

Guia de Avaliação da Maturidade Tecnológica da ANEEL

2024

Guia de Avaliação da Maturidade Tecnológica da ANEEL

Revisão	Motivo da Revisão	Publicação	Data de vigência
0	Primeira versão publicada	16/01/2024	01/07/2023

GUIA DE AVALIAÇÃO DA MATURIDADE TECNOLÓGICA DA ANEEL

Programa de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação – PDI

Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL

DIRETOR-GERAL

Sandoval de Araújo Feitosa Neto

DIRETORES

Hélio Neves Guerra

Ricardo Lavorato Tili

Fernando Luiz Mosna Ferreira da Silva

Agnes Maria de Aragão da Costa

SECRETARIA DE INOVAÇÃO E TRANSIÇÃO ENERGÉTICA - STE

Paulo Luciano de Carvalho

Carmen Sílvia Sanches

Coordenação de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação – CPEDI/STE

Lucas Dantas Xavier Ribeiro

Luciana Reginaldo Soares Chariglione

Cássio Borrás Santos

Coordenação de Inovação e Engajamento no Mercado – CIENM/STE

Márcio Venício Pilar Alcântara

Catálogo na Fonte

Centro de Documentação – CEDOC

A265 Agência Nacional de Energia Elétrica (Brasil).

Guia de Avaliação da Maturidade Tecnológica da ANEEL / Agência Nacional de Energia Elétrica. – Brasília: ANEEL, 2024.

24 p. : il.

1. Energia elétrica. 2. Programa de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação – PDI da ANEEL. 3. Plano Estratégico Quinquenal de Inovação – PEQuI 2024-2028. 4. Avaliação da Maturidade Tecnológica - TRL. I. Título.

CDU: 6:621.3(035)

Conteúdo

1. Introdução	4
2. A escala TRL - Nível de Maturidade Tecnológica	5
3. Elementos de Tecnologia Críticos – ETCs	6
4. Avaliação de Maturidade Tecnológica – AMT	8
5. Referências Bibliográficas	12
ANEXOS	14
Anexo 1: Termos e Definições para Avaliação de Maturidade Tecnológica – AMT do MCTI .	15
Anexo 2: Modelo para identificação de Elementos de Tecnologia Críticos - ETCs.....	19
Anexo 3: Tabela descritiva dos Níveis de Maturidade Tecnológica - TRLs.....	20

1. INTRODUÇÃO

1. Nos processos de pesquisa e desenvolvimento, as novas tecnologias devem passar por uma série de avaliações antes de serem declaradas prontas e, em seguida, apresentadas ao mercado.

2. As observações advindas dessas avaliações podem, então, ser qualificadas de acordo com uma escala que represente os níveis de maturação tecnológica, considerando parâmetros de confiabilidade que alcance todas as etapas do processo de desenvolvimento e de conformidade com a finalidade pretendida para o produto.

3. Em 1974, a NASA – *National Aeronautics and Space Administration*, agência governamental dos Estados Unidos da América - EUA responsável pelo programa espacial, concebeu a primeira escala de avaliação de maturidade tecnológica (*Technology Readiness Levels – TRL*). Ela tinha sete níveis, que foram formalmente definidos apenas em 1989. Na década de 1990, a NASA passou a adotar uma escala com nove níveis, que ganhou ampla aceitação em toda a indústria e continua em uso até hoje [1]

4. Assim, para mensurar e avaliar o nível de maturidade de uma tecnologia passou-se a adotar a escala TRL elaborada pela NASA, que varia de 1 (princípios científicos básicos observados) a 9 (sistema total usado com sucesso nas operações do produto).

5. Ressalta-se que o Departamento de Defesa e o Departamento de Energia dos EUA têm usado a escala TRL elaborada pela NASA desde o início dos anos 2000. Em 2008, essa escala TRL passou a ser adotada pela Agência Espacial Europeia - ESA [2] e, em 2010, pela Comissão Europeia, que recomendou que os projetos de pesquisa e inovação financiados pela União Europeia (UE) a adotassem. Em 2013, essa escala TRL foi formalizada pela Organização Internacional para Padronização - ISO com a publicação do padrão ISO 16290:2013 [3] e em 2014, a Associação Europeia de Organizações de Pesquisa e Tecnologia - EARTO [4] recomendou a adoção dessa escala TRL como ferramenta de política de pesquisa e Inovação. A partir de então, os níveis de TRL da escala TRL elaborada pela NASA foram adotados no programa Horizont 2020 [5], programa de pesquisa e inovação da UE, e no seu sucessor, o Horizont Europe, que envolve o período de 2021 a 2027.

6. Em 17 de outubro de 2022 foi publicada a Portaria nº 6.449/2022, que institui a utilização de métrica de maturidade tecnológica para aferição da maturidade tecnológica dos projetos de CT&I fomentados pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) e por suas entidades vinculadas.

7. O Plano Estratégico Quinquenal de Inovação para o período de 2024 a 2028 – PEQuI 2024-2028 do Programa de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação - PDI da ANEEL tem como um dos seus Objetivos Estratégicos (OEs) incentivar o aumento do nível de maturidade tecnológica de soluções desenvolvidas no PDI ANEEL, inserindo maior número de tecnologias, produtos, serviços e processos no mercado [6].

8. Para que o PEQuI 2024-2028 cumpra com esse Objetivo Estratégico espera-se que a maioria dos projetos e ações do portfólio de PDI das Empresas de Energia Elétrica – EEE alcancem as fases finais da cadeia de inovação e que seja verificado um aumento na rede de inovação com parceiros industriais

e/ou comerciais.

9. Nesse sentido, no PEQuI 2024–2028 foi definido, entre os seus Resultados-chave (Key Results - KR), o KR15, que estabelece que 30% (trinta por cento) dos recursos das EEE vinculados ao Programa de PDI da ANEEL devem estar dirigidos a projetos ou ações de PDI com TRL maior do que 6.

10. O objetivo deste Guia é auxiliar as equipes que estarão envolvidas em ações e projetos de PDI a serem desenvolvidos no âmbito dos Procedimentos do Programa de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação – PROPDI da ANEEL, de que trata a Resolução Normativa nº 1.045, de 4 de outubro de 2022 (e sucedâneas), a realizarem as avaliações de maturidade tecnológica e classificação de ações e projetos de PDI relativamente ao nível de maturidade tecnológica dos respectivos produtos.

2. A ESCALA TRL - NÍVEL DE MATURIDADE TECNOLÓGICA

11. A escala TRL é uma ferramenta versátil que contribui para a tomada de decisões estratégicas e o desenvolvimento eficiente de projetos de pesquisa, desenvolvimento e inovação, além disso, indica uma correlação específica, para cada tecnologia, entre o estágio de desenvolvimento e o cronograma definido para o seu desenvolvimento. Isso significa que o TRL apontado pela escala representa a confiabilidade da tecnologia conforme avança o seu desenvolvimento.

12. Para os projetos e ações a serem realizados no âmbito do PROPDI serão adotadas as definições e a escala TRL contidas no Guia de Avaliação de Maturidade Tecnológica do Departamento de Energia dos EUA [7], as quais estão reproduzidas no Quadro 1. As EEE deverão indicar o TRL correspondente ao estágio de desenvolvimento de cada projeto e ação que compõe os respectivos portfólios de PDI, a serem implementados no âmbito do Programa de PDI regulado pela ANEEL.

Quadro 1 – Níveis de Maturidade Tecnológica do PROPDI

Estágio de Desenvolvimento	TRL	Definição	Descrição
Operação	9	Tecnologia em operação conforme o esperado em um ambiente real.	O desenvolvimento da tecnologia está concluído. Operação em um ambiente real, sob todas as condições realizada e finalizada.
Comissionamento	8	Tecnologia concluída e qualificada por meio de testes.	Foi comprovado que a tecnologia funciona conforme as condições esperadas, em um ambiente de testes. Uma Revisão Operacional foi concluída com sucesso antes do início dos <i>testes a quente</i> .
	7	Escala completa, demonstração de protótipo em <i>ambiente relevante</i> .	Foi comprovado que o protótipo da tecnologia funciona conforme as condições esperadas, em um <i>ambiente relevante</i> .

Estágio de Desenvolvimento	TRL	Definição	Descrição
Demonstração	6	Engenharia/escala de lote pioneiro, validação de protótipo em <i>ambiente relevante</i> .	Modelo de escala de engenharia representativo testado em um <i>ambiente relevante</i> .
Desenvolvimento	5	Escala de laboratório, validação de sistema semelhante em <i>ambiente relevante</i> .	Os componentes tecnológicos básicos foram integrados para que a configuração do sistema seja semelhante à aplicação final em quase todos os aspectos.
Desenvolvimento	4	Validação de componentes e/ou sistemas em ambiente laboratorial.	Componentes tecnológicos básicos são integrados para estabelecer que as peças funcionarão juntas. Ainda é uma integração de relativa “ <i>baixa fidelidade</i> ” em comparação com o eventual sistema final.
Pesquisa para Teste de Viabilidade.	3	Estudos analíticos e experimentais e/ou <i>prova de conceito</i> .	A pesquisa e o desenvolvimento são iniciados. Inclui estudos analíticos e estudos em escala laboratorial para validar as previsões analíticas de elementos separados da tecnologia.
	2	Conceito e/ou aplicação de tecnologia formulada.	Uma vez observados os princípios básicos, aplicações práticas podem ser inventadas. As aplicações são especulativas e pode não haver nenhuma prova ou análise detalhada para apoiar as suposições.
Pesquisa Básica.	1	Princípios básicos observados e relatados.	O nível mais baixo de maturidade tecnológica. A investigação científica começa a traduzir-se em P&D aplicados. Exemplos podem incluir estudos publicados das propriedades básicas de uma tecnologia.

13. O TRL de uma tecnologia é determinado por meio de uma Avaliação de Maturidade Tecnológica - AMT (*Technology Readiness Assessment – TRA*), onde são examinados os conceitos, os requisitos tecnológicos e as capacidades demonstradas do produto obtido no projeto ou ação.

14. O Anexo 1 apresenta a tabela de termos e definições apresentadas junto à Calculadora de Maturidade Tecnológica de projetos e programas desenvolvidos pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações – MCTI, os quais serão adotados pela ANEEL na AMT de projetos e ações de PDI realizados no âmbito do PROPDJ.

3. ELEMENTOS DE TECNOLOGIA CRÍTICOS – ETCs

15. Ao se avaliar o nível de maturidade de uma tecnologia é importante observar que a

classificação possui grande correlação com os riscos de falha e com as criticidades da aplicação.

16. A escala TRL, por si mesma, não é uma métrica para desenvolvimento de produtos. Trata-se de uma ferramenta para a seleção de combinações de tecnologias e de elementos tecnológicos que viabilizem no aspecto técnico e no aspecto econômico o atendimento das funcionalidades requisitadas e pretendidas para o produto. É uma escala que afere o nível de confiabilidade dos diversos elementos tecnológicos que, em conjunto, compõem o produto de um projeto.

17. A análise de maturidade estará sempre associada ao nível de risco e de criticidade que os elementos tecnológicos representam para a aplicação prevista no produto. O TRL somente deve ser aferido para os elementos do produto que possuem funções críticas, que serão aqueles que na hipótese de falha ocasionarão danos de diversas naturezas: materiais, ao meio ambiente e à vida. O sucesso e a viabilidade do produto dependem do alcance de certo nível de confiabilidade para cada um desses elementos.

18. É definido como Elemento de Tecnologia Crítico (ETC) uma nova tecnologia ou aplicação inovadora de tecnologia da qual um produto depende para atingir um desenvolvimento bem-sucedido ou superar os limiares de aceitação para o atendimento de seus requerimentos operacionais.

19. No âmbito das atividades de desenvolvimento de produtos, é importante identificar todos os ETCs dos quais o produto depende para atingir os requerimentos e funcionalidades exigidos para a sua aplicação. Cada ETC identificado deverá ser objeto de uma Avaliação de Maturidade Tecnológica (AMT), e uma vez aferidos os respectivos TRLs, o menor valor de maturidade identificado irá definir o nível de maturidade geral para todo o projeto ou ação (TRL do projeto ou ação).

20. Falhas na identificação dos ETCs podem resultar na inefetividade das AMTs, aumentando o nível de incerteza das ações e projetos e potencializando o desperdício de tempo, recursos, mal uso de instalações, e em casos extremos, em riscos para o patrimônio e a vida dos colaboradores e do público. É importante que as EEE desenvolvam metodologias para a identificação dos ETCs.

21. Não faz parte do escopo deste Guia definir as metodologias ou técnicas de gestão do Portfólio de PDI das empresas. Ferramentas comumente utilizadas para identificação de ETCs incluem a análise da Estrutura Analítica do Projeto (WBS – *Work Breakdown Structure*) e análise dos Diagramas de Fluxo de Sistema (*System Flow Diagrams*), as quais permitem identificar os elementos candidatos a ETC por meio das dependências entre os pacotes de trabalho do projeto ou pela interconexão física entre os componentes do produto.

22. É prudente executar a identificação dos ETCs em várias etapas, elencando inicialmente com cautela todos os possíveis candidatos a ETC, e atualizar a listagem durante o desenvolvimento conforme as lacunas de conhecimento sobre os elementos candidatos são superadas com a aquisição de dados e de experiência auferidos pelas atividades de pesquisa, desenvolvimento e inovação.

23. Uma boa atividade de identificação impede que elementos críticos sejam desprezados e evita que recursos e esforços sejam direcionados para elementos que, embora importantes, não são realmente críticos, drenando a atenção para os elementos que mais necessitam de maturação e desenvolvimento.

24. O Anexo 2 apresenta o modelo para identificação e registro dos elementos críticos dos

produtos principais dos projetos e ações de PDI realizados no âmbito do PROPDJ.

4. AVALIAÇÃO DE MATURIDADE TECNOLÓGICA – AMT

25. O desenvolvimento de novas tecnologias, ou o aumento do conteúdo tecnológico em algum sistema, normalmente depende do sucesso anterior dos esforços de pesquisa e desenvolvimento. O que inevitavelmente leva a se deparar com os três principais desafios de qualquer projeto: desempenho, cronograma e orçamento (Mankins, 2009) [8].

26. Para os gerentes de PDI o desafio é ter a capacidade de fazer avaliações claras e bem documentadas da maturidade e dos riscos tecnológicos, e fazê-las nos principais pontos do desenvolvimento do produto.

27. O nível de maturidade de uma tecnologia é determinado durante uma Avaliação de Maturidade Tecnológica – AMT que examina os conceitos do produto, os requisitos tecnológicos e o que essa tecnologia demonstra ser capaz de realizar no momento.

28. A AMT é uma avaliação de até que ponto o desenvolvimento tecnológico avançou com base em evidências documentadas. Não é um exercício de aprovação/reprovação e não se destina a fornecer um julgamento de valor dos desenvolvedores ou do programa de PDI. É um processo de revisão para demonstrar que os ETCs apontados na concepção de um produto funcionam como pretendido.

29. O processo de avaliação deve incluir as seguintes etapas para todos os ETCs:

- **Descrever a tecnologia (subsistema, componente ou tecnologia).** Descrever a função que desempenha e, se necessário, como se relaciona com outras partes do sistema. Apresentar uma sinopse do histórico e situação de desenvolvimento. Isso pode incluir fatos sobre usos relacionados da mesma tecnologia ou tecnologia semelhante, números ou horas de teste de placas de ensaio, números de protótipos construídos e testados, relevância das condições de teste e resultados alcançados.
- **Descrever o ambiente em que a tecnologia foi demonstrada.** Apresentar uma breve análise das semelhanças entre o ambiente demonstrado e o ambiente operacional pretendido.
- **Aplicar os critérios para TRLs e atribuir um nível de maturidade à tecnologia.** Indicar o nível de maturidade (por exemplo, TRL 5) e a justificativa para escolher esse nível de maturidade.
- **Fornecer referências a artigos, apresentações, dados e fatos que sustentam a avaliação.** Inclui tabelas de dados e gráficos que ilustram que um fato-chave é apropriado.
- Se os ETCs forem apresentados em categorias, as informações especificadas nos

marcadores anteriores (por exemplo, descrevendo a tecnologia, descrevendo a função que ela executa e assim por diante) devem ser fornecidas para cada ETC numa categoria.

- **Indicar a posição da equipe de revisão em relação à maturidade (nível de maturidade tecnológica) dos ETCs e se essa maturidade é adequada para que o sistema entre no próximo estágio de desenvolvimento.** Se a posição apoiar a entrada no próximo estágio, mesmo que alguns ETCs sejam menos maduros do que normalmente seria esperado, explicar quais circunstâncias ou trabalhos planejados justificam essa posição.

30. O Guia de Avaliação de Maturidade Tecnológica do *Government Accountability Office* - GAO, que é o órgão responsável por serviços de auditoria, avaliações e investigações de contas públicas do governo dos EUA, apresenta um processo de cinco etapas que fornece a estrutura para planejar, avaliar e reportar a AMT.

31. Cada um dos cinco passos é importante para garantir que as AMTs forneçam aos decisores informações de alta qualidade para a tomada de decisões importantes. A Figura 1 mostra as cinco etapas para a realização de uma AMT.

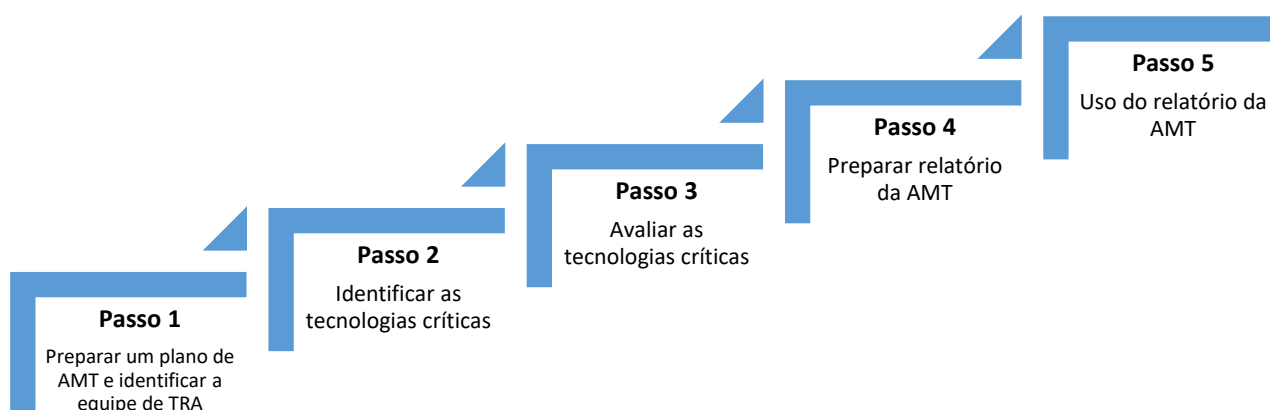


Figura 1 – Cinco passos para a condução da AMT (Adaptado de GAO, 2020) [9]

Passo 1

Implica na definição dos elementos-chave para o processo. O gerente do programa de PDI ou coordenador do projeto desenvolve o plano que deverá apresentar o objetivo da avaliação, os recursos a serem fornecidos, tais como os financeiros e o tempo para realizar a avaliação, como serão tratadas as opiniões divergentes e para quem a AMT está dirigida. Além disso, o plano de AMT deve descrever o sistema, especificar a definição de ETCs e as definições de TRL que serão utilizadas, identificar os potenciais ETCs a serem avaliados e identificar os conhecimentos especializados necessários para a composição dos membros da equipe de AMT. O nível de detalhe do plano de AMT precisa de ser consistente com o nível de detalhe disponível sobre o produto.

Passo 2

Estabelecer um processo disciplinado e repetível para identificar e selecionar os ETCs é fundamental para conduzir uma AMT de alta qualidade. Selecionar os ETCs durante o desenvolvimento inicial da tecnologia, antes do desenvolvimento do produto, é uma prática recomendada. São desejáveis especialistas no assunto com conhecimentos e experiência para avaliar os elementos do projeto e dos ambientes operacionais e identificar os ETCs chaves para que o projeto avance. As tecnologias identificadas como críticas podem mudar à medida que ocorrem mudanças programadas, ou relacionadas com os requisitos do projeto, ou se as tecnologias não amadurecem conforme planejado. As tecnologias são consideradas críticas se forem novas ou inovadoras, ou usadas de uma forma nova, ou inovadora, e necessárias para que um sistema, dentro de parâmetros de custos e cronograma, atenda aos requisitos de desempenho operacional.

Passo 3

A equipe de AMT confirma as definições do TRL antes de realizar a avaliação e, junto com o gerente do programa de PDI, estabelece quais evidências são necessárias para demonstrar que a classificação foi realizada. Em seguida, a equipe de AMT verifica o produto a ser testado e avalia se os ambientes e condições operacionais são aceitáveis. Para determinar a maturidade dos ETCs, a equipe AMT os avalia e determina um TRL para cada um. Os TRLs são determinados por meio de uma avaliação objetiva da informação em relação a critérios gerais. Esses critérios são definidos nas descrições do TRL e confirmados pelo gerente do programa de PDI e o líder da equipe de AMT.

Passo 4

O relatório de AMT fornece aos tomadores de decisão todas as informações necessárias. O envolvimento da gestão inclui uma verificação dos fatos, bem como uma resposta à classificação do relatório AMT, juntamente com qualquer documentação para apoiar quaisquer opiniões divergentes. A orientação da Agência descreve o processo de envio, revisão e aprovação do relatório.

Passo 5

O relatório de AMT é utilizado para informar ao gerente do programa de PDI sobre a preparação dos ETCs, a fim de os ajudar a tomar uma série de decisões que, podem variar desde aquelas tomadas para determinar se os programas que dependem de ETCs estão prontos para avançar, até aquelas para as AMT de autoavaliação que as utilizam nas suas responsabilidades diárias para tecnologias maduras ou considerar compensações à luz de mudanças nos custos, no cronograma ou nas prioridades do programa de PDI. Além disso, os desenvolvedores podem usar os relatórios de AMT para compreender melhor os riscos de transição ao amadurecer tecnologias.

32. O conteúdo de um relatório de AMT pode variar de acordo com o tipo de produto, o porte do projeto ou ação e a sua importância no portfólio de PDI da empresa considerando o planejamento estratégico da empresa. Os relatórios de AMT devem ser elaborados para certificar que os ETCs atingiram a classificação do TRL esperada, sendo que a ANEEL poderá utilizá-los na avaliação do projeto ou ação de PDI, para verificar o cumprimento dos objetivos esperados.

33. O Quadro 2 apresenta o modelo de relatório de AMT.

Quadro 2 – Modelo de Relatório de AMT

MODELO DE RELATÓRIO DE AVALIAÇÃO DE MATURIDADE TECNOLÓGICA - AMT**SUMÁRIO EXECUTIVO**

Indicar as Empresas de Energia Elétrica que solicitaram a Avaliação de Maturidade Tecnológica – AMT, os nomes das pessoas responsáveis pela realização da AMT e quais Elementos Tecnológicos Críticos - ETCs do produto principal do projeto ou ação foram avaliados. Apresentar uma tabela resumida contendo as ETCs e os correspondentes Níveis de Maturidade Tecnológica - TRL.

INTRODUÇÃO**Panorama:**

Apresentar uma visão geral do projeto ou ação, contemplando descrição do produto principal proposto, e informações básicas acerca dos ETCs avaliados.

Finalidade da AMT:

Indicar a finalidade da AMT (avaliação de TRL pretendido, avaliação de TRL alcançado ou avaliação de TRL efetivamente alcançado).

Escopo da AMT:

Indicar a metodologia de seleção dos ETCs e os documentos comprobatórios dos marcos de desenvolvimento e dos resultados alcançados na AMT.

RESULTADOS**Apresentar para cada ETC avaliado:**

- **Descrição:** Descrever, sucintamente, o ETC e sua relevância para o produto principal do projeto ou ação.
- **Funções:** Descrever as funcionalidades do ETC no âmbito do produto.
- **Relação com outros sistemas:** Descrever a interface do ETC com outros ETCs ou sistemas do produto.
- **Histórico e estado de desenvolvimento:** Descrever, sucintamente, as atividades de desenvolvimento pertinentes que ocorreram até o momento para o ETC.
- **Ambiente Relevante:** Descrever parâmetros relevantes inerentes ao ETC ou funções que ele desempenha no que se refere ao ambiente operacional pretendido.
- **Comparação entre ambiente relevante e ambiente de demonstração:** Descrever as diferenças e semelhanças entre o ambiente em que o ETC foi testado e o ambiente operacional.
- **Determinação do TRL:** Declarar o TRL determinado para o ETC e justificar o TRL atribuído.
- **Requisito Operacional:** Descrever o desempenho funcional do produto, requerido e verificado, e os recursos para habilitação dos ETCs.
- **Resultados dos Testes:** Descrever os relatórios analíticos, relatórios de teste ou outras informações usadas para aferir a maturidade e a funcionalidade do ETC.

34. A classificação do TRL de cada ETC deve usar como referência o atingimento dos marcos e dos resultados listados para cada nível de maturidade indicados no Anexo 3.
35. As AMTs deverão ser realizadas para as ações e projetos carregados no sistema de gestão do Programa de PDI da ANEEL, conforme os formulários disponibilizados nos termos dispostos no PROPD. I.
36. Para projetos ou ações com produto principal composto por múltiplos ETCs, a empresa deverá sempre reportar à ANEEL o TRL do ETC com **menor** nível de maturidade tecnológica.
37. No formulário de ação ou projeto a ser enviado à ANEEL nos termos dispostos no PROPD. I, a empresa proponente deverá informar o TRL **pretendido** para o produto principal da ação ou do projeto.
38. Nos relatórios anuais de resultados, para cada ação ou projeto de seu portfólio de PDI, a empresa deverá informar o TRL **alcançado** até então para os respectivos produtos principais.
39. No relatório final de cada ação ou projeto de seu portfólio de PDI, a empresa deverá informar o TRL efetivamente **alcançado** para o respectivo produto principal.
40. Os relatórios das AMTs deverão compor os relatórios anuais de resultados, como anexos ou apêndices do documento.
41. A ANEEL poderá solicitar, em qualquer época, os documentos comprobatórios referenciados nos relatórios de AMT.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] BLANKE, Jim. *Technology Readiness Levels Demystified*. National Aeronautics and Space Administration – NASA. Aug 20, 2010. Disponível em: <<https://www.nasa.gov/aeronautics/technology-readiness-levels-demystified/>>.

[2]: ECSS Secretariat. **Space engineering: Technology readiness level (TRL) guidelines**. ECSS-E-HB-11A (esa.int). European cooperation for Space Standardization. 1 March 2017. Disponível em: <[https://connectivity.esa.int/sites/default/files/ECSS-E-HB-11A\(1March2017\).pdf](https://connectivity.esa.int/sites/default/files/ECSS-E-HB-11A(1March2017).pdf)>. (versão atualizada)

[3] ISO. **Space systems — Definition of the Technology Readiness Levels (TRLs) and their criteria of assessment**. ISO 16290:2013(en). International Organization for Standardization. 2019. Disponível em: <<https://www.iso.org/obp/ui/en/#iso:std:iso:16290:ed-1:v1:en>> .

[4] EARTO – European Association of Research and Technology Organisations. s/d. Disponível em: <<https://www.earto.eu/>>.

[5] EU. **Horizon 2020**. European Commission, s/d/. Disponível em: <https://research-and-innovation.ec.europa.eu/funding/funding-opportunities/funding-programmes-and-open-calls/horizon-2020_en#what-was-horizon-2020>.

[6] **Agência Nacional de Energia Elétrica**. Resolução Normativa nº 1.074, de 19/09/2023. Aprova a revisão dos Módulos 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7 dos Procedimentos do Programa de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação — PROPDI, aprova o Plano Estratégico Quinquenal de Inovação — PEQuI 2024-2028 do Programa de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação — PDI da ANEEL e dá outras providências. Publicado no D.O. de 26.09.2023, seção 1, p. 56, v. 161, n. 184. Disponível em: <<https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren20231074.pdf>>.

[7] U.S.DOE. **DOE G 413.3-4A, Technology Readiness Assessment Guide**. U.S. Department of Energy, Directives Program, Office of Management. Approved in Sep 15, 2011. Disponível em: <<https://www.directives.doe.gov/directives-documents/400-series/0413.3-EGuide-04a>>.

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

[9] U.S. GAO. **Technology Readiness Assessment Guide: Best Practices for Evaluating the Readiness of Technology for Use in Acquisition Programs and Projects [Reissued with revisions on Feb. 11, 2020.] GAO-20-48G**. U.S. Government Accountability Office. Published: Jan 07, 2020. Publicly Released: Jan 07, 2020. Disponível em: <<https://www.gao.gov/products/gao-20-48g>>.

ANEXOS

Anexo 1: Termos e Definições para Avaliação de Maturidade Tecnológica – AMT do MCTI

TERMO	DEFINIÇÃO
Abordagem de pesquisa	Quais testes e experimentos precisam ser feitos (experimental, observacional? Qualitativo ou quantitativo?)
Alta Fidelidade	Qualificação dada a um modelo/protótipo que guarda grande similaridade com o produto final, na função a que se destina, tendo também comportamento, estrutura e composição similares ligadas à função crítica que se propõe.
Ambiente Controlado	Área que deve ter certos parâmetros controlados, como, por exemplo, pressão, temperatura e segregação. Necessário para demonstrar os princípios subjacentes e o desempenho funcional do elemento
Ambiente de Produção	Ambiente com realismo de chão de fábrica (operadores, estruturas, ferramentais, materiais, etc.), destinados ao processamento, manufatura e produção do elemento/tecnologia.
Ambiente Laboratorial	São considerados ambientes controlados, com controle de temperatura e pressão, possuindo estrutura e equipamentos próprios que são distintos do ambiente real e operacional.
Ambiente Operacional	Ambiente destinado à execução das atividades ligadas a função do elemento/tecnologia.
Ambiente Real	Ambiente operacional com todas as condições normais de operação e manuseio usuais e pelas quais a tecnologia sempre se submeterá durante seu uso.
Ambiente Relevante	Ambiente utilizado para demonstrar o desempenho geral do elemento/tecnologia, considerando, parâmetros de referência a serem observados em ambiente real, ou seja, ambiente simulado e com escalabilidade que extrapole as condições normais de operação.
Arquitetura da Tecnologia	Projeto de design das soluções com base nas necessidades da tecnologia. Conhecimentos técnicos e habilidades que alinham a tecnologia aos seus objetivos com foco na sua concepção e desenho do conjunto de elementos que, a partir de uma necessidade, sustentará as funcionalidades de um sistema.
Baixa Fidelidade	Qualificação dada a um modelo/protótipo que guarda alguma similaridade com o produto final, sendo restrito a alguns elementos da função a que se destina, não tendo necessariamente o mesmo comportamento, estrutura e composição do modelo final.
Característica	Ferramenta descritiva, dos aspectos físicos ou construtivos da tecnologia em análise.
Conceito operacional	Define sobre quais parâmetros o ambiente e a operação da tecnologia serão definidos e utilizados.
Condições de Estresse	Submissão de componente, modelo, protótipo ou tecnologia às condições extremas de utilização, até sua falha ou seu limite operacional.

TERMO	DEFINIÇÃO
Dados primários	Dados originais, observáveis diretamente em sua condição e ecossistema, sem interferência de coleta ou intermediação. Coletados pela primeira vez por um pesquisador, por método próprio.
Dados sintéticos (artificiais)	Resultado do tratamento de dados reais, sem comprometimento da privacidade, possivelmente tabulados ou expressos por meio de relatórios.
Declaração de Problema	É parte integrante do processo de design e consiste na melhor definição de um problema com observações sintéticas e objetivas desde o primeiro estágio do processo. Uma ótima declaração de problema orientará o trabalho da equipe que iniciará a fase de concepção / criação – trazendo clareza e foco ao processo de design.
Desempenho Funcional de um Elemento	Aspectos de um elemento observados ou medidos, a partir de sua operação ou função.
Desenhos de rascunho	Desenhos não definitivos da arquitetura da tecnologia, utilizando anotações de fácil entendimento, elaborado após a fase de definição do protótipo.
Desenvolvimento experimental	Trabalhos sistemáticos delineados a partir de conhecimentos pré-existentes, visando a comprovação ou demonstração da viabilidade técnica ou funcional de novos produtos, processos, sistemas e serviços ou, ainda, um evidente aperfeiçoamento dos já produzidos ou estabelecidos.
Design experimental	Definição de um plano experimental detalhado antes de fazer o experimento. Um design experimental bem realizado maximiza a quantidade de "informações" que podem ser obtidas a partir de uma determinada quantidade de esforço experimental.
Documentação da Tecnologia	série de documentos e mapas conceituais que permitem entender como a tecnologia funciona e principalmente para registrar, quais são os processos que ela executa, como o sistema foi desenvolvido, para que outros pesquisadores possam entendê-lo e realizar modificações, como o processo de desenvolvimento ocorreu, para que os próximos projetos sejam melhores e como o sistema deve ser utilizado pelos seus usuários
Documentos de Dimensionamento	Documentos auxiliares descrevendo dimensões, amplitude e alcance da tecnologia.
Efeitos de Escala	Quando o tamanho relativo de uma variável ou evento se transforma em fator de grande influência em resultados e decisões.
Estudos de dimensionamento	Estudos utilizados para a definição de dimensões, amplitude e alcance da tecnologia.
Fundamentos do Pensamento	Base de conhecimento, tácito e explícito, com a definição das premissas utilizadas para a teorização do elemento / tecnologia.
GMP	<i>Good Manufacturing Practices</i> (GMP), traduz-se como boas práticas de produção, consistem em um conjunto de regras que visam garantir a qualidade dos procedimentos.
Integração de Componentes	Testes realizados para garantir que a combinação entre os componentes do sistema produza um comportamento esperado. A verificação da integração entre os componentes da aplicação torna-se essencial para obter um produto final de qualidade.

TERMO	DEFINIÇÃO
Interfaces entre componentes	Uma interface disponibiliza tipos variados de acesso entre componentes, como, por exemplo: constantes, tipos de dado, procedimentos, especificação de exceções e assinaturas de métodos. Em alguns casos é mais apropriado definir as variáveis como parte das interfaces. As interfaces também especificam a funcionalidade disponibilizada por meio de comentários ou por meio de declarações lógicas formais
Limitada em escala industrial	Tecnologia de produção ainda pouco replicável
Lotes piloto	Lotes da tecnologia produzidos no início da produção, para testar procedimentos e processos produtivos e avaliar a qualidade e a operação em si.
M&S	Termo em inglês para modelagem e simulação
Maquete	Modelo reduzido da tecnologia
Minuta de Análise econômica	Documento produzido a fim de se avaliar as capacidades econômicas e a viabilidade econômica da tecnologia para produção e comercialização.
Modelo	Representação da tecnologia
Modelo Analítico	Modelo teórico explícito
Modelo de Uso	Modelo pronto para uso
Modelo/Protótipo representativo	Modelo com alta fidelidade que reflete todos os aspectos da tecnologia
Modelo/Protótipo representativo de função	Modelo com alta fidelidade que se reflete em apenas uma função da tecnologia
Multitecnologia	Múltiplas tecnologias ou tecnologias multifacetadas
Nível de Segurança	Nível de tolerância estabelecido para o funcionamento da tecnologia, com nível de risco de segurança aceitável.
Observações de Base	Observações básicas ou teóricas da tecnologia
Pesquisa Aplicada	Realizada para determinar as possíveis utilizações dos resultados da pesquisa básica, para estabelecer métodos ou novas maneiras de alcançar objetivos determinados.
Pesquisa Básica	Consiste em trabalhos experimentais ou teóricos, desenvolvidos principalmente para adquirir novos conhecimentos sobre os fundamentos de fenômenos e fatos observáveis, sem considerar uma aplicação ou uso particular.
Princípios de Base	Princípios e hipóteses básicas sobre a tecnologia
Processo formal de inspeção	Procedimento voltado a descoberta antecipada de possíveis falhas antes da produção final
Processos de fabricação estáveis	Processo de fabricação maduro e com nível de tolerância controlado.

TERMO	DEFINIÇÃO
Produtibilidade	Capacidade de produzir o elemento / tecnologia.
Protótipo	Modelo preliminar
Prova de Conceito	Experimentação / Modelos Analíticos / Simulação com a pretensão de se provar o conceito do elemento / tecnologia e o desempenho esperado.
Qualificação	Submissão do elemento / tecnologia a sua condição de uso com sucesso aferido e comprovado para fins de certificação e/ou utilização em ambiente real.
Sistema Logístico	Sistema que interliga as atividades logísticas num processo integrado.
Sistema Real	Sistema final em operação no ambiente real do elemento / tecnologia madura, qualificada e integrada.
Taxa de produção plena	Produção em capacidade máxima
Tecnologia Madura	Tecnologia definida por um conjunto de processos reprodutíveis para o projeto, a fabricação, os ensaios e a operação de um elemento, de modo a satisfazer um conjunto de requisitos de desempenho em ambiente operacional real.
Tecnologia pronta para comercialização	Sistema final em pleno funcionamento, com o elemento / tecnologia validada, integrada e qualificada, em condições de uso seguro para sua comercialização.
Tecnologia-Cruzada	Elemento que possui múltiplas tecnologias ou tecnologias relacionadas operando em um único sistema. Como exemplo poderíamos citar um determinado elemento que abordasse, ao mesmo tempo, dinâmica de fluidos e corrente alternada.

FONTE: **Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação**. Portaria n.º 6.449, de 17.10.2022. Dispõe sobre o uso do Sistema de Medição e Identificação do Nível de Maturidade Tecnológica dos projetos desenvolvidos no âmbito do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações e de suas unidades vinculadas. Publicada no D.O.U. de 19.10.2022, Seção I, Pág. 31. A calculadora TRL, os termos e as definições estão disponíveis em: <<https://formularios.mctic.gov.br/index.php/117963>>.

Anexo 2: Modelo para identificação de Elementos de Tecnologia Críticos - ETCs

Nota: Um Elemento de Tecnologia Crítico - ETC é identificado se houver pelo menos uma resposta positiva em cada conjunto de critérios.

CONJUNTO 1 - CRITÉRIOS DE CRITICIDADE	SIM	NÃO
1. A tecnologia impacta diretamente um requisito funcional do produto?		
2. As limitações na compreensão da tecnologia resultam em um risco de atraso no cronograma de desenvolvimento do produto, ou seja, a tecnologia pode não estar pronta para inserção no produto quando necessário?		
3. As limitações na compreensão da tecnologia resultam em um risco de aumento de custo do produto; ou seja, a tecnologia pode causar excedentes de custo significativos ao produto?		
4. As limitações na compreensão da tecnologia afetam a segurança do produto?		
5. Existem incertezas na definição dos requisitos de performance da tecnologia?		

CONJUNTO 2 - CRITÉRIOS DE NOVIDADE E INOVAÇÃO	SIM	NÃO
1. A tecnologia é nova ou inovadora?		
2. A tecnologia foi modificada?		
3. Os perigos potenciais da tecnologia foram avaliados?		
4. A tecnologia foi adaptada para um novo ambiente relevante ou operacional?		
5. Espera-se que a tecnologia opere em um ambiente e/ou alcance um desempenho além de sua capacidade demonstrada ou em níveis de exigência não previstos em desenvolvimentos anteriores?		

Anexo 3: Tabela descritiva dos Níveis de Maturidade Tecnológica - TRLs

Estágio de Desenvolvimento	TRL	Definição	Descrição	Marcos do Desenvolvimento	Resultados Atingidos (Critério de classificação)
Operação	9	Tecnologia em operação conforme o esperado em um ambiente real.	O desenvolvimento da tecnologia está concluído. Operação em um ambiente real, sob todas as condições realizada e finalizada.	A tecnologia atingiu a maturidade. O elemento está funcionando com êxito para a missão atribuída no ambiente operacional real.	<ul style="list-style-type: none"> • Comissionamento na fase inicial de operação. • Relatório de operação no setor elétrico em período temporal relevante.
Comissionamento	8	Tecnologia concluída e qualificada por meio de testes.	Foi comprovado que a tecnologia funciona conforme as condições esperadas, em um ambiente de testes. Uma Revisão Operacional foi concluída com sucesso antes do início dos testes a quente.	O modelo do elemento é qualificado ou certificado e integrado em sistemas para a operação no ambiente operacional real.	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo de produto construído e integrado ao sistema final. • Aceitação do sistema final para operação no setor elétrico.
	7	Escala completa, demonstração de protótipo em ambiente relevante.	Foi comprovado que o protótipo da tecnologia funciona conforme as condições esperadas, em um ambiente relevante.	O desempenho é demonstrado no ambiente operacional. Um modelo representativo, refletindo integralmente todos os aspectos do projeto do elemento, é construído e testado com margens adequadas para demonstrar o desempenho no ambiente operacional.	<ul style="list-style-type: none"> • Definição dos requisitos de desempenho, incluindo a definição do ambiente operacional. • Definição e realização do modelo. • Plano de teste do modelo. • Resultados dos testes do modelo.

Estágio de Desenvolvimento	TRL	Definição	Descrição	Marcos do Desenvolvimento	Resultados Atingidos (Critério de classificação)
Demonstração	6	Engenharia/escala de lote pioneiro, validação de protótipo em ambiente relevante.	Modelo de escala de engenharia representativo testado em um ambiente relevante.	As funções críticas do elemento são verificadas, o desempenho é demonstrado no ambiente relevante e em modelo(s) representativo(s) em forma, ajuste e função.	<ul style="list-style-type: none"> Definição dos requisitos de desempenho e do ambiente relevante. Identificação e análise das funções críticas do elemento. Projeto do elemento, apoiado por modelos apropriados para a verificação das funções críticas. Plano de teste de funções críticas. Definição de modelo para as verificações de funções críticas. Relatórios de teste de modelo.
Desenvolvimento	5	Escala de laboratório, validação de sistema semelhante em ambiente relevante.	Os componentes tecnológicos básicos foram integrados para que a configuração do sistema seja semelhante à aplicação final em quase todos os aspectos.	As funções críticas do elemento são identificadas e o ambiente relevante associado é definido. Protótipos em placa de ensaio, não em escala real, são construídos para verificação do desempenho por meio de testes no ambiente relevante, considerando os efeitos de escala.	<ul style="list-style-type: none"> Definição preliminar dos requisitos de desempenho e do ambiente relevante. Identificação e análise das funções críticas do elemento. Projeto preliminar do elemento, apoiado por modelos apropriados para a

Estágio de Desenvolvimento	TRL	Definição	Descrição	Marcos do Desenvolvimento	Resultados Atingidos (Critério de classificação)
					<p>verificação das funções críticas.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Plano de teste de funções críticas. • Análise de efeitos de escala. • Definição de placa/ambiente de ensaio (<i>breadboard</i>) para a verificação de funções críticas. • Relatórios de teste de placa/ambiente de ensaio (<i>breadboard</i>).
Desenvolvimento	4	Validação de componentes e/ou sistemas em ambiente laboratorial.	Componentes tecnológicos básicos são integrados para estabelecer que as peças funcionarão juntas. Ainda é uma integração de relativa “baixa fidelidade” em comparação com o eventual sistema final.	O desempenho funcional do elemento é demonstrado por testes em placa de ensaio em ambiente de laboratório	<ul style="list-style-type: none"> • Requerimentos de desempenho preliminares, devendo incluir uma definição de requerimentos funcionais • Projeto conceitual do elemento ou componente • Plano funcional de testes • Definição de arcabouço básico de testes para verificação de desempenho funcional • Relatórios dos testes de desempenho funcionais

Estágio de Desenvolvimento	TRL	Definição	Descrição	Marcos do Desenvolvimento	Resultados Atingidos (Critério de classificação)
Pesquisa para Teste de Viabilidade.	3	Estudos analíticos e experimentais e/ou prova de conceito.	A pesquisa e o desenvolvimento são iniciados. Inclui estudos analíticos e estudos em escala laboratorial para validar as previsões analíticas de elementos separados da tecnologia.	O conceito do elemento é elaborado baseando-se em modelos analíticos que incorporam dados experimentais e características relevantes. O desempenho esperado é então demonstrado por meio desses modelos.	<ul style="list-style-type: none"> • Requerimentos de desempenho preliminares, podendo incluir uma definição de requerimentos funcionais • Projeto conceitual do elemento ou componente • Dados experimentais, definições de experimentos em laboratório e resultados • Modelos analíticos do elemento para ensaios de prova de conceito
	2	Conceito e/ou aplicação de tecnologia formulada.	Uma vez observados os princípios básicos, aplicações práticas podem ser inventadas. As aplicações são especulativas e pode não haver nenhuma prova ou análise detalhada para apoiar as suposições.	Identificação de possíveis aplicações e concepção inicial do elemento. A prova de conceito ainda não foi realizada.	<ul style="list-style-type: none"> • Formulação de Aplicações Potenciais • Projeto conceitual preliminar do elemento ou componente, provendo entendimento de como os princípios básicos devem ser empregados
Pesquisa de Tecnologia Básica.	1	Princípios básicos observados e relatados.	O nível mais baixo de maturidade tecnológica. A investigação científica começa a traduzir-se em P&D aplicados. Exemplos podem incluir estudos publicados das propriedades básicas de uma tecnologia.	Aplicações potenciais são identificadas a partir de observações básicas, mas o conceito do elemento ainda não foi formulado.	<ul style="list-style-type: none"> • Expressão dos princípios básicos orientados à aplicação • Identificação de aplicações potenciais

FONTE: Adaptado de ECSS (2017) e GAO (2020).



AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA