHAVE SUGERIDAS PELO AUTOR:

TRL, Maturidade Tecnológica.

9.PALAVRAS-CHAVE RESULTANTES DE INDEXAÇÃO:

Normas; Nível de maturidade tecnológica; Administração de projetos; Inovações técnológicas; Indústria aeroespacial; Administração.

^{10.} APRESENTAÇÃO:

X Nacional Internacional

ITA, São José dos Campos. Curso de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Ciências e Tecnologias Espaciais. Área de Sistemas Espaciais Ensaios e Lançamentos. Orientador: Francisco Cristóvão Lourenço de Melo. Defesa em 07/12/2016. Publicada em 2016.

11. RESUMO:

A presente pesquisa por objetivo apresentar uma nova aplicação da metodologia de avaliação de Nível de Maturidade Tecnológica (TRL- Technology Readiness Levels) abordando aspectos politicos-legais, econômicos, sociais e tecnológicos da realidade brasileira enquadrando-os na Norma NBR ISO 16290:2015. Para esse desenvolvimento foram analisadas as metodologias da Agência Espacial Europeia-ESA, da Agência Espacial Norte Americana- NASA, do Departamento de Defesa Americano- DoD, do Laboratório de Pesquisa da Força Aérea dos Estados Unidos da América e a Norma NBR ISO 16290:2015. Como contribuição a pesquisa desenvolveu um aplicativo para avaliar TRL, denominado Calculadora TRL IAE/ITA-2016-1. O desenvolvimento do aplicativo deu-se no software Microsft Office Excel, padronizando e tornando ágil a avaliação de maturidade tecnológico. A metodologia desenvolvida contém etapas de pré e pós avaliação. O processo de avaliação é realizado por meio de entrevista com os gestores responsáveis através de um questionário, contendo 89 questões divididas entre os 9 níveis de TRL. A validação da metodologia e do aplicativo, obteve como resultado que a inclusão dos aspectos além de técnicos, econômicos, sociais e político-legais especificou e aprofundou a avaliação. A utilização do aplicativo agilizou a avaliação e possibilitou a comparação da avaliação da NBR ISO 16290:2015 e do questionário desenvolvido. A validação da metodologia deu-se na aplicação em tecnologias do setor aeroespacial e em contra-prova uma tecnologia da área de Defesa. Um total de 75 % das respostas obtidas tiveram o TRL da NBR ISO 16290:2015 maior que o da Calculadora TRL IAE/ITA-2016-1, demonstrando a subjetividade da Norma. A utilização do aplicativo para realizar a avaliação agilizando e facilitando a aplicação da metodologia, foi confirmada pelos gestores entrevistados.

12.	GRAU	DF	SIGI	ı O·

(X) OSTENSIVO () RESERVADO () SECRETO

^{5.} TÍTULO E SUBTÍTULO: