



Utilização de uma calculadora para avaliação do nível de Maturidade Tecnológica (*TECHNOLOGY READINESS LEVEL* - TRL).

*Prof. Dr. Francisco Cristóvão Lourenço de Melo*  
[franciscofclm@fab.mil.br](mailto:franciscofclm@fab.mil.br)

*ADM Daiane Rocha, M.Sc.*  
*daiane @ita.br*

*Eng<sup>a</sup>. Adriana Martins Ribeiro, M.Sc.*  
[adrianaamr@fab.mil.br](mailto:adrianaamr@fab.mil.br)

# Agenda

- Conceitos básicos sobre TRL
- Apresentação da Calculadora TRL-IAEITA
- Aplicação na avaliação de tecnologias de ICTS do DCTA

# Agenda

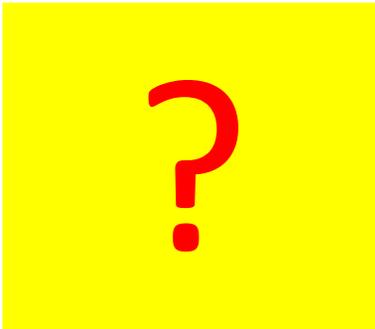


**Apresentação da Calculadora TRL IAE/ITA e Aplicação da Avaliação**



**Apresentação da Calculadora TRL no Aplicativo Móvel para Android**

## Tomar uma decisão...



**SIM**



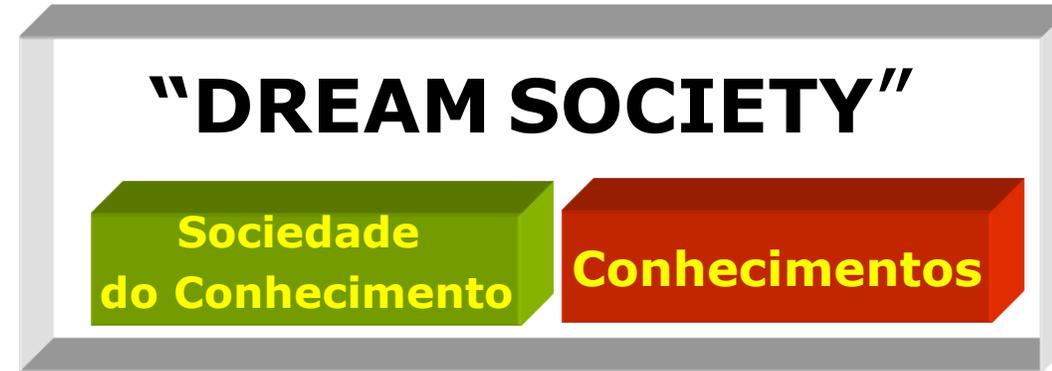
<https://www.artsoftistemas.com.br/blog/como-usar-informacoes-para-tornar-a-tomada-de-decisoes-mais-eficiente-1/>



**NÃO**

# A Nova Sociedade

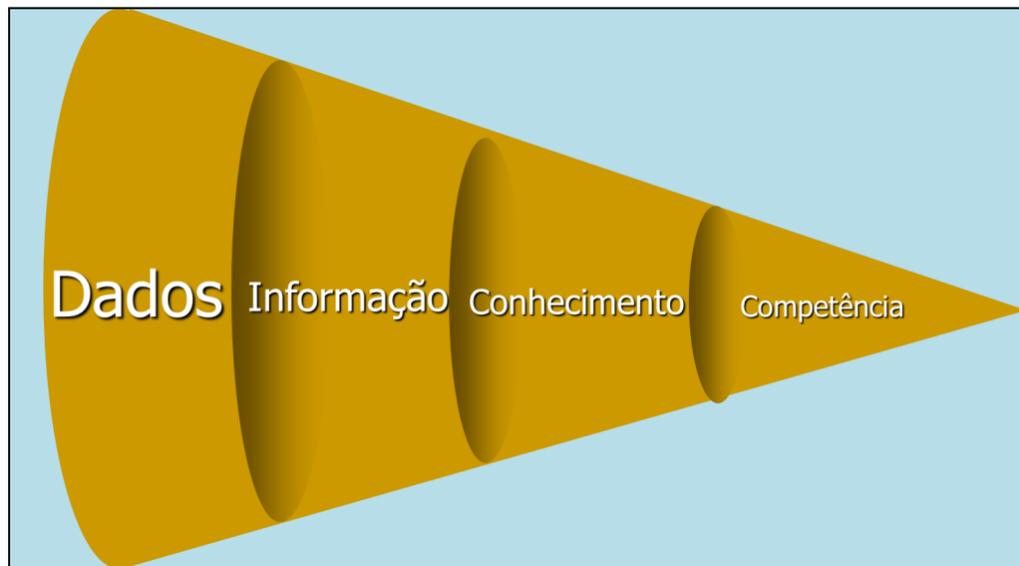
Progressão  
da Sociedade



Progressão  
do Valor  
Econômico



## Evolução: DADO - INFORMAÇÕES - CONHECIMENTO



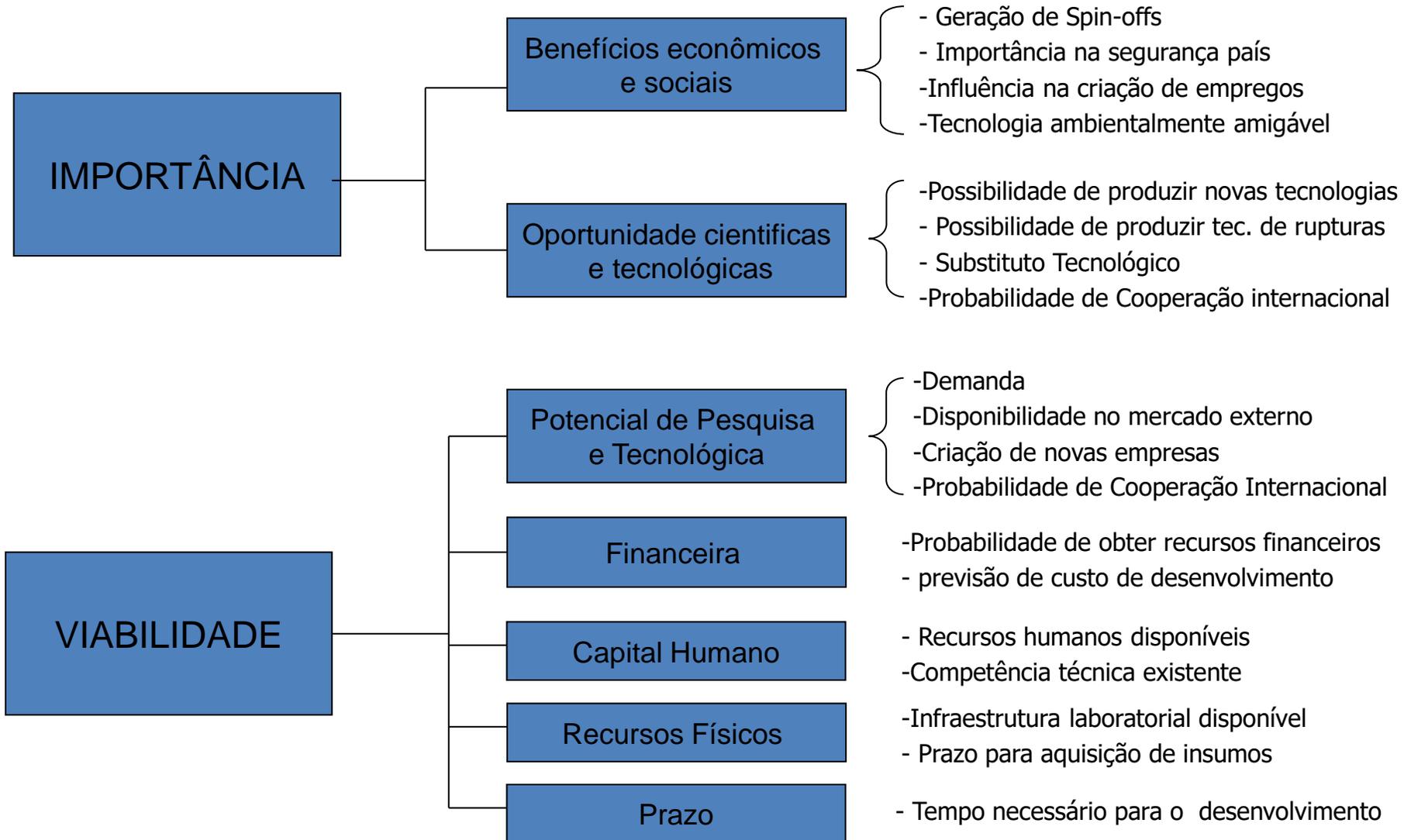
**DADO:** Descrição exata de algo ou algum evento. É a matéria-prima para geração de informação. Sozinho o dado não tem significado.

**INFORMAÇÃO:** Dados interpretados, dotados de relevância e propósito. (Peter Drucker)

**CONHECIMENTO:** Informação com valor adicionado pela mente humana - reflexão, síntese e contexto. “Conhecimento é informação eficaz em ação, focalizada em resultados (Peter Drucker).

**COMPETÊNCIA:** É formada pelo conjunto de habilidade, atitude e conhecimento (é a capacidade de mobilizar conhecimentos, valores e decisões para agir de modo pertinente numa determinada situação).

# Sugestão de Critérios para Priorização de Projetos





## Dissertações e Teses Desenvolvidas

- Daiane Rocha - ANÁLISE CRÍTICA DA NBR ISO 16290:2015 E SUA APLICAÇÃO EM PROJETOS DO SETOR AEROESPACIAL
- Gisele Lemes Veiga Araújo - ANÁLISE DA MATURIDADE DE TECNOLOGIAS CRÍTICAS DA ÁREA DE PROPULSÃO PARA VEÍCULOS LANÇADORES
- Marcílio Antônio Fernandes de Andrade  
• - ADAPTAÇÃO DA METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO DA MATURIDADE DE FABRICAÇÃO DA INDÚSTRIA ESPACIAL BRASILEIRA
- Cezar Honorato - MODELO DE MATURIDADE PARA O GERENCIAMENTO DE PROJETOS DE INOVAÇÃO E APLICAÇÃO PRÁTICA NA INDÚSTRIA AEROESPACIAL
- Valéria Montandon Silveira - MODELO DE GESTÃO DA INOVAÇÃO PARA STARTUPS



Stan Sadin

Nasa Researcher

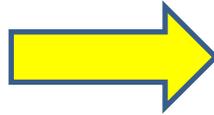
Criou TRL 1960;

“ Auxiliar os gestores nas tomadas de decisão relativas ao desenvolvimento e transição da tecnologia estudada. ”

(DoD, 2011)



## INDICADORES



TRL

**Auxiliar os gestores nas tomadas de decisão relativas ao desenvolvimento e transição da tecnologia estudada (DoD, 2011).**

<https://www.artsoftistemas.com.br/blog/como-usar-informacoes-para-tornar-a-tomada-de-decisoes-mais-eficiente-1/>

## Technology Readiness Level (TRL). O que é?

A metodologia TRL, *technology readiness levels*, consiste em mensurar a maturidade da tecnologia pela demonstração da capacidade tecnológica, proporcionando a **demonstração do *status* da tecnologia**.

Fonte: ALMEIDA, V. R. **Sensores inerciais fotônicos para aplicações aeroespaciais**: nível de maturidade tecnológica. 2008. 86f. Monografia – Escola de Comando e Estado-Maior da Aeronáutica, Rio de Janeiro.

Os níveis de maturidade tecnológica (**TRL**) são um **método de estimar a maturidade tecnológica** dos elementos de um programa durante o processo de aquisição. Eles são determinados durante uma avaliação de prontidão tecnológica que examina os conceitos do programa, os requisitos de tecnologia e os recursos tecnológicos demonstrados. TRL são baseados em uma escala de 1 a 9, sendo 9 a tecnologia mais madura.

Fonte: DoD, 2011.

# Technology Readiness Level (TRL). Para que serve?

- ✓ • Os Níveis de Prontidão de Tecnologia (Technology Readiness Levels - TRLs) são usados como uma medida do nível de maturidade de tecnologias específicas.
- ✓ • Fornece um entendimento comum do status da tecnologia em desenvolvimento.
- ✓ • Aborda toda a cadeia de inovação.
- ✓ • Ao avaliar um projeto de tecnologia em relação aos parâmetros para cada TRL, pode-se atribuir uma classificação de TRL ao projeto com base em seu estágio de progresso.



# Technology Readiness Level?

"Avalia maturidade da  
tecnologia e não do projeto."

CML

# Níveis do TRL



- 9- Operação do produto em ambiente operacional.
- 8- Qualificação do produto por meio de testes e demonstração; e
- 7- Demonstração de protótipo em ambiente operacional;
- 6- Demonstração de protótipo em ambiente próximo ao real;
- 5- Validação em ambiente próximo ao real;
- 4- Validação em ambiente de laboratório;
- 3- Desenvolvimento de prova de conceito experimental ou teórica;
- 2- Formulação do conceito da tecnologia ou aplicação possível;
- 1- Pesquisa dos princípios básicos;

## ESCALA TRL

TRL	Definição	Descrição	Informações de Apoio
9	Sistema real finalizado e qualificado por meio de operações com êxito em missões.	Aplicação real da tecnologia na sua forma final e em condições de missão, como as encontradas em testes e avaliações operacionais (OT&E). Exemplos incluem o uso do sistema sob condições de missão operacional.	Relatórios do OT&E.
8	Sistema real completo e qualificado em ambiente operacional por meio de testes e demonstrações.	A tecnologia tem sido comprovada para trabalhar na sua forma final e nas condições esperadas. Em quase todos os casos, este TRL representa o fim do verdadeiro desenvolvimento do sistema. Exemplos incluem testes de desenvolvimento e avaliação (DT&E) do sistema em seu sistema de armas pretendido para determinar se ele atende às especificações de projeto.	Resultados do ensaio do sistema na sua configuração final dentro do intervalo esperado de condições ambientais em que se espera que funcione. Avaliação do cumprimento das suas necessidades operacionais.
7	Demonstração do protótipo do sistema/subsistema em ambiente operacional.	Protótipo próximo ou no sistema operacional planejado. Representa um passo maior do TRL 6 ao exigir a demonstração de um protótipo do sistema real em um ambiente operacional (por exemplo, em uma aeronave, em um veículo ou	Resultados de testar um protótipo de sistema em um ambiente operacional.

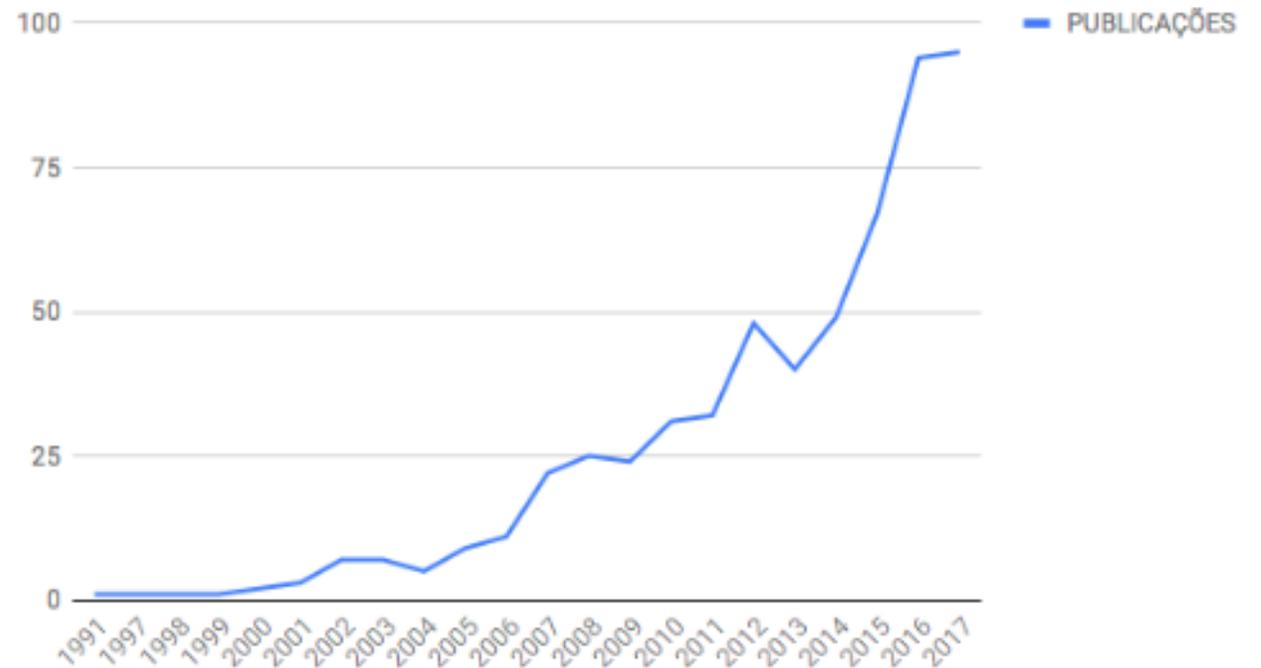
		no espaço).	
6	Demonstração de modelo de sistema/subsistema ou protótipo em ambiente relevante.	O modelo representativo ou protótipo do sistema, que é bem superior ao TRL 5, é testado em um ambiente relevante. Representa um passo importante na prontidão demonstrada por uma tecnologia. Exemplos incluem testar um protótipo em um ambiente de laboratório de alta fidelidade ou em um ambiente operacional simulado.	Resultados de testes laboratoriais de um protótipo de sistema que está perto da configuração desejada em termos de desempenho, peso e volume.
5	Validação de componentes e/ou modelo experimental em ambiente relevante.	A fidelidade da tecnologia de painéis aumenta significativamente. Os componentes tecnológicos básicos são integrados com elementos de suporte razoavelmente realistas para que possam ser testados em um ambiente simulado. Exemplos incluem a integração de componentes "alta fidelidade" em laboratório.	Os resultados do sistema de painéis de laboratório de testes são integrados com outros elementos de suporte em um ambiente operacional simulado.
4	Validação de componentes ou modelo experimental em ambiente de laboratório.	Componentes tecnológicos básicos são integrados para estabelecer que eles vão trabalhar juntos. Isto é relativamente "baixa fidelidade" em comparação com o sistema eventual. Exemplos incluem a integração de hardware "ad hoc" em laboratório.	Conceitos de sistema que foram considerados e resultados de testes em escala de laboratório
3	Função crítica analítica ou experimental e/ou prova de conceito característica.	P&D ativa é iniciada. Isto inclui estudos analíticos e estudos de laboratório para validar fisicamente as previsões analíticas de elementos separados da tecnologia. Exemplos incluem componentes que ainda não estão integrados ou representativos.	Resultados de testes laboratoriais realizados para medir parâmetros de interesse e comparação com previsões analíticas para subsistemas críticos.
2	Formulação de conceito tecnológico e/ou de aplicação.	Invenção começa. Uma vez que os princípios básicos são observados, aplicações práticas podem ser inventadas. As aplicações são especulativas e não há prova ou análise detalhada para apoiar as suposições. Os exemplos são limitados a estudos analíticos.	Publicações ou outras referências que delineiam a aplicação sendo considerada e que fornecem análise para apoiar o conceito.
1	Os princípios básicos são observados e reportados.	Nível mais baixo de prontidão tecnológica. A investigação científica começa a traduzir-se em P&D. Exemplos podem incluir estudos em papel de uma Tecnologia.	Pesquisa publicada que identifica os princípios subjacentes a esta tecnologia.

# “Technolog\* Readiness Level\*”

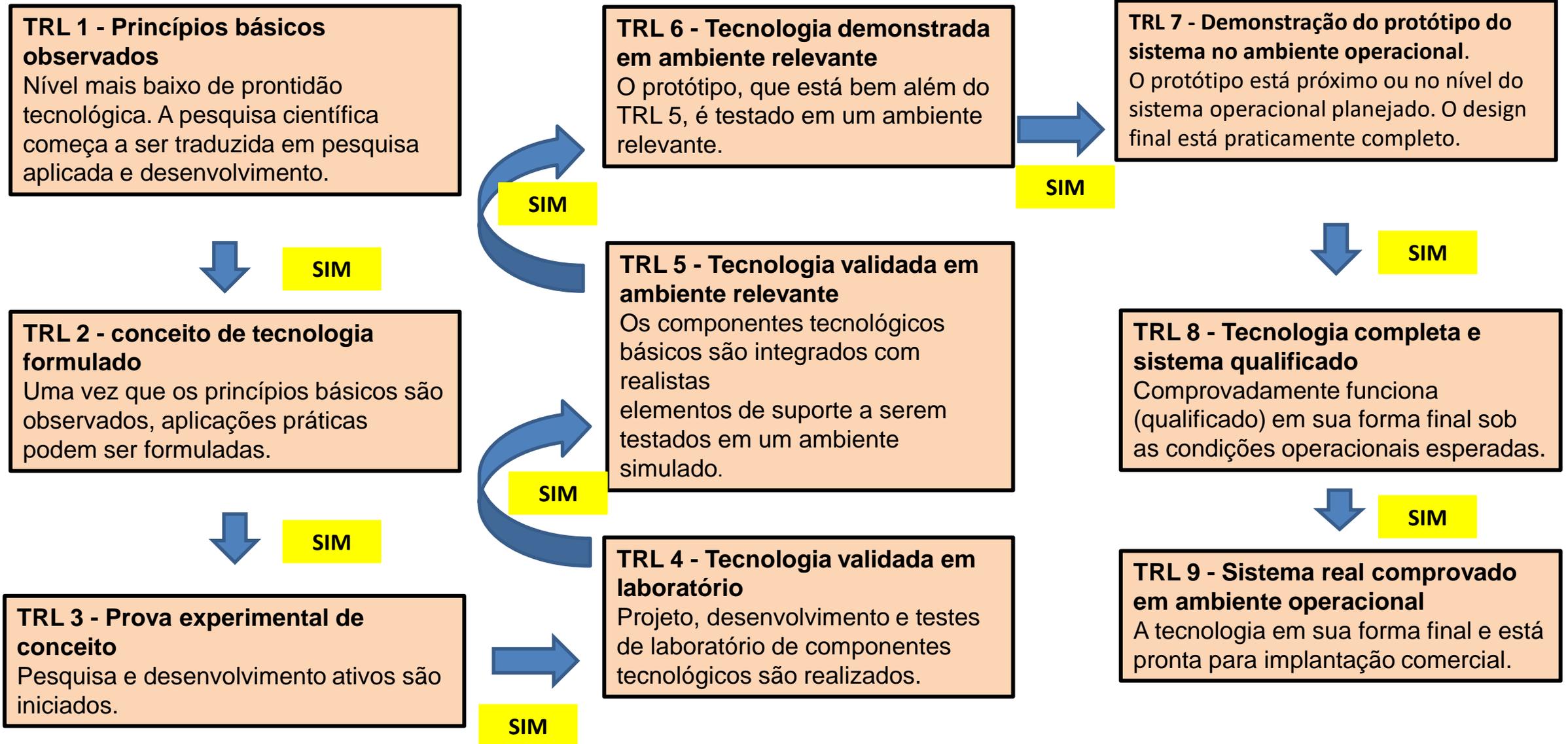
601- resultados

- 386 papers
- 206 artigos
- 38 revisões
- 1 material editorial
- 10 patentes

ANO X PUBLICAÇÕES



## PROCESSO DE AVALIAÇÃO DO TRL



12  
SETORES

58  
RL(S)

20  
MATURIDADE

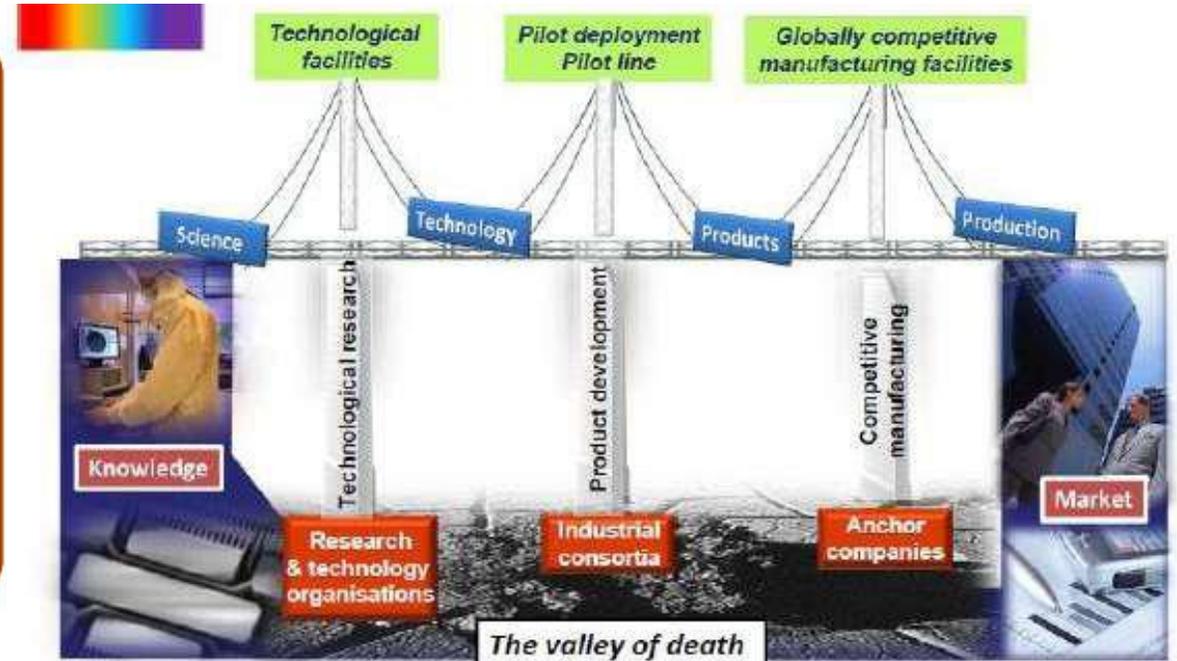
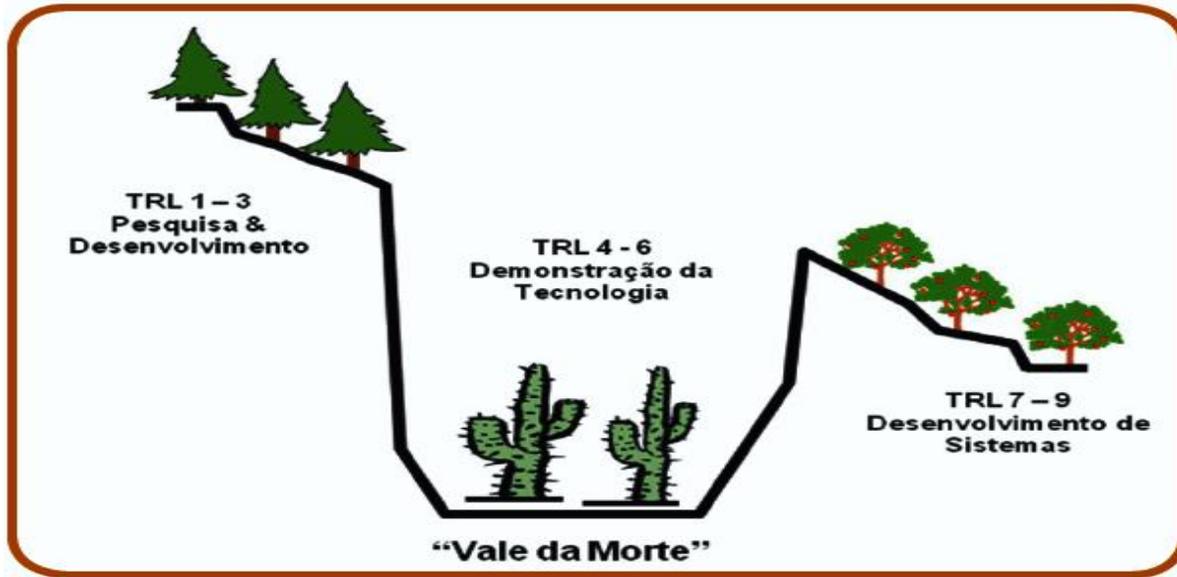
ISO  
16290:2013

# QUEM USA?



# **O Vale da Morte e o Custo de Amadurecer uma Tecnologia**

# Níveis de Maturidade Tecnológica e o “Vale da Morte”



Source: High-level Expert Group On Key Enabling Technology Report

TRL	Cum % Dev. Cost
1	0.9%
2	1.7%
3	5.9%
4	13.6%
5	24.6%
6	39.1%
7	57.0%
8	78.3%
9	100.0%

**Vale da Morte . Construindo uma ponte composta por três pilares:**

- 1) O pilar de pesquisa tecnológica baseado em facilidades tecnológicas apoiadas por organização de tecnologia de pesquisa;
- 2) O pilar de desenvolvimento de produto baseado em linhas piloto e demonstrador suportado por consórcios industriais;
- 3) O pilar de fabricação competitiva baseado em instalações de produção competitivas globalmente apoiadas por empresas âncora.

# Benefícios dos TRLs

## **1. Comunicação melhorada**

- Transmite claramente a maturidade da pesquisa
- Identifica o público alvo.

## **2. Resultados melhorados**

- Faz as perguntas chave em um quadro estruturado
- Informa as pesquisas em andamento com avaliação especializada
- Identifica as etapas para avançar.
- Transição dos resultados para as partes interessadas

## **3. Melhoria do gerenciamento do programa de pesquisa**

- Estabelece as expectativas para o progresso da pesquisa
- Revê o alinhamento de projetos com objetivos do programa

## Limitações dos TRLs

- Fornece uma medida de maturidade tecnológica apenas.
- Não avalia o risco, custo e viabilidade de avançar para o próximo nível.
- Deve ser usado em conjunto com outras ferramentas de avaliação.
- Mau ajuste para medir o sucesso de divulgação ou treinamento, ou adoção
- Risco de supersimplificação
- O valor do projeto não pode ser reduzido a um único número.

# **Hora de pôr a mão na graxa!**

---

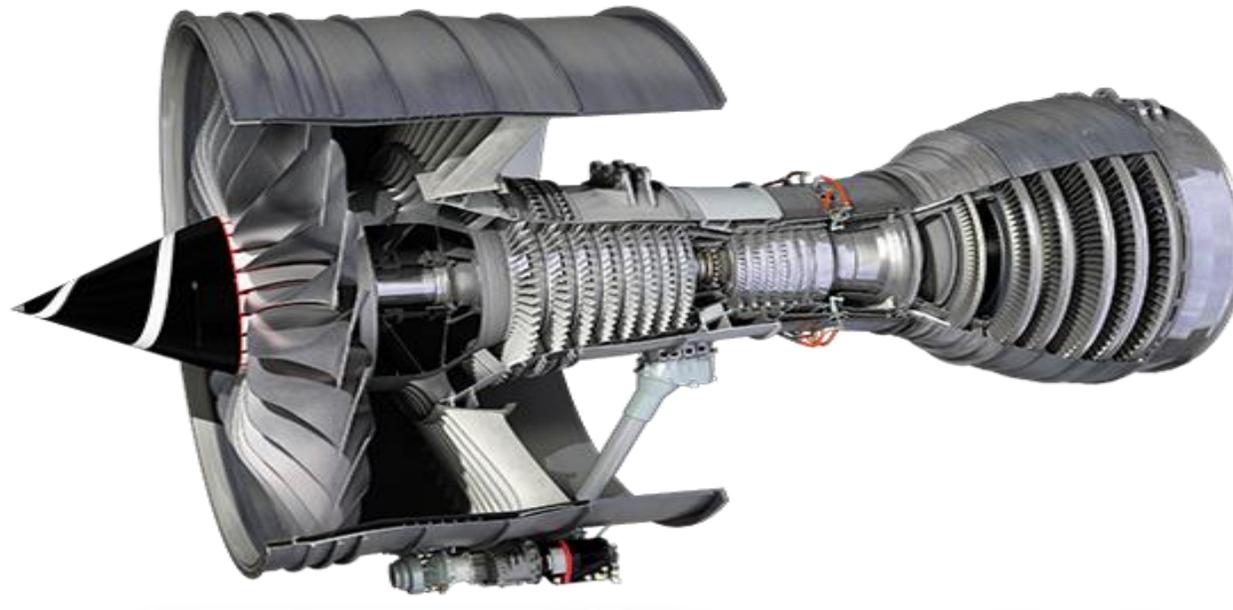
## Exemplos

- TRL e seus desafios

- O maior desafio quando se tentar mensurar a prontidão/maturidade de uma tecnologia é saber identificar o que é tecnologia.

# Exemplo #1: Um motor aeronáutico

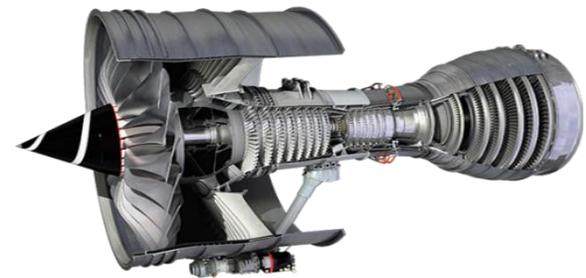
- ...para a **Rolls-Royce**, ao entregar o motor **Trent 900** à **Airbus** que equipará o **A380**, todas as tecnologias incorporadas a este motor atingiram TRL 9.



# Exemplo #1: Um motor aeronáutico

## Porém...

- Para a Airbus, o motor fornecido pela Rolls-Royce é um Subsistema do Sistema de Propulsão... ou seja, TRL 5.



motor **Trent 900**  
(subsistema)  
**TRL 5**

▶ Integração do Motor ao Sistema de Propulsão da aeronave  
**TRL 6**

▶ Integração do Sistema de Propulsão aos demais sistemas  
**TRL 7**

▶ Campanha de Ensaios  
**TRL 8**

## Exemplo #2: Uso do TRL (NMT) para o desenvolvimento de um fármaco

	NMT 1	NMT 2	NMT 3	NMT 4	NMT 5	NMT 6	NMT 7	NMT 8	NMT 9	
	Idéia básica	Desenvolvimento e conceito	Prova experimental do conceito	Processo validado em laboratório	Processo validado em equipamento de produção	Validação da capacidade de processo em equipamento de produção	Validação da capacidade em lote econômico	Validação da capacidade sobre uma parte das partes	Validação da capacidade sobre todas as partes e por longos períodos	
						FASE 1	FASE 2	FASE 3	FASE 4	
	Resquisa básica		Resquisa pré-clínica		Resquisa pré-clínica tardia					
						Avaliação preliminar da tolerabilidade e farmacodinâmica	Eficácia e segurança em um pequeno grupo de voluntários doentes	Ensaios clínicos correlacionados. Relação benefício/risco	Identificação dos efeitos adversos que podem ocorrer após a comercialização	
	Pesquisa			Desenvolvimento						
Fase	POP Prova de princípio			Estudos pré-clínicos			Estudos clínicos			Registro
Duração	2-3 anos			2-4 anos			2-3 anos	2-4 anos	2-5 anos	1-2 anos
Objetivo	Comprovar que uma substância tem o efeito desejado por meio de testes in vitro e em animais			Avaliar a segurança do produto e suas características biológicas			Comprovar a segurança do produto, aplicado em forma líquida em indivíduos saudáveis e definir a dosagem apropriada	Avaliar a eficácia e os efeitos colaterais em grupo reduzido de indivíduos doentes. Quando possível, avaliar propriedades farmacocinéticas e farmacodinâmicas	Avaliar a eficácia e os efeitos colaterais no longo prazo. Envolve grupo mais amplo de pessoas doentes	Obter a permissão para comercializar o produto
	Fase pré-clínica						Fase clínica			
					 					
	Caracterização química		Estudos bioquímicos		Estudos em modelos animais		Estudos com seres humanos			

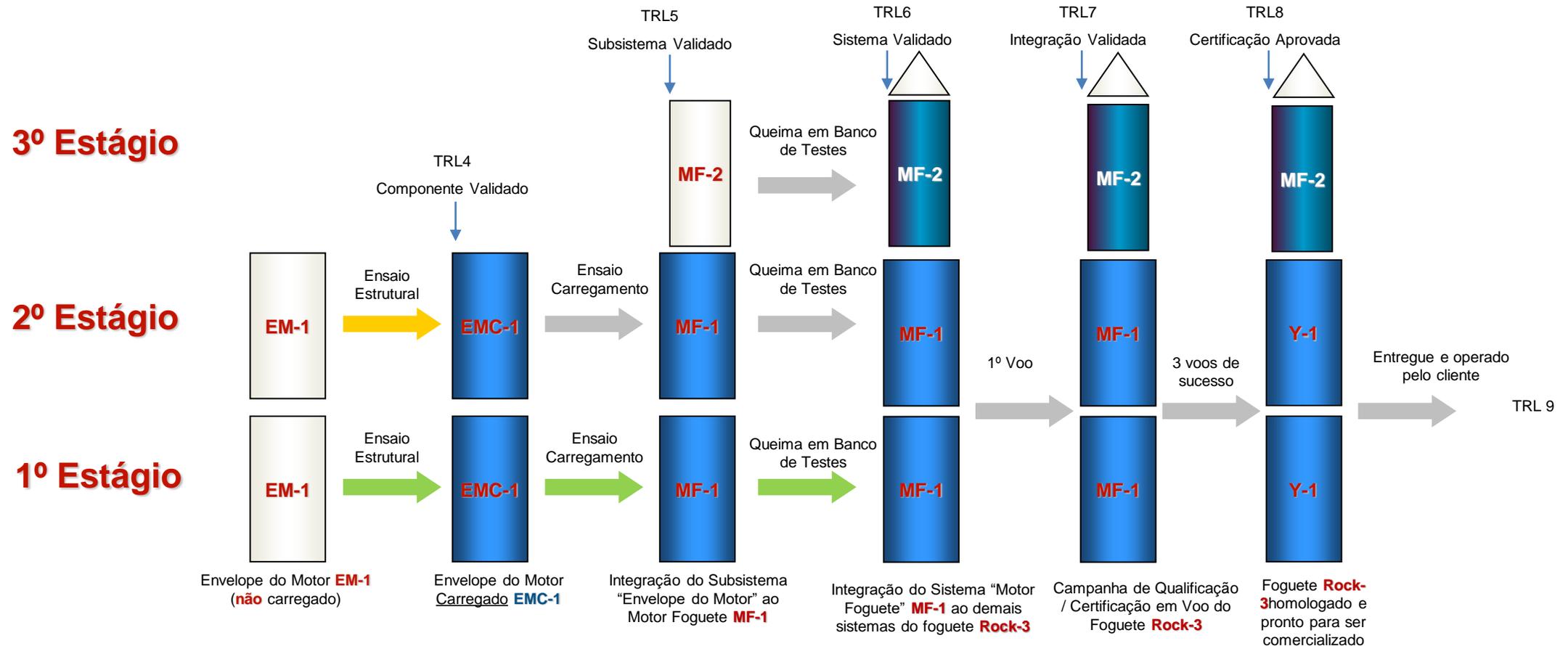
Fonte: Sérgio Roberto Knorr Velho e outros, Parc. Estrat. • Brasília-DF • v. 22 • n. 45 • p. 119-140 • jul-dez • 2017

## Exemplo #3: Motor Hipotético para um Foguete



# Exemplo #3: Motor Hipotético para um Foguete de 3 Estágios

Analogamente, para um foguete experimental de 3 estágios (Rock-3), onde o motor foguete MF-1 é usado tanto no 1º Estágio quanto no 2º Estágio e o motor foguete MF-2 é usado no 3º Estágio





# Utilização de uma calculadora para avaliação do Nível de Maturidade Tecnológica

*Technology Readiness Level - TRL*

Prof. Dr. Francisco Cristóvão Lourenço de Melo  
franciscofclm@fab.mil.br

ADM Daiane Rocha, M.Sc.  
daiane@ita.br

Eng<sup>a</sup>. Adriana Martins Ribeiro, M.Sc.  
adrianaamr@fab.mil.br





Avaliação

# Calculadora de TRL

<http://www.mec.ita.br/~cge/Acervo/CalculadoraTRLIAEITA.xlsm>

<https://www.iae.cta.br/index.php/calculadoras-trl-e-mrl>



# Calculadora de TRL IAE/ITA



Calculadora TRL IAE/ITA - Excel



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

**Msc. Daiane Rocha**

Instituto Tecnológico da Aeronáutica (ITA) – São José dos Campos – SP  
daianerocha2505@gmail.com

**Prof. Dr. Francisco Cristóvão Lourenço de Melo**

Instituto Tecnológico da Aeronáutica (ITA) – São José dos Campos – SP  
frademelo@gmail.com

## PROBLEMAS IDENTIFICADOS NA ISO

- Não avalia Know-How;
- Não avalia meios de transferência de conhecimento;
- Não aborda aspectos políticos-legais;
- Não padroniza a avaliação;
- Não aborda aspectos econômicos;
- Não realiza análise quantitativa.



# Construção da Metodologia

TRL - IAE / ITA



NBR ISO  
16290:2015



**TÉCNICAS**  
Conhecimento técnico



**ECONÔMICAS**  
Viabilidade econômica



**DOCUMENTAIS**  
Gestão do Conhecimento



**POLÍTICO LEGAIS**  
Viabilidade de desenvolvimento

# ETAPAS DA AVALIAÇÃO

TRL - IAE/ITA

## DECISÃO DA APLICAÇÃO

Alta gestão - processo de avaliação. Decisão da frequência: pré-estabelecida ou quando muda algo na tecnologia.

## DEFINIÇÃO DA EQUIPE

O pesquisador, o gestor responsável, conhecedor do ambiente operacional e o facilitador.

## IDENTIFICAÇÃO DAS TECNOLOGIAS

Avaliação de todos os itens da tecnologia ex: parafuso, cabo e etc ou somente dos itens críticos. NASA- avalia todos os itens.

## RECOLHA DOS MATERIAIS

Materiais de gestão do conhecimento. É necessário todos os passos da tecnologia estarem documentados.

## AVALIAÇÃO

Realiza-se a avaliação

**TRL 1 - Princípios básicos observados**  
Nível mais baixo de prontidão tecnológica. A pesquisa científica começa a ser traduzida em pesquisa aplicada e desenvolvimento.

**TRL 2 - conceito de tecnologia formulado**  
Uma vez que os princípios básicos são observados, aplicações práticas podem ser formuladas.

**TRL 3 - Prova experimental de conceito**  
Pesquisa e desenvolvimento ativos são iniciados.

**TRL 6 - Tecnologia demonstrada em ambiente relevante**  
O protótipo, que está bem além do TRL 5, é testado em um ambiente relevante.

**TRL 5 - Tecnologia validada em ambiente relevante**  
Os componentes tecnológicos básicos são integrados com realistas elementos de suporte a serem testados em um ambiente simulado.

**TRL 4 - Tecnologia validada em laboratório**  
Projeto, desenvolvimento e testes de laboratório de componentes tecnológicos são realizados.

**TRL 7 - Demonstração do protótipo do sistema no ambiente operacional.**  
O protótipo está próximo ou no nível do sistema operacional planejado. O design final está praticamente completo.

**TRL 8 - Tecnologia completa e sistema qualificado**  
Comprovadamente funciona (qualificado) em sua forma final sob as condições operacionais esperadas

**TRL 9 - Sistema real comprovado em ambiente operacional**  
A tecnologia em sua forma final e está pronta para implantação comercial.

# 5- AVALIAÇÃO - EXCEL

1

## DEMONSTRAÇÃO DA METODOLOGIA

Entendimento comum da  
avaliação e dos níveis de  
TRL

2

## DADOS DA TECNOLOGIA

Identificação e  
enquadramento da  
tecnologia.  
1- P&D  
2- construção da TC  
3- Validação e Produção

3

## AVALIAÇÃO

Check-list documental e  
avaliação da tecnologia  
- questionário.



# Calculadora de TRL

Aplicativo Móvel para Android



# Objetivo

Disponibilizar ferramenta portátil para as equipes de projeto que permitisse uma rápida avaliação do nível de prontidão (maturidade) de uma tecnologia.

# Por que desenvolver uma segunda calculadora ?

A primeira calculadora era customizada para tecnologias espaciais.

➤ O IAE desenvolve tecnologias de aeronáutica, de espaço e de defesa.

# TELAS DE INTERFACE



**Estaremos selecionando Projetos e desenvolvedores de Tecnologias para avaliação do TRL na nova calculadora que está sendo desenvolvida.**

**Interessados poderão fazer contato com:**

**Francisco – [franciscofclm@fab.mil.br](mailto:franciscofclm@fab.mil.br)**

**E finalmente...**

**Se não planejarmos e construirmos nosso futuro,**

**Alguém fará para nós...**

**Por nós**

**ou**

**Contra nós**



Obrigado!

# Calculadora de TRL

