



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA  
INSTITUTO FEDERAL GOIANO - CAMPUS RIO VERDE-GO

---

## **Programa de Pós-Graduação Profissional em Administração**

TAYS ALMEIDA DE SOUZA

## **PLATAFORMA VIRTUAL DE MATURIDADE TECNOLÓGICA**

RIO VERDE – GO  
2026

TAYS ALMEIDA DE SOUZA

## **PLATAFORMA VIRTUAL DE MATURIDADE TECNOLÓGICA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Administração, do Instituto Federal Goiano, do Campus Rio Verde (IF GOIANO), como requisito para a obtenção do título de Mestre em Administração.

**Linha de pesquisa:** Estratégia e Inovação Organizacional

**Orientador:** Professor Doutor Marco Antônio Harms Dias

RIO VERDE – GO  
2026

**Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do  
Programa de Geração Automática do Sistema Integrado de Bibliotecas do IF Goiano - SIBi**

S729p Almeida de Souza, Tays  
Plataforma Virtual de Maturidade Tecnológica / Tays Almeida  
de Souza. Rio Verde 2026.

86f.

Orientador: Prof. Dr. Marco Antônio Harms Dias.  
Dissertação (Mestre) - Instituto Federal Goiano, curso de  
0233484 - Mestrado Profissional em Administração (Campus  
Rio Verde).

1. Auditoria Tecnológica. 2. Maturidade Tecnológica. 3. TRL. 4.  
Inovação Organizacional. 5. Produto Técnico-Tecnológico. I.  
Título.

## TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano a disponibilizar gratuitamente o documento em formato digital no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

### IDENTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

- |  |   |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Tese (doutorado)                  | <input type="checkbox"/> Artigo científico              |
| <input checked="" type="checkbox"/> Dissertação (mestrado) | <input type="checkbox"/> Capítulo de livro              |
| <input type="checkbox"/> Monografia (especialização)       | <input type="checkbox"/> Livro                          |
| <input type="checkbox"/> TCC (graduação)                   | <input type="checkbox"/> Trabalho apresentado em evento |

Produto técnico e educacional - Tipo:

Nome completo do autor:

Matrícula:

Título do trabalho:

### RESTRITÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial:  Não  Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIIF Goiano:  /  /

O documento está sujeito a registro de patente?  Sim  Não

O documento pode vir a ser publicado como livro?  Sim  Não

### DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O(a) referido(a) autor(a) declara:

- Que o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- Que obteve autorização de quaisquer materiais indusos no documento do qual não detém os direitos de autoria, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- Que cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Documento assinado digitalmente  
 TAYS ALMEIDA DE SOUZA  
Data: 28/05/2026 13:54:26-0300  
Verifique em <https://validar.ifg.gov.br>

Local

/  /

Data

Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais

Ciente e de acordo:

Assinatura do(a) orientador(a)

Documento assinado digitalmente  
 MARCO ANTONIO HARMIS DIAS  
Data: 02/06/2026 13:15:58-0300  
Verifique em <https://validar.ifg.gov.br>



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA  
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Declaração nº 54/2026 - CC-CAT/GE-CAT/CMPCAT/IFGOIANO

## **PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO**

**ATA Nº/20**

### **BANCA EXAMINADORA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO**

Aos 31 dias do mês de março do ano de dois mil e vinte e seis, às 20 horas e 30 minutos, reuniram-se os membros da Banca Examinadora, em sessão pública realizada na modalidade remota, para proceder à avaliação da Defesa de Dissertação intitulada: "PLATAFORMA VIRTUAL DE MATURIDADE TECNOLÓGICA" de autoria de Tays Almeida de Souza, discente do Programa de Pós-Graduação em Administração – PPGADM, do Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde. A sessão foi aberta pelo(a) Presidente da Banca Examinadora, Prof. Dr. Marco Antonio Harms Dias, que realizou a apresentação formal dos membros da Banca. Concedeu-se a palavra à discente para exposição do trabalho, no tempo regulamentar estabelecido pelo Programa. Encerrada a apresentação, procedeu-se à arguição pelos membros da Banca, adotando-se o sistema de diálogo sequencial. Concluída a fase de arguição, a Banca reuniu-se para deliberação, observando as normas que regulamentam o Programa de Pós-Graduação em Administração – PPGADM.

Após análise da Dissertação e do Produto Técnico-Tecnológico (PTT) apresentado, a Banca Examinadora deliberou pela:

- APROVAÇÃO
- APROVAÇÃO COM RESSALVAS
- REPROVAÇÃO

da candidata, considerando cumprido o requisito para fins de obtenção do título de Mestre(a) em Administração, no âmbito do Programa de Pós-Graduação em Administração – PPGADM, do Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde.

Cumpridas as formalidades, a Presidência encerrou a sessão e, para constar, foi lavrada a presente Ata, que, após lida e achada conforme, será assinada eletronicamente pelos membros da Banca Examinadora.

Rio Verde/GO, 31 de março de 2026.

Membros da Banca Examinadora

Presidente - Orientador  
Prof. Dr. Marco Antonio Harms Dias  
Instituto Federal Goiano - IF Goiano  
Campus Rio Verde

Membro Interno  
Profa. Dra. Haihani Silva Passos  
Instituto Federal Goiano - IF Goiano  
Campus Rio Verde

Membro Externo  
Prof. Dr. Helio Ferenhof  
Instituição: Controladoria Geral do Estado de Santa Catarina e UNICESUSC

Documento assinado eletronicamente por:

- **Marco Antonio Harms Dias, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em 07/04/2026 09:44:24.
- **Helio Aisenberg Ferenhof, Helio Aisenberg Ferenhof - Professor Avaliador de Banca - Instituto Federal Goiano - Campus Rio Verde (10651417000500)**, em 07/04/2026 17:23:22.
- **Haihani Silva Passos, DIRETOR(A) - CD3 - DEXT-RV**, em 08/04/2026 11:14:45.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 07/04/2026. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

**Código Verificador:** 807871

**Código de Autenticação:** 53c31cace8



INSTITUTO FEDERAL GOIANO  
Campus Catalão  
Rua Salustiano Oliveira da Paz, 1621, Bairro Ipanema, CATALAO / GO, CEP 75.705-040  
(64)99212-9907



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA  
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Documentos 1/2026 - URE-CAT/GE-CAT/CMPCAT/IFGOIANO

## PLATAFORMA VIRTUAL DE MATURIDADE TECNOLÓGICA

Autor: Tays Almeida de Souza  
Orientadora: Marco Antonio Harms Dias

TITULAÇÃO: Mestre em Administração - Área de Concentração: Estratégia de Processos Inovadores

APROVADO em 31 de março de 2026.

*Assinado eletronicamente*  
Profa. Dra. Haihani Silva Passos  
Avaliador interno - IF Goiano Campus Rio Verde

*Assinado eletronicamente*  
Prof. Dr. Helio Ferenhof  
Avaliadora externa - *Controladoria Geral do Estado de Santa Catarina e UNICESUSC*

*Assinado eletronicamente*  
Prof. Dr. Marco Antonio Harms Dias  
Presidente da Banca - IF Goiano Campus Rio Verde

Documento assinado eletronicamente por:

- **Marco Antonio Harms Dias, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em 29/05/2026 08:14:31.
- **Helio Aisenberg Ferenhof, 051.349.257-71 - Usuário Externo**, em 29/05/2026 10:21:10.
- **Haihani Silva Passos, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em 29/05/2026 20:47:55.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 29/05/2026. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

**Código Verificador:** 824627  
**Código de Autenticação:** 679bfc1175



“Ninguém transforma ninguém, ninguém se  
transforma sozinho, nós nos transformamos no  
encontro” Roberto Crema

## RESUMO

Os Níveis de Maturidade Tecnológica (TRL's) são amplamente utilizados como critério de elegibilidade em editais de fomento à inovação, muitas organizações, principalmente, micro e pequenas, apresentam dificuldades para identificar corretamente o estágio de desenvolvimento de suas tecnologias. A carência de instrumentos acessíveis, padronizados e confiáveis para mensuração da maturidade tecnológica compromete a adequação das propostas aos requisitos das agências de fomento e pode limitar a busca e o acesso a recursos de inovação. Propor e desenvolver uma Plataforma Virtual de Maturidade Tecnológica, baseada em auditoria tecnológica e estruturada a partir dos níveis TRL, capaz de diagnosticar o estágio de desenvolvimento de tecnologias, oferta apoio a tomada de decisão e orienta a submissão qualificada a mecanismos de fomento. Este estudo fundamenta-se em revisão teórica sobre gestão da inovação, auditoria tecnológica e TRL, bem como na análise de modelos consolidados de avaliação tecnológica já utilizados por instituições renomadas. A partir desse referencial, foi estruturado um instrumento de diagnóstico composto por perguntas estratégicas parametrizadas, implementado em uma plataforma digital, acessível via web. Como Produto Técnico Tecnológico, foi concebida uma solução digital capaz de identificar automaticamente o TRL de projetos, organizações ou soluções, sistematizando informações estratégicas e fornecendo orientações quanto à adequação a editais e programas de fomento. A plataforma contribui para apoiar a governança da inovação e aproximar ciência, tecnologia e mercado. A adoção de um instrumento estruturado de auditoria tecnológica baseado em TRL pode ampliar a capacidade das organizações de compreender seu posicionamento tecnológico, qualificar propostas de PD&I e aumentar as chances de captação de recursos. A Plataforma Virtual de Maturidade Tecnológica demonstra potencial para fortalecer a efetividade das políticas públicas de inovação e a tomada de decisão baseada em evidências. A validação acontecerá em diferentes setores e portes organizacionais, a integração com bases de dados de agências de fomento, a incorporação de novas métricas, bem como o aprimoramento contínuo do instrumento por meio de inteligência analítica e aprendizado a partir do uso real.

**Palavras-chave:** Auditoria Tecnológica; Maturidade Tecnológica; TRL; Inovação Organizacional; Produto Técnico-Tecnológico.

## ABSTRACT

Technological Readiness Levels (TRL's) are widely used as eligibility criteria in innovation funding calls; however, many organizations—particularly micro and small enterprises—face difficulties in accurately identifying the development stage of their technologies. The absence of accessible, standardized, and reliable instruments for measuring technological maturity undermines the alignment of proposals with funding agencies' requirements and may limit access to innovation resources. This study proposes and develops a Virtual Technological Maturity Platform, grounded in technological auditing and structured around TRL levels, capable of diagnosing the development stage of technologies, supporting decision-making, and guiding qualified submissions to funding mechanisms. The research is based on a theoretical review of technological auditing, innovation management, and TRL, as well as on the analysis of consolidated technology assessment models employed by renowned institutions. From this framework, a diagnostic instrument composed of parameterized strategic questions was developed and subsequently implemented in a web-based digital platform. As a Technical-Technological Product, a digital solution was conceived to automatically identify the TRL of projects, organizations, or solutions, systematizing strategic information and providing guidance regarding compliance with funding calls and programs. The platform contributes to strengthening innovation governance and bridging science, technology, and the market. The adoption of a structured TRL-based technological auditing instrument can enhance organizations' capacity to understand their technological positioning, improve R&D&I proposals, and increase the likelihood of securing funding. The Virtual Technological Maturity Platform demonstrates potential to strengthen the effectiveness of public innovation policies and evidence-based decision-making. Validation will be conducted across different sectors and organizational sizes, with future developments including integration with funding agencies' databases, incorporation of new metrics, and continuous improvement through analytical intelligence and learning from real-world use.

**Keywords:** Technological Audit; Technological Maturity; TRL; Organizational Innovation; Technical-Technological Product.

## LISTA DE QUADROS

Quadro 01: Principais invenções e inovações por país, de 1750 a 1950 (em %) .....	15
Quadro 02: Cronologia e marcos temporais da inovação .....	16
Quadro 03: Principais características por autor .....	24
Quadro 04: Dimensões de Auditoria Tecnológica e Inovação .....	24
Quadro 05: O modelo de Auditoria Tecnológica apresentado por Pereira, Vasconcellos e Waack (1990) .....	25
Quadro 06: O modelo de Auditoria Tecnológica por Jakubavičius e Vilys (2008) .....	26
Quadro 07: O modelo de Auditoria Tecnológica por Giordano, Jesus e Ribeiro (2021) .....	27
Quadro 08: O modelo de Auditoria Tecnológica por Hecklau, Kirschun e Kohl (2022) .....	28
Quadro 09: Níveis de Maturidade Tecnológica (Technology Readiness Levels -TRL's) Andrade, Costa e Gil (2014) .....	29
Quadro 10: Escala de Níveis de Maturidade Tecnológica sob a perspectiva de diferentes autores .....	40
Quadro 11: Resumo da Metodologia .....	45
Quadro 12: Perguntas por Nível de Maturidade .....	52
Quadro 13: Projetos Participantes da Testagem .....	70

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
API	Application Programming Interface
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
CT&I	Ciência, Tecnologia e Inovação
EMBRAPII	Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial
FAPEG	Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás
FAP	Fundação de Amparo à Pesquisa
FINEP	Financiadora de Estudos e Projetos
FNDCT	Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
ICT	Instituição Científica, Tecnológica e de Inovação
IPI	Instituições Promotoras de Inovação
I&D	Inovação e Desenvolvimento
IF Goiano	Instituto Federal Goiano
INPI	Instituto Nacional da Propriedade Industrial
ISO	International Organization for Standardization
ITA	Instituto Tecnológico de Aeronáutica
MCTI	Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação
NBR	Norma Brasileira
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NIT	Núcleo de Inovação Tecnológica
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
OECD	Organisation for Economic Cooperation and Development
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
PD&I	Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação
PME	Pequena e Média Empresa
R&D	Research and Development
SEBRAE	Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas
SENAI	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
STI	Science, Technology and Innovation
TRL	Technology Readiness Level
TTO	Technology Transfer Office

## SUMÁRIO

1. CONTEXTUALIZAÇÃO .....	9
1.1 PROBLEMA DE PESQUISA .....	11
1.2 OBJETIVO GERAL.....	13
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	13
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	14
2.1 INOVAÇÃO ORGANIZACIONAL: CONCEITOS E MARCOS CRONOLÓGICOS	14
2.2 AUDITORIA TECNOLÓGICA .....	18
2.2.1 AS OPORTUNIDADES GERADAS PELA AUDITORIA TECNOLÓGICA.....	20
2.2.2 MODELOS DE AUDITORIA TECNOLÓGICA.....	23
2.3 NÍVEIS DE MATURIDADE TECNOLÓGICA: UMA FERRAMENTA DA NASA, COMO BASE DA AUDITORIA TECNOLÓGICA .....	31
2.3.1 DEFINIÇÕES DOS NÍVEIS DE MATURIDADE TECNOLÓGICA .....	33
2.4 RESUMO ANALÍTICO DOS TRL'S E ASSOCIAÇÃO ÀS INSTITUIÇÕES PROMOTORAS DE INOVAÇÃO .....	39
3. METODOLOGIA.....	43
3.1 MÉTODOS E TÉCNICAS.....	43
3.2. ASPECTOS TÉCNICOS E TECNOLÓGICOS .....	46
3.3 PLANO DE INTERVENÇÃO E IMPLEMENTAÇÃO DA PROPOSTA.....	48
4. PRODUTO TÉCNICO TECNOLÓGICO.....	60
4.1 CONTEXTO.....	63
4.2 ADERÊNCIA .....	65
4.3 CONTRIBUIÇÃO SOCIAL TÉCNICO CIENTÍFICA .....	66
4.4 IMPACTO ORGANIZACIONAL, SOCIAL E LOCAL .....	67
4.5 GRAU DE INOVAÇÃO E COMPLEXIDADE .....	68
4.6 TESTE E VALIDAÇÃO DO PRODUTO TÉCNICO TECNOLÓGICO.....	68
4.6.1 PROJETOS PARTICIPANTES DA TESTAGEM .....	70
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	75
6. CONCLUSÃO.....	78
REFERÊNCIAS .....	80

## 1. CONTEXTUALIZAÇÃO

O ambiente atual, marcado pela intensificação da digitalização e pela rápida obsolescência tecnológica, impõe novos desafios às organizações de forma geral, e também àquelas que atuam como instituições promotoras de inovação, como universidades, centros de pesquisa, institutos tecnológicos e ambientes de inovação. Conforme destaca o Manual de Oslo, a inovação está diretamente associada à capacidade das organizações de gerenciar conhecimento, tecnologia e processos de forma estruturada e orientada a resultados (OCDE, 2018).

Parte de uma série de publicações da instituição intergovernamental Organização para Cooperação Econômica e Desenvolvimento – OCDE, o Manual de Oslo tem o objetivo de orientar e padronizar conceitos, metodologias e construção de estatísticas e indicadores de pesquisa de P&D de países industrializados. Seu antecessor, o Manual Frascati, editado em 1962, originou a série de publicações da OCDE que ficou conhecida como Família Frascati. Cada conferência de seus países membros, para a atualização de dados, toma o nome da cidade em que se realiza. São 28 os países membros da OCDE, que são, também, a base para os indicadores. (OCDE, 1997, p. 9).

Os documentos acima citados, norteiam o movimento inovador no mundo, o que reflete no Brasil. A jornada brasileira da inovação perpassa pela estruturação de políticas públicas, o documento Marco Legal da Ciência, Tecnologia e Inovação, consolidado pelo Decreto nº 9.283/2018, reúne leis e regulamentos voltados para a inovação, pesquisa científica e desenvolvimento tecnológico, o documento direciona, também, a interação entre o setor empresarial e as instituições de pesquisa.

O novo Marco Legal altera nove Leis para criar um ambiente mais favorável à pesquisa, desenvolvimento e inovação nas universidades, nos institutos públicos e nas empresas: Lei de Inovação, Lei das Fundações de Apoio, Lei de Licitações, Regime Diferenciado de Contratações Públicas, Lei do Magistério Federal, Lei do Estrangeiro, Lei de Importações de Bens para Pesquisa, Lei de Isenções de Importações e Lei das Contratações Temporárias. Em 07 de fevereiro de 2018, foi sancionado pela Presidência da República o Decreto nº 9.283, para atender dispositivos da Lei nº 13.243 que necessitavam de regulamentação. (BRASIL, 2018, p. 5).

Diante de políticas públicas estruturadas, do avanço acelerado da tecnologia, da abundância de informações e oportunidades, as organizações passam a contar com programas e editais de fomento destinados ao financiamento de projetos de pesquisa, desenvolvimento e inovação (PD&I).

Esses programas incluem subvenções, financiamentos com juros reduzidos e editais competitivos, que são instrumentos chave para apoiar empresas de diferentes portes, especialmente aquelas com alto impacto social e econômico. No entanto, é importante destacar que, apesar da relevância dessas iniciativas, muitas vezes os processos de acesso a esses recursos são vistos como burocráticos e demorados, o que pode ser um

obstáculo para startups que necessitam de agilidade para competir no mercado global. (VALLE: 2025, p. 08)

Os acessos a esses recursos seguem um padrão de documentos a serem apresentados, um deles é o Nível de Maturidade Tecnológica (TRL), do projeto, da empresa ou da solução proposta.

Nível de Maturidade Tecnológica (Technology Readiness Level - TRL) é uma sistemática que permite avaliar, em um determinado instante, o nível de maturidade de uma tecnologia particular. A escala de maturidade ou prontidão tecnológica varia de 1 a 9, e, com base nas entregas/resultados relacionados a cada nível, pode ser assim descrita:

- TRL 1 – Princípios básicos observados e reportados;
- TRL 2 – Formulação de conceitos tecnológicos e/ou de aplicação;
- TRL 3 – Estabelecimento de função crítica de forma analítica ou experimental e/ou prova de conceito;
- TRL 4 – Validação funcional dos componentes em ambiente de laboratório;
- TRL 5 – Validação das funções críticas dos componentes em ambiente relevante;
- TRL 6 – Demonstração de funções críticas do protótipo em ambiente relevante;
- TRL 7 – Demonstração de protótipo do sistema em ambiente operacional;
- TRL 8 – Sistema qualificado e finalizado;
- TRL 9 – Sistema operando e comprovado em todos os aspectos de sua missão operacional. (BRASIL: 2020b, p. 01)

A citação acima, compõe um manual de orientações de uma agência de fomento, ou seja, os Níveis de Maturidade Tecnológica (TRL's), desenvolvidos pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) em 1970, é uma ferramenta que foi adaptada ao mercado global e se consagrou, sendo um dos instrumentos da Auditoria Tecnológica.

A Auditoria Tecnológica apresenta-se como uma metodologia relevante para o diagnóstico e avaliação do potencial tecnológico das organizações. A auditoria tecnológica é um “processo que tem por finalidade registrar e avaliar o potencial tecnológico da empresa, contribuindo para assegurar que a tecnologia seja utilizada de forma eficaz” (PEREIRA, VASCONCELLOS, WAACK, 1990, p. 33).

A metodologia TRL, dentro da Auditoria Tecnológica, estrutura o desenvolvimento em níveis progressivos, que variam desde a observação dos princípios básicos até a validação do sistema em ambiente operacional real (NASA, 2016). De acordo com a própria NASA (2016), os TRL's permitem “avaliar de forma sistemática o nível de maturidade de uma tecnologia, apoiando decisões relacionadas ao desenvolvimento, à gestão de riscos e à alocação de recursos”.

Um ambiente onde a inovação é estimulada, em vez de evitada. Avaliações realistas e consistentes ao longo do ciclo de vida do desenvolvimento tecnológico levam a uma

maior infusão de tecnologia nas missões, com um realismo concomitante em termos de custos para o desenvolvimento. (NASA: 2020, p. 01)

Diante do exposto, este trabalho vem construir um Produto Técnico Tecnológico capaz de contribuir com o desenvolvimento da inovação, encurtar a distância entre a ciência e o mercado, e popularizar uma ferramenta já utilizada e consagrada, capaz de alavancar o “potencial tecnológico das empresas, contribuindo para assegurar que a tecnologia seja utilizada de forma eficaz”, segundo Pereira, Vasconcellos & Waack (1990, p. 33).

Esse Produto Técnico Tecnológico denominado Plataforma Virtual de Maturidade Tecnológica, é uma solução digital aplicada, com base nos TRL's, que tem como finalidade permitir que organizações e desenvolvedores identifiquem, por meio de um instrumento estruturado de diagnóstico, o estágio de desenvolvimento de suas tecnologias e recebam orientações quanto à adequação a mecanismos de fomento à inovação.

A Plataforma Virtual de Maturidade Tecnológica, opera via web, onde as perguntas e respostas, parametrizadas, indicam o Nível de Maturidade Tecnológica, ao sistematizar informações estratégicas em ambiente digital, o modelo contribui para apoiar a tomada de decisão baseada em evidências e fortalecer a governança da inovação em diferentes contextos institucionais (MANKINS, 1995).

## **1.1 PROBLEMA DE PESQUISA**

As Instituições Promotoras de Inovação, especialmente as vinculadas ao Sistema Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação, têm incorporado de forma crescente o conceito de Nível de Maturidade Tecnológica (*Technology Readiness Level – TRL*) como critério para a seleção, enquadramento e avaliação de projetos submetidos a editais de fomento. Os TRL's, originalmente desenvolvido pela Agência Espacial Americana (*National Aeronautics and Space Administration – NASA*) e posteriormente adaptado por diferentes organismos internacionais e nacionais, constitui uma métrica padronizada para identificar o estágio de desenvolvimento de uma tecnologia, desde a pesquisa básica até sua aplicação comercial. No contexto brasileiro, agências como FINEP (Financiadora de Estudos e Projetos), EMBRAPPII (Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial), CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico), Fundações Estaduais de Amparo à Pesquisa e programas do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI) utilizam o TRL para

delimitar o escopo dos editais, direcionar recursos públicos de forma eficiente e reduzir riscos associados ao financiamento de tecnologias ainda imaturas.

Considerando que os resultados dos projetos EMBRAPPII devem necessariamente estar classificados entre 3 e 6 na escala de TRL, assume-se que os mesmos não possuem nível de maturidade tecnológica suficiente para serem diretamente implantados, comercializados ou utilizados fora do âmbito dos seus projetos. (EMBRAPPII: 2020, p. 09)

Como se trata da referência primária para as demais escalas de maturidade tecnológica, a caracterização do TRL é dada a partir de três dimensões de avaliação, a “escala”, a “fidelidade” e o “ambiente”; típicas do desenvolvimento de Tecnologias. Detalhes específicos sobre a avaliação do TRL a partir destas dimensões devem ser consultados na norma ABNT NBR ISO 1629015. (EMBRAPPII: 2020, P. 32)

De modo geral, os editais estabelecem faixas específicas de maturidade tecnológica como condição de elegibilidade, exigindo que os proponentes demonstrem, por meio de evidências técnicas, em qual nível TRL suas soluções se encontram. Essa exigência permite alinhar o tipo de apoio concedido, seja pesquisa básica, desenvolvimento experimental, validação em ambiente relevante ou escala industrial, às necessidades reais do projeto e aos objetivos estratégicos da política pública de inovação. Assim, projetos em TRL’s iniciais tendem a ser direcionados a programas de pesquisa científica, enquanto tecnologias em níveis mais elevados são priorizadas em instrumentos voltados à subvenção econômica, transferência tecnológica ou inserção no mercado.

A exigência do nível TRL nos editais, pode muitas vezes afastar o interesse de candidatos que desconhecem a ferramenta, o que gera uma demanda concreta por instrumentos capazes de diagnosticar, de forma objetiva e padronizada, a maturidade tecnológica de projetos e organizações. Muitas empresas, especialmente de pequeno e médio porte, enfrentam dificuldades para identificar corretamente seu posicionamento nessa escala, o que pode comprometer a adequação de suas propostas aos requisitos dos programas de fomento. Dessa lacuna surge a importância de metodologias de auditoria tecnológica e de ferramentas de apoio capazes de orientar os proponentes na compreensão de seu estágio de desenvolvimento e aumentar suas chances de sucesso na captação de recursos. Muitas vezes o edital traz a informação com muita objetividade, o que compromete o entendimento de pessoas distantes dos processos de subvenção.

Nível de Maturidade Tecnológica (TRL): a solução deve estar, no mínimo, em estágio de protótipo funcional (TRL 5) ou produto mínimo viável (MVP - TRL 6-7). Projetos em fases conceituais (TRL 1-4) não são elegíveis para esta edição. (FAPEG, 2025, p. 04)

Nesse contexto, o problema de pesquisa abordado compreende que os modelos disponíveis são limitados, de manuseio complexo e difusos fora do ambiente especializado, evidenciando uma carência de instrumentos estruturados, padronizados, acessíveis e descomplicados, capazes de mensurar a maturidade tecnológica de forma clara, confiável e sistemática. Conhecer o nível de maturidade tecnológica de um projeto é fundamental não apenas para atender às exigências de financiadores, mas também para subsidiar processos estratégicos de planejamento, gestão de riscos, alocação de recursos e definição de prioridades de desenvolvimento, permitindo decisões mais assertivas ao longo do ciclo de inovação. Dessa forma, ferramentas acessíveis contribuem com a compreensão do estágio real de desenvolvimento das soluções e com a identificação da capacidade das organizações de direcionar esforços técnicos e financeiros de maneira eficiente. Torna-se, portanto, necessário um instrumento capaz de orientar a adequação aos critérios estabelecidos pelos financiadores, aproximar agências de fomento e soluções inovadoras e acelerar o desenvolvimento da inovação dentro das organizações, reduzindo incertezas e ampliando as possibilidades de atuação competitiva no mercado.

## **1.2 OBJETIVO GERAL**

Desenvolver uma plataforma virtual, estruturada, a partir de um instrumento diagnóstico, baseado em perguntas estratégicas, capaz de analisar e identificar o Nível de Maturidade Tecnológica (TRL) de projetos ou organizações, com vistas a ampliar a compreensão organizacional, subsidiar a tomada de decisão estratégica, qualificar a avaliação por Instituições Promotoras de Inovação e viabilizar a adequada submissão a mecanismos de fomento.

## **1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Realizar levantamento teórico sobre auditoria tecnológica e níveis de maturidade tecnológica, identificando sua relação com a gestão da inovação;
- Contribuir com a qualificação e adequação das organizações, tornando-as aptas a se candidatarem à chamamentos públicos e editais de fomento;
- Estruturar um instrumento diagnóstico, composto por perguntas estratégicas, fundamentadas em modelos consolidados (NASA – *National Aeronautics and*

*Space Administration*, ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, ITA – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, MCTI – Ministério da Ciência Tecnologia e Inovação, e correlatos), capaz de identificar o estágio de desenvolvimento de projetos;

- Projetar e estruturar a Plataforma Virtual de Maturidade Tecnológica;
- Propor diretrizes de utilização e aplicação da plataforma no contexto das Instituições Promotoras de Inovação.

## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

O referencial teórico é o alicerce conceitual da pesquisa, permite situar o estudo no contexto do conhecimento científico e orienta a análise do fenômeno investigado. Conforme destacam Lakatos e Marconi (2017), toda investigação deve apoiar-se em teorias previamente consolidadas, de modo a garantir rigor científico e coerência metodológica. Para Gil (2019), a fundamentação teórica possibilita compreender o problema de pesquisa sob diferentes perspectivas analíticas, contribuindo para a interpretação dos resultados.

### **2.1 INOVAÇÃO ORGANIZACIONAL: CONCEITOS E MARCOS CRONOLÓGICOS**

O Manual de Oslo, publicação da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), define inovação como um bem ou serviço melhorado significativamente, e ainda como “o fator dominante no crescimento econômico nacional e nos padrões do comércio internacional” (1997, 31).

Para Jakubavičius e Vilys (2008, p. 363):

A ativação de inovações permite conduzir uma modernização versátil de estruturas de produção e serviço, melhorar produtos em desenvolvimento e tecnologias em uso e aumentar seu poder competitivo internacionalmente, que é um dos principais fatores do desenvolvimento econômico do país.

Ziemnowicz (2013) fez um estudo sobre a obra de Schumpeter (economista e teórico na área de inovação e empreendedorismo) e resgatou expressões como o empreendedor como agente de inovação, isso em suas publicações de 1911, onde esse agente estabelece a dimensão crítica da mudança econômica a partir de cinco tipos de inovação: novos processos de produção, novos produtos, novos materiais ou recursos, novos mercados, e novas formas de organização.

Viana (2011), vincula desenvolvimento à inovação, ele ainda afirma que a inovação provoca instabilidade no sistema capitalista, reajusta e evolui o sistema econômico.

A inovação é um dos pilares do desenvolvimento econômico, porque rompe o equilíbrio do *status quo* do mercado. Quem provoca essa ruptura é o empresário (definido pela sua função no ambiente produtivo, e não pela posse do capital) que, com a inovação que introduz, faz o que ninguém está a fazer no mercado. (VIANA, 2011, p. 52)

Segundo dados de março de 2022 apresentados pela Confederação Nacional das Indústrias (CNI), aproximadamente 73% das indústrias brasileiras, em 2020, desenvolveram atividades inovadoras, esse número aponta uma movimentação por ações que estimulem a inovação. Evolução constatada ao comparar com 2005, quando apenas 33% declararam desenvolver atividades inovadoras. A publicação ainda reafirma que trabalhar de forma estruturada e gerenciar os processos inovadores garantem bons resultados, e escolher uma estratégia sólida, impacta, diretamente, no resultado. O que evidencia a história da inovação nos EUA.

Veloso (1996) resgata a criação do primeiro laboratório de Investigação & Desenvolvimento (I&D) Industrial, no final do Século XIX, e o investimento maciço dos EUA nesses laboratórios, ele enfatiza que é nesse momento que os EUA se destacam no cenário mundial.

Este período marca também o início da ascensão dos EUA na cena mundial. Uma relação extremamente favorável entre investimento na componente tecnológica (os laboratórios de I&D na indústria passaram dos 100 de 1900 e para mais de 1300 em 19304 ), recursos abundantes e disponibilidade de mão de obra, catapultava os EUA para um lugar de liderança a nível internacional, situação que se consolidou definitivamente com o envolvimento da Europa na primeira grande guerra. Esta liderança era patente, não só do ponto de vista industrial e de comércio internacional, como do ponto de vista científico, passando o país a ter a maior fatia das invenções e inovações relevantes a nível mundial. (VELOSO, 1996, p. 12)

Dosi, Pavitt e Soete (1990) construíram um quadro, com registros que ilustram a evolução dos laboratórios de I&D e evidencia, a relação dos investimentos em I&D com crescimento dos EUA no cenário mundial.

Quadro 01: Principais invenções e inovações por país, de 1750 a 1950 (em %)

ANO	TOTAL	PAÍS				
		INGLATERRA	FRANÇA	ALEMANHA	EUA	OUTROS
1750-1775	30	46,7	16,7	3,3	10,0	23,3

<b>1776-1800</b>	68	42,6	32,4	5,9	13,2	5,9
<b>1801-1825</b>	95	44,2	22,1	10,5	12,6	10,5
<b>1826-1850</b>	129	28,7	22,5	17,8	22,5	8,5
<b>1851-1875</b>	163	17,8	20,9	23,9	25,2	12,3
<b>1876-1900</b>	204	14,2	17,2	19,1	37,7	11,8
<b>1901-1925</b>	139	13,7	9,4	15,1	52,5	9,4
<b>1926-1950</b>	113	11,5	0,9	12,4	61,9	13,3

Fonte: Dosi, Pavitt e Soete, 1990, p. 40

O quadro acima evidencia o protagonismo da Europa nos primeiros 100 anos do período compreendido, em seguida, registra a ascensão dos EUA na temática inovação. Vale ressaltar que os investimentos, do país citado, nesse período, circularam entre a estruturação dos laboratórios e em educação profissional.

Assiste-se, então, a um período de franco crescimento econômico a nível mundial, com a indústria automóvel, o armamento, a aviação e o petróleo em grande destaque. Os EUA, que emergem do conflito mundial como um líder incontestado a nível tecnológico, e também econômico, irão assistir ao prolongar desta hegemonia. A supremacia científica e tecnológica americana nos 25 anos que sucederam a segunda guerra mundial constitui mesmo um dos fatores mais importantes do panorama mundial nesse período. (VELOSO, 1996, p. 14)

Apesar da liderança definida no cenário mundial, o movimento pela inovação avança em todo o planeta. Eventos, documentos, estruturação de instituições estão evidenciados no tópico a seguir. Essa jornada resgata a história, e chega às primeiras décadas do Século XXI em plena interconexão, com inovações disruptivas e crescente demanda tecnológica.

Quadro 02: Cronologia e marcos temporais da inovação

<b>Ano</b>	<b>Evento</b>	<b>Fonte</b>
1900	O início do Século XX, foi um período marcado por profundas mudanças, expansão econômica, inovações tecnológicas e grandes desafios sociais, o carvão deixa de ser a principal fonte de energia e a	ABBAS E SHAHZAD, 2022

	eletricidade e o petróleo ganham protagonismo; setores como o de transportes, química, medicina são ampliados, as cidades e as sociedades se transformam, juntamente com suas economias e indústrias, governos de várias nações incentivam e promovem infraestruturas com o objetivo de desenvolverem múltiplas capacidades profissionais.	VELOSO, 1996
1918	Após a 1ª guerra mundial: Reino Unido cria instituições para fomentar a capacidade tecnológica das empresas, um conjunto de atores trabalhavam para fortalecer a capacidade industrial interna, para acompanhar o crescimento econômico de países como a Alemanha e Estados Unidos.	VELOSO, 1996
1930	A industrialização brasileira ganha força na economia, através da diversificação de parques industriais e substituição de importações.	GALDINO E VILHA, 2019
1945	Após a segunda guerra mundial: políticas públicas começam a aparecer voltadas ao fortalecimento da capacidade tecnológica dos países, um grande exemplo desse movimento foi o Relatório Ciência – A Fronteira sem fim, do americano, cientista e educador Vannevar Bush (o relatório enfatiza a importância do governo defender a pesquisa básica, o conhecimento e a ciência como norteadora do futuro).	VELOSO, 1996
1949	Criação do Instituto Alemão Fraunhofer, organização que tem como foco a pesquisa de utilidade prática, com atuação no campo da ciência aplicada. Em seguida a França (Centres Techniques Industriels), a Inglaterra (ERA's), a Holanda (TNO) e o Japão (Kohsetsushi Centers) fizeram suas trilhas na promoção tecnológica, União Soviética e EUA alavancam o processo de aprendizagem tecnológica.	VELOSO, 1996
1950	As atividades de Inovação & Desenvolvimento, são estimuladas pelos governos, a ciência alia-se à Inovação & Desenvolvimento, e é utilizada como motor do progresso.	VELOSO, 1996
1960	Surge o <i>Big Science</i> , projetos científicos de grandes proporções, com equipes multidisciplinares de alto desempenho, que requerem altos investimentos e desafios tecnológicos elevados.	VELOSO, 1996
1963	Nasce o Manual de Frascati, metodologia que mede atividades de ciência, tecnologia e inovação.	OCDE, 2002
1970	A Nasa cria a TRL ( <i>Technology Readiness Level</i> ), metodologia que mensura o Nível de Maturidade Tecnológica de projetos, contemplando nove níveis que indicam a escala de desenvolvimento de um produto.	HECKLAU, KIDSCHUN E KOHL, 2022
1970	Ciência como fonte de resolução de problemas sociais, nasce nos EUA, a avaliação social da tecnologia.	VELOSO, 1996
1977	EUA cria a primeira política pública de inovação tecnológica.	VELOSO, 1996
1984	Criação da Anpei (Associação Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento das Empresas Inovadoras), associação brasileira multisetorial, independente financeiramente, voltada para o ecossistema de inovação.	GOMES E NIRAZAWA, 2018
1988	Publicação do Relatório Sundqvist (dinamização da sociedade ativa), da OCDE, que expõe a necessidade de um sistema político que crie condições estruturais para o desenvolvimento sustentável.	VELOSO, 1996
1989	Nasa adota a ferramenta TRL, desenvolvida internamente, no ano de 1970.	HECKLAU, KIDSCHUN E KOHL, 2022
1989	MIT (Massachusetts Institute of Technology) finaliza um estudo que aponta a necessidade de reconstrução da infraestrutura tecnológica dos EUA.	VELOSO, 1996
1990	Pereira, Vasconcellos e Waack realizam a primeira produção acadêmica brasileira, sobre Auditoria Tecnológica.	GOMES E NIRAZAWA, 2018
1990	Criação do Manual de Oslo (inovação como implementação de produto/serviço melhorado).	OCDE, 1997
1997	É criado o Programa de Inovação Tecnológica em Pequenas Empresas (PIPE), pela Fundação de Amparo à Pesquisa de São Paulo.	GALDINO E VILHA, 2019
2002	Atualização do Manual de Frascati, metodologia que mede atividades de ciência, tecnologia e inovação	OCDE, 2002
2003	Criação COTEC Portugal (Associação Empresarial para a Inovação)	TEMAGUIDE, 2003

2004	Criação da Lei Brasileira de Incentivos à Inovação e a Pesquisa Científica e Tecnológica no ambiente produtivo (Lei 10.973).	GALDINO E VILHA, 2019
2007	Criação do PACTI – Plano de Ação em Ciência Tecnologia e Inovação, pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, com diretrizes definidas considerando a comunidade científica, o setor produtivo e instituições públicas, alinhado com os dezessete Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (Organização das Nações Unidas – ONU), esse documento é atualizado a cada cinco anos.	GOMES E NIRAZAWA, 2018
2008	Mobilização Empresarial pela Inovação (MEI), lançada no Encontro Nacional da Indústria.	GALDINO E VILHA, 2019
2008	Criação do Selo Anpei, de Empresa Inovadora, para empresas que investem em Pesquisa, Desenvolvimento & Inovação.	GOMES E NIRAZAWA, 2018
2011	Nasce a Empresa Brasileira de Pesquisa Industrial (EMBRAPII)	GALDINO E VILHA, 2019
2011	Anpei amplia a atuação reconhecendo esforços estruturados consistentes na busca contínua de competitividade por meio da inovação tecnológica, com orientação para gestão da inovação tecnológica	GOMES E NIRAZAWA, 2018
2016	Criação do Marco Legal da Inovação (Lei 13.243), modificou a Lei de Inovação, simplificando processos e promovendo a colaboração entre ICT's e empresas.	GALDINO E VILHA, 2019
2018	Atualização do Manual de Oslo, com a inserção da temática inovação aberta.	OCDE, 2018
2018	Decreto nº 9.283, regulamenta a Lei nº 13.243, estabelecendo as regras para a implementação do Marco Legal da Ciência Tecnologia e Inovação	BRASIL, 2018
2018	Inauguração do Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais (CNPEM), complexo de pesquisa instalado em Campinas (SP), que fomenta a pesquisa e o desenvolvimento tecnológico de alta performance na América Latina, nas áreas de ciência dos materiais, biociências, nanotecnologia e bioenergia. Pesquisadores do Brasil e do exterior utilizam as sofisticadas instalações de pesquisa dos Laboratórios Nacionais do CNPEM para realizar experimentos impraticáveis em suas instituições de origem. O Centro também qualifica recursos humanos voltados à P&D em complexas técnicas laboratoriais que integram suas instalações abertas.	BRASIL, 2018
2023	Lançamento do portal do Marco Legal da Ciência, Tecnologia e Inovação, a plataforma traz dados e ferramentas para ajudar instituições de pesquisa e empresas a desenvolver projetos de inovação	BRASIL, 2023

Fonte: Elaborado pela autora

A história, cronologicamente registrada, está distante de alcançar todos os eventos que impactaram o fortalecimento da Inovação, a organização cronológica evidencia o movimento orgânico que acontece no âmbito nacional e internacional. E se a inovação é capaz de levar desenvolvimento para pessoas, organizações, cidades, países e para o mundo, esse trabalho apresenta uma estratégia, capaz de fazer a ponte entre a inovação e o desenvolvimento, essa é a Auditoria Tecnológica.

## 2.2 AUDITORIA TECNOLÓGICA

Segundo Gomes e Nirazawa (2018), a auditoria é um termo que já percorre os corredores organizacionais com frequência, com vistas a medir, verificar, checar, validar processos financeiros, contábeis, de qualidade, com base em referências desenvolvidas internamente ou externamente, por órgãos reguladores.

A auditoria tecnológica é um processo que é projetado para estabelecer uma linha de base para a tecnologia e identificar novos produtos e sistemas que ajudarão o desenvolvimento da empresa. Ela visa melhorar a adequação e a validade do nível de tecnologia de uma empresa. O objetivo geral da auditoria tecnológica é avaliar a capacidade das empresas e organizações de integrar novas tecnologias, trabalhar com parceiros tecnológicos e definir melhor o que eles precisam para integrar com sucesso essas tecnologias na empresa. (Jakubavičius e Vilys, 2008, p. 364)

A Auditoria Tecnológica avança os limites da verificação e direciona suas atividades para mapeamento e identificação da capacidade tecnológica da organização.

A Auditoria de Tecnologia é um método para identificar os principais requisitos, necessidades, fraquezas e pontos fortes da empresa em recursos humanos e infraestrutura. A Auditoria de Tecnologia é uma técnica que identifica a visão da gerência sobre como a empresa se desempenha, bem como fortes indicações do que a empresa realmente precisa. A técnica de Auditoria de Tecnologia examina simultaneamente o ambiente externo e interno da empresa e identifica a relação dos recursos humanos com o desempenho da empresa. (Jakubavičius e Vilys, 2008, p. 363)

A Auditoria Tecnológica aqui proposta, vai além da identificação dos recursos tecnológicos da área da Gestão da Tecnologia, também conhecida como Tecnologia de Informação, segundo Jakubavičius e Vilys, é uma poderosa ferramenta de diagnóstico e de direcionamento mercadológico, que avalia a capacidade tecnológica das empresas, identifica oportunidades e vislumbra a integração de novas tecnologias e novos parceiros tecnológicos.

O nível de competitividade da empresa é cada vez mais ditado pela sua capacidade de inovar em resposta às necessidades do mercado e às investidas da concorrência. O domínio tecnológico é um dos fatores críticos nesse processo; assim, a tecnologia passa a ser vista como um ativo importante para a empresa. A Auditoria Tecnológica é um processo que tem por finalidade registrar e avaliar, sistematicamente e periodicamente, o potencial tecnológico da empresa contribuindo para assegurar que a tecnologia seja utilizada de forma eficaz para o atingimento dos objetivos organizacionais. (Pereira, Vasconcellos e Waack, 1990, p. 33)

A principal diferença entre uma auditoria tradicional e a Auditoria Tecnológica, é que, em seus relatórios finais, a tradicional fará apontamentos de divergências em relação aos documentos norteadores, e a Tecnológica fará sugestões, embasada no mapeamento realizado, de parcerias, de novas aquisições tecnológicas, de desenvolvimento.

Os objetivos da avaliação de necessidades tecnológicas (TNA) são avaliar a tecnologia atual e as estratégias de negócios, identificar lacunas e oportunidades de melhoria e desenvolver um relatório de descobertas e mudanças recomendadas. Normalmente, envolve etapas como: estabelecimento de parceria entre as partes interessadas por arranjo institucional específico, identificação de opções tecnológicas

alternativas e priorização de necessidades tecnológicas, disseminação de informações tecnológicas. (Jakubavičius e Vilys, 2008, p. 363)

Além de direcionar ações voltadas para o desenvolvimento, segundo a Abbas e Shahzad (2022), a Auditoria Tecnológica identifica oportunidades como patentes, desenvolvimento de produtos, desenvolvimento de softwares, oportunidades de pesquisa, exposição na mídia e serviços de consultoria.

Promover a inovação e estimular o desenvolvimento tecnológico das organizações, também é papel da gestão pública, políticas públicas voltadas pra essa promoção elevam os índices de produtividade das organizações e conseqüentemente dos países. Jakubavičius e Vilys (2008) cita como indispensável a intervenção do setor público. Sua obra traz informações relevantes, como a criação de dezenas de centros de inovação na Europa, e o desenvolvimento de programas que financiam a implantação de Auditoria Tecnológica em empresas europeias.

### 2.2.1 AS OPORTUNIDADES GERADAS PELA AUDITORIA TECNOLÓGICA

A auditoria tecnológica é uma ferramenta de alto valor para as organizações, pois maximizam o potencial competitivo, garante uma gestão eficiente dos recursos atuais e prospecta cenários evolutivos. Abaixo, destacam-se os principais benefícios que podem ser alcançados por meio dessa prática, segundo Gaitán (2002) e Veloso (1996):

- **Identificar oportunidades de negócios, com agregação de valor para a empresa:** a auditoria tecnológica permite mapear o cenário atual da organização, identificando lacunas e áreas onde novas soluções ou aprimoramentos podem gerar valor agregado, promovendo crescimento e competitividade.
- **Gerir a volatilidade financeira e os riscos:** ao analisar as ferramentas e processos tecnológicos, é possível prever e mitigar riscos associados à volatilidade financeira e a desafios operacionais, assegurando uma gestão mais equilibrada e eficiente.
- **Ser uma fonte de informação estratégica:** com dados concretos sobre o estado das tecnologias empregadas e o mercado, a auditoria se torna uma base de informações estratégicas que subsidiam decisões fundamentais para o futuro da empresa.
- **Orientar mudanças globalizadas:** em um mundo cada vez mais interconectado, a auditoria tecnológica ajuda as organizações a se adaptarem a transformações globais, garantindo que estejam alinhadas às demandas e tendências internacionais.

- **Construir uma base de conhecimentos sobre os desenvolvimentos tecnológicos de outras empresas e universidades:** a auditoria promove o monitoramento de avanços realizados por outras organizações e instituições acadêmicas, permitindo que a empresa aproveite inovações relevantes para seu contexto.
- **Contribuir para o desenvolvimento de uma cultura tecnológica:** ao identificar áreas de melhoria e capacitação, a auditoria auxilia na implantação de uma cultura que valoriza e integra tecnologia aos processos organizacionais.
- **Promover a transferência de tecnologia através da rede de pessoas e de comunicação melhorada:** fortalecendo redes de colaboração e comunicando-se eficientemente, a auditoria facilita o compartilhamento de soluções e conhecimentos tecnológicos entre equipes e parceiros.
- **Obter uma perspectiva independente dos problemas e oportunidades no domínio tecnológico:** uma abordagem imparcial permite identificar desafios e possibilidades de forma objetiva, contribuindo para uma tomada de decisão mais eficaz.
- **Identificar problemas e oportunidades em relação aos quais é necessário concentrar esforços:** a auditoria ajuda a priorizar as áreas que demandam maior atenção, maximizando o impacto das ações organizacionais.
- **Tendências de mercado e informações sobre o modo de atuação da concorrência:** o diagnóstico tecnológico oferece *insights* sobre tendências do setor e o desempenho da concorrência, permitindo ajustes estratégicos para manter a competitividade.
- **Diagnóstico das competências:** a auditoria identifica as competências internas da organização, destacando áreas de *expertise* e ótima performance, assim como áreas que precisam ser fortalecidas.
- **Diagnóstico das tecnologias utilizadas:** mapear as ferramentas tecnológicas em uso ajuda a avaliar sua eficiência e identificar necessidades de atualização ou substituição.
- **Diagnóstico do portfólio:** compreender o desempenho do portfólio de produtos e serviços auxilia na identificação de áreas rentáveis e oportunidades de inovação.
- **Identificação das forças e fraquezas organizacionais:** a auditoria tecnológica oferece uma visão clara dos pontos fortes e das limitações da organização, possibilitando um planejamento mais eficaz e assertivo.

A Auditoria Tecnológica apresenta um universo de possibilidades para as organizações, e se essas possibilidades não surgirem de forma concreta, conforme apontamento de Abbas e Shahzad (2022), através de desenvolvimento de produtos, patentes, desenvolvimento de softwares, oportunidades de pesquisa, oportunidades de ampliação de portfólio, com certeza haverá produção farta de insumos para o planejamento estratégico.

Os benefícios da auditoria tecnológica, ainda desconhecidos pelos gestores, vão além de identificar falhas no processo e possibilidades de melhoria. Esta ferramenta permite realizar o levantamento de informações relacionadas a toda a tecnologia disponível na organização, e assim facilitar a determinação do nível tecnológico, ou seja, a capacidade da empresa em adotar tecnologias novas em relação à sua complexidade. Isso deve ser levado em conta ao determinar qual tecnologia adotar, pois implantar tecnologias de extrema complexidade não garante bons resultados à empresa, se esta não possuir capacidades técnicas e recursos humanos suficientes para operá-la. O sucesso na adoção de novas tecnologias está em obter novas habilidades e na atualização do nível de habilidades da força de trabalho dominada pela empresa, assim como através da gestão de todas as atividades interligadas à nova tecnologia. A seleção desta nova tecnologia deve acontecer através de uma avaliação criteriosa e eficaz, considerando uma boa compreensão dos objetivos e prioridades desenvolvidas no nível de estratégia de negócios empresarial. (ANDRADE, BACK, KOVALESKI, 2014, p. 187)

Reichert e Zawislak (2014) relatam benefícios reais diante da avaliação da capacidade tecnológica da empresa, se as informações levantadas forem trabalhadas, exploradas e executadas, o desempenho e os resultados serão altamente e positivamente impactados, identificados e mensurados pelos seguintes indicadores:

- **Vendas:** retorno sobre vendas, crescimento das vendas, aumento da receita total;
- **Lucro:** rentabilidade, taxa de crescimento de lucratividade, EBITDA (lucro antes de juros, impostos, depreciação e amortização), percentual de crescimento do lucro, EVA (valor econômico adicionado);
- **Mercado:** IPO (oferta pública inicial), MV (valor de mercado), MVA (valor de mercado adicionado), crescimento do preço das ações;
- **P&D:** existência de atividades em I&D, investimento em P&D por ano, número de patentes registradas.

Giordano, Jesus e Ribeiro (2021) ao apresentarem um estudo de caso com aplicação da ferramenta Auditoria Tecnológica, identificaram e mapearam 75 novas perspectivas, oito plataformas tecnológicas de desempenho e cinco linhas de pesquisa.

Os autores Hecklau, Kidschun e Kohl (2022) apresentam o benefício da identificação da maturidade tecnológica da empresa, a possibilidade de melhoria de resultados ao buscar a

mudança de nível de maturidade, e ainda enfatizam a importância e o cuidado com a operação, pois não é prático o elevado número de itens de avaliação, e a Auditoria Tecnológica é orientada para a prática.

Para Abbas e Shahzad (2022, pg. 153) “a Auditoria Tecnológica é uma ferramenta útil em termos de exploração da tecnologia, no entanto, deve ser praticada em conjunto com pesquisa e inovação”, eles ainda reforçam que a ferramenta é um instrumento estratégico para diagnosticar capacidades tecnológicas, identificar lacunas de inovação, orientar investimentos em pesquisa e desenvolvimento e apoiar a tomada de decisão organizacional em contextos de elevada incerteza tecnológica.

A literatura especializada apresenta modelos distintos de auditoria tecnológica, variando desde abordagens focadas em recursos e competências até metodologias orientadas a processos, desempenho inovador e maturidade tecnológica, o que evidencia que não existe um padrão único universalmente aplicável. A seguir explora-se um pouco mais essa diversidade, como diferentes instrumentos, checklists estruturados, questionários diagnósticos, matrizes de maturidade, indicadores quantitativos, entrevistas técnicas e sistemas digitais de avaliação. Assim, a variedade de modelos e ferramentas disponíveis não constitui uma limitação, mas sim uma oportunidade para a construção de abordagens adaptativas, capazes de combinar métodos complementares e produzir diagnósticos mais robustos, precisos e aderentes às necessidades específicas de cada organização ou projeto.

### **2.2.2 MODELOS DE AUDITORIA TECNOLÓGICA**

O mercado oferta ferramentas de Auditoria Tecnológica distintas, algumas mais robustas, outras mais simples, são pesquisas e estudos que atravessam décadas e seguem em aprimoramento. A sequência a seguir, traz modelos e exemplos de Auditoria Tecnológica, praticados em regiões diferentes, sob a ótica de autores de diferentes localidades.

Em 1996, Veloso fez um estudo sobre a aliança do comportamento inovador e a Auditoria Tecnológica, anteriormente vista como avaliação de ativos tecnológicos, ele voltou suas pesquisas para a gestão da tecnologia organizacional. As publicações da época, as metodologias e avaliações de Investigação & Desenvolvimento, foram analisadas a partir da obra de sete autores.

No primeiro momento, Veloso (1996) traz a essência de cada autor (quadro 3), posteriormente, lista as dimensões da Auditoria Tecnológica propostas pelos respectivos autores (quadro 4):

Quadro 03: Principais características por autor

<b>Dussage <i>et al</i></b>	A auditoria como ferramenta analítica que permite a união entre tecnologias e estratégia organizacional
<b>Ford, D.</b>	A auditoria tecnológica como o primeiro passo para a construção da estratégia tecnológica de uma empresa
<b>Gregory <i>et al</i></b>	Avaliação contínuam e cíclica do processo de gestão da tecnologia, integrada a rotina das empresas
<b>PA Consulting</b>	A auditoria propõe um conjunto de mapas, envolve o equilíbrio entre a capacidade tecnológica e o impacto no negócio
<b>EuroManagement</b>	A auditoria tecnológica avalia o potencial do Investigação & Desenvolvimento cooperativo, com foco em projetos comunitários
<b>Balachandra</b>	Com foco na produção, busca-se por lacunas tecnológicas, com referência a quantificação de indicadores
<b>Burgelman <i>et al</i></b>	Avaliação da capacidade de inovação das empresas, considerando unidades de negócios e nível global.

Fonte: Veloso (1996)

Conforme dito anteriormente, a seguir, um compilado das dimensões da Auditoria Tecnológica propostas por cada autor:

Quadro 04: Dimensões de Auditoria Tecnológica e Inovação

<b>Dussage <i>et al</i></b>	<b>PA Consulting</b>	<b>Burgelman <i>et al</i></b>	<b>Euro Management</b>	<b>Ford, D.</b>	<b>Balachandra</b>	<b>Gregory <i>et al</i></b>
Avaliação da envolvente tecnológica	Inventariação da tecnologia	Existência e alocação de recursos	Potencial de I&DT	Inventariação da tecnologia	Hiato tecnológico	Identificação de fatores relevantes para a empresa
Inventariação dos ativos tecnológicos	Decomposição da tecnologia	Compreensão da envolvente tecnológica	Abertura	Posicionamento face à concorrência	Necessidade de tecnologia	Seleção de tecnologias
Classificação das tecnologias	Classificação das tecnologias	Capacidade de gestão da tecnologia	Capacidade de gestão	Posição no ciclo e vida do produto		Aquisição de tecnologias
Posição no ciclo de vida	Avaliação do portfólio de tecnologias	Contexto estrutural e cultural da organização		Avaliação das ameaças e oportunidades das tecnologias exteriores		Exploração de tecnologias
Análise de portfólio	Identificação de ameaças e oportunidades de tecnologia	Compreensão das estratégias dos competidores		Aquisição de tecnologias		Proteção tecnológica
	Definição de uma estratégia tecnológica	Estratégia de inovação da organização		Capacidade de exploração de tecnologias		

Fonte: Veloso, 1996, p. 105

Veloso (1996), abordou um movimento interessante em prol da Auditoria Tecnológica, o encontro de autores em análises parecidas, em tempos diferentes (mapeamento e identificação de oportunidades a partir dos recursos disponíveis) e em análises externas futuras (exploração de oportunidades tecnológicas disponíveis no mercado), antes do término do Século XX, muitos pesquisadores já falavam do movimento tecnológico que estava por vir e sobre as melhores formas de aproveitá-lo.

Em seguida, veremos outros modelos, um modelo anterior ao estudo de Veloso, e os demais, posteriores, separados por pesquisador. Ao final será possível analisar a consolidação da ferramenta no mercado e sua evolução.

Pereira, Vasconcellos e Waack (1990):

A competitividade organizacional depende da capacidade de inovação da empresa, a ferramenta identifica o potencial tecnológico e garante a utilização da tecnologia de forma eficaz, o trabalho da ferramenta está além de usufruir da capacidade tecnológica existente, ele reúne e integra processos, equipamentos e conhecimentos dispersos, alheios à padronização organizacional.

Quadro 05: O modelo de Auditoria Tecnológica apresentado por Pereira, Vasconcellos e Waack (1990)

	<b>ETAPA 1</b>	<b>ETAPA 2</b>	<b>ETAPA 3</b>
<b>TÓPICOS</b>	<b>Definições dos níveis de análise</b>	<b>Avaliação e capacitação tecnológica</b>	<b>Análise dos aspectos tecnológicos</b>
<b>DESCRIÇÃO</b>	<p>Nível de sensibilização para a tecnologia;</p> <p>Nível de sintonia entre a estratégia tecnológica e da empresa: plano de desenvolvimento tecnológico coerente com a estratégia global da empresa;</p> <p>Nível de capacitação tecnológica em relação aos concorrentes: identificação do ativo tecnológico, nível de adequação e estruturação das tecnologias estratégicas;</p> <p>Nível de integração entre P&amp;D e as demais áreas de empresa;</p>	<p>Criação de uma linguagem comum sobre aspectos tecnológicos;</p> <p>Discussão sobre a importância da função tecnológica na empresa;</p> <p>Alternativas para</p>	<p>Ameaças e oportunidades tecnológicas;</p> <p>Fatores de competitividade mercadológica;</p> <p>Rotas tecnológicas versus fatores de competitividade mercadológica;</p> <p>Levantamento do potencial dos</p>

	Nível de antecipação de ameaças e oportunidades tecnológicas; Nível de adequação da estrutura de P&D; Nível de adequação do sistema de informações tecnológicas; Nível de adequação dos recursos para P&D; Nível de adequação dos sistemas de avaliação de P&D; Nível de adequação das técnicas de gestão de tecnologia.	estruturar a função tecnológica; Identificação dos pontos fortes e fracos.	recursos humanos; Domínio sobre as tecnologias estratégicas; Levantamento dos projetos de P&D em andamento.
--	---	---	---

Fonte: Pereira, Vasconcellos e Waack (1990)

Jakubavičius e Vilys (2008):

O método abordado tem como base a identificação e a avaliação de áreas de especialização, tecnologia ou equipamentos. Relatórios, publicações, questionários e entrevistas com a equipe, o olhar volta-se para oportunidades, identifica mecanismos, e rotas prováveis. Eles também defendem a importância de um auditor interno e outro externo, para promover o encontro de informações do observador e do executor. A auditoria tecnológica volta-se para as forças organizacionais e combate as fraquezas do grupo.

Quadro 06: O modelo de Auditoria Tecnológica por Jakubavičius e Vilys (2008)

	ETAPA 1	ETAPA 2	ETAPA 3
TÓPICOS	Fase Inicial	Fase de entrevista	Fase de relatório
DESCRIÇÃO	Alinhamento com a alta gestão; Seleção dos entrevistados; Seleção de auditores; Coleta de informações da empresa; Análise dos questionários.	Apresentação do propósito da auditoria; Revisão das informações iniciais; Aplicação dos questionários; Análise das instalações.	Resumo executivo: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Exploração comercial;</li> <li>▪ Áreas para desenvolvimento estratégico;</li> <li>▪ Ações imediatas (patentes e outros);</li> <li>▪ Principais áreas de sinergia inter e intraempresarial;</li> <li>▪ Todas as questões de grande importância devem estar aqui;</li> <li>▪ Para cada pessoa entrevistada: expertise, tecnologia e equipamento;</li> <li>▪ Contratos e relacionamentos;</li> <li>▪ Contratos de pesquisas;</li> <li>▪ Fontes de financiamento;</li> <li>▪ Pesquisas necessárias;</li> <li>▪ Atividades de ensino e treinamento;</li> <li>▪ Construção de carreira;</li> </ul>

			<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Relatório final: áreas específicas de oportunidades e rotas a serem exploradas (financiamento de pesquisa, de tecnologia e de treinamento), com divisão por grupos (inovação do produto, inovação de processo, indicadores de tecnologia).</li> </ul>
--	--	--	--

Fonte: Jakubavičius e Vilys (2008)

Giordano, Jesus e Ribeiro (2021):

A proposta é utilizar uma ferramenta já consagrada no mercado, a TRM – *Technology Roadmapping*, nascida nos anos 70, e aperfeiçoada nas últimas décadas, uma técnica de planejamento e gestão de negócios utilizada para alinhar objetivos organizacionais e recursos tecnológicos em organizações, ele auxilia na identificação de estratégias, prioriza tecnologias necessárias, apoia a tomada de decisões, desenvolve pessoas e produtos. A ferramenta possui roteiro próprio, e pode ser adaptada em diferentes temáticas:

Quadro 07: O modelo de Auditoria Tecnológica por Giordano, Jesus e Ribeiro (2021)

	ETAPA 1	ETAPA 2	ETAPA 3
TÓPICOS	<b>Planejamento e pesquisa</b>	<b>Realização dos workshops</b>	<b>Auto análise</b>
DESCRIÇÃO	<p>Definição do escopo da pesquisa, da metodologia, da pesquisa inicial, dos principais temas para o workshop de mercado e realização da reunião de <i>kick-off</i>.</p> <p>Os dados de entrada são oriundos de uma pesquisa utilizando a metodologia Pestel (análise macro), avaliando os cenários: Político, Econômico, Social, Tecnológico, Ambiental e Jurídico.</p>	<p>Workshop 1: análise do mercado externo - debate e identificação dos <i>drivers</i> que influenciarão as tecnologias nos próximos anos;</p> <p>Workshop 2: análise do mercado interno – priorizar <i>drivers</i> de mercado e identificar <i>drivers</i> de negócios;</p> <p>Workshop 3: produtos – identificar as plataformas tecnológicas e linhas de pesquisa com vistas as oportunidades de melhoria;</p>	<p>Avaliações psicossociais;</p> <p>Análise da interação;</p> <p>Aplicação de formulário utilizando a escala Likert;</p> <p>Avaliação da escala de mercado, do produto e da tecnologia;</p> <p>Compilação dos resultados.</p>

		Workshop 4: tecnologia – mapear as tecnologias;	
<b>ETAPA DO ROADMAP</b>	1: Definição do objetivo; 2: Identificação do público alvo; 3: Horizonte temporal; 4: Definição de metas e prioridades;	5: Identificação dos marcos principais; 6: Mapeamento de recursos e restrições; 7: Definição do roteiro; 8: Elaboração do roadmap visual;	9: Validação com as partes envolvidas; 10: Monitoramento e atualização; 11: Compartilhamento e transparência; 12: Resultado final.

Fonte: Giordano, Jesus e Ribeiro (2021)

Hecklau, Kidschun e Kohl (2022):

Independente da metodologia adotada, a Auditoria Tecnológica é uma ferramenta que agrega outras ferramentas e que permite essa customização (como foi visto no modelo anterior). Hecklau, Kidschun e Kohl (2022) apontam a Auditoria Tecnológica como uma ferramenta eficaz para avaliar a maturidade tecnológica de uma organização, e ampliam essa avaliação, trazendo pra discussão a essência do RTO – *Recovery Time Objective* (Tempo de Recuperação do Objetivo), métrica de gerenciamento do tempo, que preserva a atuação da empresa, sem que a mesma seja afetada por possíveis danos e assegura a operação em situações de emergência.

Quadro 08: O modelo de Auditoria Tecnológica por Hecklau, Kidschun e Kohl (2022)

	<b>ETAPA 1</b>	<b>ETAPA 2</b>
<b>TÓPICOS</b>	<b>Avaliação da maturidade tecnológica</b>	<b>Diálogo tecnológico</b>
<b>DESCRIÇÃO</b>	Preparação da Auditoria Tecnológica: informações sobre o processo, explicação do modelo, definição de agenda dos workshops.  Auditoria tecnológica (sessão principal): introdução, projetos de pesquisa, desenvolvimentos futuros, resumo.	Apresentação dos resultados: feedback do auditor, identificação de potenciais de desenvolvimento tecnológico, recomendações.  Intensificação da cooperação: desenvolvimento de competências, workshop com parceiros, desenvolvimento de projetos conjuntos.

Fonte: Hecklau, Kidschun e Kohl (2022)

No modelo acima descrito, o ponto alto é a maturidade tecnológica, e o que vai garantir sua efetividade é a avaliação tecnológica, que tem como base três dimensões:

- Dimensão 1 (input): base tecnológica (tecnologias que são utilizadas para executar os projetos de P&D);

- Dimensão 2 (output): produtos e serviços (tecnologias de saída que são desenvolvidas como resultados de projetos de P&D);
- Dimensão 3 (suporte): cooperação (sinergias tecnológicas através de parcerias).

Hecklau, Kidschun e Kohl (2022), aborda a temática maturidade tecnológica e faz referência a uma ferramenta desenvolvida pela Nasa em 1995, aperfeiçoada ao longo do tempo, e recentemente, adotada por instituições de renome, são os Níveis de Maturidade Tecnológica, uma estrutura capaz de identificar, com profundidade, a maturidade tecnológica de projetos, e de estruturar estratégias de maturação voltadas pra tecnologia.

Quadro 09: Níveis de Maturidade Tecnológica (Technology Readiness Levels -TRL's)  
Andrade, Costa e Gil (2014)

TRL	Nome do nível	Descrição com exemplo	Crítérios de saída
TRL 1	Observação e registro dos princípios básicos	Nível mais baixo de maturidade tecnológica neste nível a pesquisa científica começa a ser transferida para a investigação aplicada em desenvolvimento. Ex. estudos das propriedades básicas dos materiais.	Publicação revisada por pares de pesquisas que fundamentam a proposta conceito/aplicação.
TRL 2	Conceito tecnológico e/ou aplicação formulada	Início da atividade inventiva, por exemplo, a seguir à observação de uma determinada característica de um material, podem ser definidas potenciais aplicações. Neste nível a aplicação é ainda especulativa não existe uma prova ou uma análise detalhada que suportem a conjectura. Ex: estudos analíticos.	Descrição documentada da aplicação, conceito que aborda viabilidade e benefício.
TRL 3	Função crítica analítica e experimental e/ou prova do conceito característico	Início da atividade de investigação e desenvolvimento. Estudos analíticos para ajustar a tecnologia a um certo contexto e estudos laboratoriais para validar fisicamente se as previsões baseadas nos resultados analíticos estão corretas. Estes estudos e experiências devem constituir uma validação do tipo prova do conceito das aplicações/conceitos formulados no nível anterior. A caracterização das ideias pode depender de um certo material ou constituinte. Ex: integração de novos componentes que não existiam previamente.	Resultados analíticos, experimentais documentados que validam previsões de parâmetros.

TRL 4	Validação do componente e/ou equipamento em ambiente laboratorial	Devem ser integrados elementos tecnológicos básicos até serem atingidos os níveis de desempenho desejados. Esta validação de baixa fidelidade deve suportar o conceito formulado anteriormente deve também ser consistente com os requisitos das potenciais aplicações do sistema. Ex: ensaio de algoritmos correspondentes ao comportamento de um material.	Desempenho de teste documentado demonstrando concordância com análises previsões. Definição documentada de ambiente relevante.
TRL 5	Validação do componente e/ou equipamento em ambiente relevante	Neste passo a fidelidade do componente testado tem que aumentar significativamente. As aplicações totais devem ser testadas num ambiente simulado ou de algum modo realístico. Várias tecnologias novas podem estar envolvidas na demonstração. Ex: um novo tipo de material com melhores capacidades utilizado numa determinada aplicação em ambiente simulado.	Desempenho de teste documentado demonstrando concordância com análises previsões. Definição documentada de requisitos de escala.
TRL 6	Modelo de sistema/subsistema ou protótipo de demonstração em ambiente relevante (solo ou espaço)	Passo importante no que se refere a fidelidade da demonstração da tecnologia e que um modelo representativo ou um modelo/protótipo do sistema será testado no ambiente Laboratorial de alta fidelidade o ambiente operacional simulado que pode ser real.	Desempenho de teste documentado demonstrando concordância com análises previstas.
TRL 7	Demonstração do protótipo de sistema num ambiente espacial	Passo significativo que requer demonstração do protótipo do sistema no espaço definido para utilização. O protótipo deve estar próximo do caso real ou à escala do sistema operacional planejado e a demonstração tem que ser realizada no ambiente previsto. Pretende-se assegurar a confiança na engenharia e de gestão do sistema. Apenas será realizado para tecnologias ou sistemas que sejam críticos ou de alto risco. Ex: confirmação do funcionamento de um componente em alto vácuo.	Desempenho de teste documentado demonstrando concordância com análises previstas.
TRL 8	Sistema completado e qualificado para voo através de testes e de demonstração (solo e espaço)	Este nível constitui geralmente o final do desenvolvimento tecnológico do sistema. Prova-se que a tecnologia funciona na sua forma final e nas condições esperadas. Pode incluir a integração de uma nova tecnologia no sistema existente. Ex: teste de um novo algoritmo de controle num computador que monitora um sistema.	Desempenho de teste documentado verificando previsões analíticas.

TRL 9	Sistema aprovado em voo em operações de missões sucessivas	Todas as tecnologias a serem aplicadas passam por este passo. Em quase todos os casos é o final dos últimos acertos do verdadeiro desenvolvimento do sistema. Este passo permite melhorar para além da programação inicial.	Resultados operacionais da missão documentados.
----------	--	---	---

Fonte: Andrade, Costa e Gil (2014)

Segundo Andrade, Costa e Gil (2014), a ferramenta TRL passou pelo processo de fortalecimento e consagração ao longo do tempo, organizações como: Serviços Armados dos EUA, *Lockheed Martin*, *Boeing*, *Google*, *John Deere*, adotaram e adaptaram a metodologia, em seguida as barreiras geográficas foram ultrapassadas e a ferramenta foi globalizada.

Todos os modelos acima apresentados oferecem contribuições relevantes e permitem mensurar o estágio do desenvolvimento tecnológico, porém, um deles se destaca como critério de elegibilidade para subvenção econômica. Nesse sentido, os níveis de Maturidade Tecnológica (*Technology Readiness Levels – TRL's*) apresentam-se como uma metodologia amplamente reconhecida para classificar tecnologias da pesquisa básica à validação operacional em ambiente real, proporcionando uma linguagem comum entre pesquisadores, empresas e agentes financiadores (MANKINS, 1995). Posteriormente, essa abordagem foi incorporada a normas internacionais, como a ISO 16290, consolidando-se como referência para avaliação de maturidade tecnológica em diferentes setores (ISO, 2013).

Diante desse cenário, a escolha da TRL como ferramenta central desta pesquisa fundamenta-se em sua robustez conceitual, ampla aceitação internacional e aplicabilidade prática na gestão da inovação e no acesso a mecanismos de fomento. Assim, ao integrar a lógica da Auditoria Tecnológica com a avaliação estruturada da maturidade tecnológica, a TRL configura-se como instrumento para operacionalizar diagnósticos sistemáticos e apoiar a tomada de decisão estratégica.

### **2.3 NÍVEIS DE MATURIDADE TECNOLÓGICA: UMA FERRAMENTA DA NASA, COMO BASE DA AUDITORIA TECNOLÓGICA**

O conceito dos Níveis de Maturidade Tecnológica – TRL's surgiu na década de 70, criado por Stan Sadin, engenheiro da NASA (*National Aeronautics and Space Administration*), como resposta à necessidade de mensurar riscos tecnológicos em programas espaciais altamente

complexos e de longa duração. Segundo Gove, Marquez, Sauser e Verma (2006) a ferramenta foi inicialmente estruturada em sete níveis, posteriormente expandida em nove níveis, atualmente utilizados. Essa ampliação possibilitou um maior detalhamento na análise da maturidade tecnológica, assegurando consistência na avaliação de diferentes projetos.

O modelo rapidamente ultrapassou os limites da agência espacial norte-americana. Em 1999 o Departamento de Defesa dos Estados Unidos (DoD) incorporou os TRL's como requisito em programas de aquisição tecnológica, estabelecendo que apenas tecnologias Nível 7 poderiam ser integradas em sistemas de armas, conforme abordagem de Gove, Marquez, Sauser e Verma (2006). Da mesma forma a Agência Espacial Europeia (ESA) e a União Europeia adotaram a escala em suas políticas públicas de inovação, segundo Héder (2017).

Os TRL's são definidos pela NASA (2020) como uma escala de maturidade tecnológica composta por nove níveis, que variam desde os princípios básicos observados (TRL 1) até o sistema comprovado em operação real (TRL 9).

A progressão dos TRL's é cumulativa: cada nível demanda evidências empíricas e experimentais que comprovem o avanço da tecnologia. A NASA (2020) destaca que os “TRL's permitem a avaliação padronizada da maturidade de tecnologia específica e a comparação consistente da maturidade entre diferentes tipos de tecnologia”,

Assim a escala oferece um vocabulário comum para cientistas, engenheiros, gestores de projetos e formuladores de políticas, reduzindo ambiguidades e fortalecendo a comunicação técnica nos processos decisórios.

Gove, Marquez, Sauser e Verma (2006) dizem que os TRL's possuem múltiplas aplicações. No setor espacial constitui critério para determinar se uma tecnologia pode ser integrada em uma missão, sendo exigido pela NASA que tecnologias alcancem ao menos o TRL 6 antes da implementação de voos.

Héder (2017) diz que no âmbito das políticas públicas os TRL's são utilizados pela Comissão Europeia desde 2014, como parâmetro de editais de financiamento a inovação, o que consolidou sua adoção como ferramenta de política de inovação na União Europeia. Héder (2017) ainda reforça que utilizar uma ferramenta consolidada pode evitar confusões e esforços suspeitos em prol de financiamentos e subsídios.

No Brasil a escala TRL, conforme relatam os autores Carvalho *et al* (2020), vem sendo incorporada em diferentes iniciativas institucionais. Estudos recentes indicam que há instrumentos de apoio à inovação classificados em todos os nove níveis (detalhados a seguir), confirmando a aplicabilidade do TRL no contexto. Além disso, universidades e Instituições de

Ciência e Tecnologia (ICT's) utilizam versões adaptadas, que apoia Núcleos de Inovação Tecnológica (NIT's) na avaliação de maturidade de produtos e processos (BERGAMINI, 2020).

### **2.3.1 DEFINIÇÕES DOS NÍVEIS DE MATURIDADE TECNOLÓGICA**

A metodologia de avaliação de maturidade tecnológica segue diretrizes rigorosas e estabelece etapas claras, trazidas pelo Guia de Boas Práticas e o *Workbook* de Instruções da Agência Espacial Americana – NASA, publicações de 2020, antes de aprofundar na ferramenta TRL, vale o olhar macro para a metodologia:

1. Identificação da tecnologia e delimitação do escopo;
2. Levantamento dos requisitos técnicos e riscos associados;
3. Aplicação de questionários estruturados sobre desempenho experimental, prototipagem e testes em ambientes relevantes;
4. Classificação em um dos nove níveis da escala TRL;
5. Elaboração de Relatório de Avaliação de Maturidade Tecnológica, consolidando evidências e recomendações.

Esse processo busca garantir objetividade permitindo que diferentes avaliadores cheguem a conclusões consistentes sobre o grau de maturidade de uma tecnologia, “a padronização das avaliações de maturidade tecnológica permite consistência entre diferentes projetos e garante que os resultados sejam comparáveis e defensáveis em distintos contextos de análise” (NASA, 2020, p. 17).

Após uma visão panorâmica, abaixo será apresentada cada etapa dos Níveis de Maturidade Tecnológica com base nas informações coletadas das publicações da NASA (2020), Héder (2017), Bergamini (2020) e ABNT (2015), com a exemplificação em cada nível de monitoramento:

#### **TRL 1: Princípios básicos observados e relatados (ideação)**

A tecnologia encontra-se em seu estágio mais embrionário, caracterizado pela identificação e observação de princípios científicos fundamentais. Nessa fase, não há ainda uma tecnologia propriamente dita, mas sim conhecimento científico que indica a possibilidade teórica de uma aplicação futura.

O foco do TRL 1 está na produção e consolidação do conhecimento científico, por meio de estudos exploratórios, revisão de literatura e observações iniciais. Trata-se de compreender fenômenos, relações causais, variáveis críticas e mecanismos subjacentes que possam sustentar o desenvolvimento de uma solução tecnológica.

Essa etapa está fortemente associada à pesquisa básica, na qual o objetivo central não é a aplicação imediata, não é construir e sim, entender e compreender. As evidências típicas incluem artigos científicos, relatórios de pesquisa, modelos teóricos e dados experimentais preliminares.

Exemplos:

- Agronegócio: a constatação científica de que a variação de umidade do solo impacta diretamente o crescimento de uma cultura, ou que determinados padrões espectrais em imagens se correlacionam com estresse hídrico.
- Educação: pode ser a evidência de pesquisas pedagógicas de que aprendizagem ativa, melhora retenção ou que *feedback* imediato reduz erros persistentes. O resultado esperado é uma fundamentação sólida, com literatura, dados preliminares e um entendimento claro das variáveis relevantes.

## **TRL 2: Conceito tecnológico formulado (concepção)**

Representa a transição do conhecimento científico para a formulação de um conceito tecnológico. Nesta etapa, os princípios observados no TRL 1 passam a ser organizados em uma proposta conceitual de aplicação, ainda sem validação experimental robusta.

A tecnologia é descrita em termos de sua finalidade, funcionalidade esperada, contexto de uso e potencial de geração de valor. Também são delineados os primeiros requisitos técnicos e operacionais, ainda em nível preliminar, o que corresponde à pesquisa aplicada inicial, na qual se estabelece a ponte entre teoria e prática.

Os principais produtos dessa fase são documentos conceituais, diagramas de arquitetura, descrições funcionais e análises iniciais de viabilidade. Embora não haja comprovação empírica de funcionamento, a coerência lógica e a fundamentação científica são essenciais para a progressão ao nível seguinte.

Exemplos:

- Agronegócio: o conceito pode ser um sensor IoT que mede umidade do solo e envia dados para um painel que recomenda irrigação, já considerando restrições como conectividade rural, autonomia de bateria e resistência a chuva e poeira.

- Educação, o conceito pode ser: “uma plataforma adaptativa que ajusta atividades conforme desempenho do aluno”, considerando acessibilidade, usabilidade para o professor, privacidade de dados e integração com a rotina escolar. O valor desta etapa é transformar uma ideia em um desenho lógico: o que compõe a solução, quais resultados ela promete e sob quais condições ela precisa operar.

### **TRL 3: Prova de conceito analítica e experimental (conceito)**

Primeiro estágio de verificação experimental da tecnologia, por meio da realização de uma prova de conceito (*Proof of Concept – PoC*). O objetivo central é demonstrar que os princípios teóricos e o conceito formulado são tecnicamente viáveis, ainda que em escala reduzida e sob condições controladas.

Nesta fase, desenvolvem-se experimentos, protótipos simplificados ou modelos funcionais que evidenciem o funcionamento da solução. A ênfase está na demonstração do mecanismo essencial, e não na robustez, confiabilidade ou escalabilidade.

É um estágio de validação exploratória, no qual são coletados dados empíricos iniciais, analisadas variáveis críticas e identificadas limitações técnicas. Os resultados são documentados em relatórios técnicos, registros experimentais e análises comparativas preliminares.

Exemplos:

- Agronegócio: montar um sensor simples e comprovar que ele detecta variações de umidade com coerência, mesmo em pequena escala (vasos, amostras de solo em recipientes).
- Educação: pode ser aplicar um protótipo de atividade digital com um pequeno grupo e demonstrar que há melhora em um indicador (engajamento, acerto em exercícios, participação).

### **TRL 4: Validação de componentes em ambiente de laboratório (otimização)**

Nessa fase a tecnologia avança para a validação sistemática de seus componentes ou subsistemas em ambiente laboratorial controlado. Diferentemente do TRL 3, em que o foco é a viabilidade conceitual, o TRL 4 enfatiza a reprodutibilidade, estabilidade e desempenho técnico.

Os testes passam a seguir protocolos mais estruturados, com critérios de aceitação definidos, repetição de ensaios e controle rigoroso das condições experimentais. Esta etapa

corresponde a uma validação técnica intermediária, na qual se busca reduzir significativamente os riscos associados aos componentes críticos da tecnologia.

As evidências incluem relatórios de ensaio, dados estatísticos, análises de erro, documentação técnica e versões controladas do protótipo. O ambiente permanece artificialmente controlado, mas o rigor metodológico é substancialmente ampliado.

Exemplos:

- Agronegócio: é quando o sensor passa por bancada de calibração, testes com diferentes solos, variações de temperatura, umidade e interferências, medindo precisão, erro e estabilidade.
- Educação: é quando a solução (metodologia, plataforma, conteúdo) é testada com mais rigor, estabilidade do sistema, acessibilidade, tempo de uso, clareza de instruções, e consistência de resultados em condições controladas (laboratório de informática, turma experimental com acompanhamento próximo).

### **TRL 5: Validação em ambiente relevante (prototipagem)**

Caracteriza-se pela validação da tecnologia em um ambiente relevante, ou seja, um contexto que reproduz, de forma aproximada, as condições reais de operação. Embora ainda exista certo controle experimental, fatores externos e variáveis do mundo real passam a influenciar o desempenho da tecnologia.

Essa etapa é fundamental para verificar se os resultados obtidos em laboratório se mantêm quando a tecnologia é exposta a condições mais complexas e menos previsíveis. Do ponto de vista metodológico, o TRL 5 exige comparações com práticas existentes, análises de desempenho relativo e identificação de ajustes necessários.

É um estágio de validação aplicada avançada, no qual se consolida a transição entre pesquisa e desenvolvimento tecnológico propriamente dito.

Exemplos:

- Agronegócio: pode ser o teste em estufa, área experimental ou talhão controlado, onde entram fatores como clima, manejo, e oscilações de conectividade — mas ainda com monitoramento de perto.
- Educação: pode ser aplicar em uma turma real por algumas semanas, dentro da rotina escolar, com professor conduzindo e equipe acompanhando. A diferença essencial é que agora você precisa demonstrar não só que funciona, mas que funciona em condições parecidas com as que importam, comparando com um

baseline (o método tradicional) e registrando resultados e falhas, ao final, deve-se ter evidências de desempenho em ambiente realista e um entendimento muito mais claro do que precisa ser ajustado.

### **TRL 6: Demonstração de protótipo em ambiente relevante (escalonamento)**

Aqui a tecnologia assume a forma de um protótipo integrado, capaz de operar de maneira funcional e contínua em ambiente relevante. Aqui, os diferentes componentes são combinados em um sistema coerente, permitindo a avaliação do desempenho global da solução.

O foco desloca-se da validação isolada de componentes para a avaliação sistêmica, incluindo integração, usabilidade, confiabilidade e manutenção. A tecnologia já apresenta características próximas à aplicação final, embora ainda não esteja pronta para operação plena ou comercialização.

Representa um estágio de maturidade tecnológica intermediária-avançada, frequentemente associado a um projeto piloto estruturado, laboratórios e parcerias com usuários finais em contextos controlados.

A solução não depende de “mágica”: ela é utilizável, operável e replicável dentro daquele ambiente. As evidências aqui incluem logs de operação, estabilidade, relatos estruturados e documentação mínima (instalação, uso, manutenção, suporte). É comum também surgirem testes de robustez: quanto tempo funciona sem intervenção? Como se comporta diante de falhas? Que tipo de suporte é necessário?

Exemplos:

- Agronegócio: pode ser sensor + comunicação + plataforma + recomendação + rotina de operação, funcionando de forma contínua e registrando dados.
- Educação: pode ser a plataforma/metodologia aplicada em uma disciplina inteira, com avaliações, materiais, acompanhamento e suporte, mostrando consistência ao longo do tempo.

### **TRL 7: Demonstração do sistema em ambiente operacional (demonstração)**

Corresponde à demonstração da tecnologia em ambiente operacional real, sob condições efetivas de uso. Diferentemente do ambiente relevante, aqui a tecnologia é submetida às mesmas pressões, restrições e variabilidades que enfrentará em sua aplicação definitiva.

Nesta fase, usuários reais operam a tecnologia em seu cotidiano, e os resultados passam a ter implicações práticas diretas. A avaliação concentra-se na usabilidade, confiabilidade, aceitação pelos usuários e impacto prático.

É crucial para validar a tecnologia como solução aplicável, fornecer subsídios empíricos robustos para decisões de escalonamento, transferência tecnológica ou institucionalização.

As evidências envolvem resultados reais (economia de recursos, produtividade, aprendizagem), registros de uso, incidentes e correções, e *feedback* robusto dos usuários. É aqui que muitos projetos não conseguem seguir, e isso é bom, porque revela o que precisa ser corrigido antes de escalar.

Exemplos:

- Agronegócio: um piloto em propriedade produtiva, com o produtor operando e a tecnologia enfrentando condições reais (chuva, poeira, falhas de energia, conectividade instável).
- Educação: uso por turmas regulares, dentro do ritmo normal, com professores e alunos usando sem monitoramento constante. O foco é comprovar usabilidade e valor: a tecnologia não só funciona, mas faz diferença.

### **TRL 8: Sistema completo e qualificado**

Aqui a tecnologia atinge um estágio de qualificação plena, no qual o sistema está completo, documentado e preparado para replicação. A ênfase recai sobre a padronização, qualidade, segurança e conformidade normativa.

Nesta etapa, são consolidados manuais técnicos, guias de uso, processos de suporte, capacitação de usuários e mecanismos de governança. A tecnologia já pode ser considerada pronta para adoção em larga escala, seja no mercado, seja em contextos institucionais.

Corresponde à consolidação da inovação, com forte articulação entre desenvolvimento tecnológico, gestão e políticas institucionais.

Exemplos:

- Agronegócio: um sistema pronto para comercialização e implantação em múltiplas fazendas, com guias claros, manutenção planejada e desempenho final comprovado.
- Educação: um modelo educacional ou plataforma pronta para adoção institucional, com formação de professores, materiais didáticos organizados, instrumentos de avaliação e governança de dados. O TRL 8 é o “produto pronto”:

você não está mais provando que funciona — você está provando que consegue entregar sempre, com qualidade.

### **TRL 9: Sistema comprovado em operação real (produção contínua)**

Representa o nível máximo de maturidade tecnológica, no qual a tecnologia encontra-se em operação contínua, sustentada e comprovada, em escala real. Os resultados não são pontuais, mas consistentes ao longo do tempo e em diferentes contextos de aplicação.

Nesta fase, a tecnologia demonstra impacto mensurável, confiabilidade operacional e capacidade de evolução contínua. As evidências incluem históricos de uso, indicadores de desempenho, estudos de impacto e relatos consolidados de usuários.

Em termos acadêmicos e estratégicos, o TRL 9 confirma a transição bem sucedida do conhecimento científico para a inovação efetivamente incorporada à prática social, produtiva ou educacional. O TRL 9 não vende uma vez, ele funciona continuamente com impacto e confiabilidade.

Exemplos:

- A agronegócio: a solução é usada em diversas propriedades por mais de uma safra, com benefícios comprovados e consistentes (economia de água e/ou energia, aumento de produtividade, redução de perdas), além de suporte funcionando e evolução do produto.
- Educação: a solução é aplicada por anos, em diversas turmas ou unidades, com indicadores educacionais positivos sustentados (melhoria de aprendizagem, redução de evasão, aumento de engajamento), e o processo institucional já absorveu a inovação como rotina.

## **2.4 RESUMO ANALÍTICO DOS TRL'S E ASSOCIAÇÃO ÀS INSTITUIÇÕES PROMOTORAS DE INOVAÇÃO**

A força dos TRL's, detalhados na seção anterior, está em sua capacidade de reduzir incertezas em investimentos de alto risco e em sua função como ferramenta da governança tecnológica. Para a NASA (2020), a integração de tecnologias abaixo da TRL 6 representa riscos e não é recomendada.

O Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações do Brasil, no dia 17 de outubro de 2022, publica a Portaria nº 6.449, que dispõe sobre o uso do Sistema de Medição e Identificação

de Nível de Maturidade Tecnológica dos projetos desenvolvidos no âmbito do Ministério e suas entidades vinculadas.

Do ponto de vista econômico (BERGAMINI, 2020), os níveis apoiam a eficiência na alocação de recursos públicos e privados, uma vez que possibilita direcionar, investimentos para tecnologias com maior potencial de sucesso. No campo acadêmico e industrial promove a modernização das práticas de inovação, padronizando critérios de avaliação e servindo como linguagem comum entre cientistas, engenheiros, gestores e investidores.

“A aplicação das escalas de Nível de Maturidade Tecnológica (TRL) nas organizações tem crescido significativamente, proporcionando uma padronização global na classificação de tecnologias. Esse método é amplamente utilizado em diversos setores, desde tecnologias espaciais, como as da NASA, até no ecossistema de inovação, englobando o desenvolvimento de projetos e a transferência de tecnologias. No Brasil, várias organizações que impulsionam a Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PD&I), como o BiotechTown, FINEP, BNDES, EMPRAPII e EMBRAPA, adotam o TRL para guiar suas estratégias de inovação.” (BASQUEROTTO, CARDOSO, LOVATI, SANTOS: 2025, p. 84)

A compreensão sistemática de cada nível de maturidade tecnológica constitui um elemento estratégico para a busca de recursos em chamadas públicas, ampliando as possibilidades de captação e de participação em programas de fomento à inovação. A adequada identificação do estágio de desenvolvimento tecnológico favorece o alinhamento entre as propostas submetidas e os critérios técnicos estabelecidos pelos agentes financiadores, reduzindo incertezas e riscos associados ao investimento em inovação (OCDE, 2018).

A utilização dos TRL's contribui para o estabelecimento de uma linguagem comum entre organizações proponentes, avaliadores e instituições fomentadoras, promovendo maior transparência, padronização e consistência nos processos de análise e seleção de projetos (FINEP, 2023). A esse respeito, a NASA (2016, p. 3) ressalta que “os TRL's têm sido utilizados como uma ferramenta de planejamento e de apoio à tomada de decisão para o desenvolvimento, investimento e implantação de tecnologias”.

Com o objetivo de aprofundar a análise de cada nível de maturidade tecnológica, bem como as oportunidades a eles associadas no contexto dos programas de fomento à ciência, tecnologia e inovação, foi elaborada um quadro analítico, unificando o estudo de diferentes autores, são eles: NASA (2016), Pereira e Veras (2022), Diniz (2021), Carvalho *et al* (2020), Mankins (2004) resultando numa sistematização colaborativa de definições dos Níveis de Maturidade Tecnológica.

Quadro 10: Escala de Níveis de Maturidade Tecnológica sob a perspectiva de diferentes autores

ESCALA TRL								
TRL 1	TRL 2	TRL 3	TRL 4	TRL 5	TRL 6	TRL 7	TRL 8	TRL 9
PRINCÍPIOS BÁSICOS OBSERVADOS	FORMULAÇÃO DO CONCEITO TECNOLÓGICO	PROVA DE CONCEITO EXPERIMENTAL	VALIDAÇÃO DE COMPONENTES EM LABORATÓRIO	VALIDAÇÃO PILOTO EM AMBIENTE RELEVANTE	DEMONSTRAÇÃO DO MODELO DE PROTÓTIPO EM AMBIENTE RELEVANTE	DEMONSTRAÇÃO DE PROTÓTIPO EM AMBIENTE OPERACIONAL	SISTEMA QUALIFICADO E FINALIZADO (PRÉ COMERCIAL)	SISTEMA REAL COMPROVADO EM AMBIENTE OPERACIONAL (APLICAÇÃO)
IDEAÇÃO	CONCEITUAÇÃO E APLICAÇÃO	PROVAÇÃO	VALIDAÇÃO	VALIDAÇÃO	DEMONSTRAÇÃO	DEMONSTRAÇÃO	QUALIFICAÇÃO CERTIFICAÇÃO	OPERAÇÃO
AMBIENTE COGNITIVO	AMBIENTE COGNITIVO	AMBIENTE LABORATORIAL	AMBIENTE LABORATORIAL	AMBIENTE SIMULADO	AMBIENTE SIMULADO	AMBIENTE OPERACIONAL	AMBIENTE OPERACIONAL	AMBIENTE OPERACIONAL
PESQUISADOR/ACADEMIA	PESQUISADOR/ACADEMIA	ACADEMIA	ACADEMIA	ACADEMIA INTITUTO DE PESQUISA	ACADEMIA INTITUTO DE PESQUISA	INDÚSTRIA MERCADO	INDÚSTRIA MERCADO	INDÚSTRIA MERCADO
IDEAÇÃO, PROPOSIÇÃO APLICABILIDADE		EXPERIMENTAÇÃO DESIGN	CONSTRUÇÃO EM LABORATÓRIO	TESTES EM AMBIENTE RELEVANTE	DEMONSTRAÇÃO EM AMBIENTE DE TESTES	EVOLUÇÃO EM AMBIENTE OPERACIONAL EXTERNO		
PESQUISA BÁSICA	PESQUISA APLICADA	DESENVOLVIMENTO EXPERIMENTAL				INDUSTRIALIZAÇÃO		PRODUÇÃO E COMERCIALIZAÇÃO
MODELOS TEÓRICOS		ENSAIOS LABORATORIAIS			PILOTO		VERSÃO FINAL	
AMBIENTE DE PESQUISA		AMBIENTE DE SIMULAÇÃO			APLICAÇÃO REAL			
IDEIA DISPÊNDIOS MÍNIMOS X POUCOS OBSTÁCULOS			DESENVOLVIMENTO DISPÊNDIOS SIGNIFICATIVOS X MUITO OBSTÁCULOS			ACEITAÇÃO CUSTO X BENEFÍCIO (MERCADO)		
PROVA DE CONCEITO			PROTÓTIPO			MERCADO		
INSTITUIÇÕES DE FOMENTO À INOVAÇÃO MAIS ADERENTES A CADA FASE (AS CHAMADAS PÚBLICAS INFORMAM QUAL TRL SERÁ PRÉ REQUISITO)								
CNPq, CAPES, UNIVERSIDADES, FINEP, LEI DO BEM	CNPq, CAPES, FUNDAÇÕES ESTADUAIS, BNDES, FINEP, LEI DO BEM	CNPq, CAPES, FUNDAÇÕES ESTADUAIS, EMBRAPII, SEBRAE, ABDI, BNDES, FINEP, LEI DO BEM	FINEP, FUNDAÇÕES ESTADUAIS, INSTITUTOS DE PESQUISA, EMBRAPII, SEBRAE, ABDI, BNDES, LEI DO BEM	FINEP, EMBRAPII, INSTITUTOS SENAI DE INOVAÇÃO, SEBRAE, ABDI, BNDES, LEI DO BEM	EMBRAPII, SENAI, PARCERIAS UNIVERSIDADES EMPRESAS, SEBRAE, ABDI, BNDES, FINEP, LEI DO BEM	BNDES, FINEP, EMPRESAS ÂNCORAS, SEBRAE, BNDES, LEI DO BEM	BNDES, BANCOS DE DESENVOLVIMENTO INVESTIDORES PRIVADOS, SEBRAE, FINEP	SEBRAE, BNDES, FINEP, VENTURE CAPITAL, PRIVATE EQUITY

Fonte: informações reunidas pela autora, com base nas publicações de NASA (2016), Pereira e Veras (2022), Diniz (2021), Carvalho *et al* (2020), Mankins (2004)

O quadro apresentado consolida a Escala de Níveis de Maturidade Tecnológica ao incorporar contribuições de diferentes autores e instituições, ampliando sua capacidade explicativa e interpretativa. Trata-se, portanto, de um instrumento analítico que vai além da descrição linear dos níveis de maturidade tecnológica, articulando dimensões cognitivas, organizacionais, ambientais, institucionais e econômicas, o que a torna particularmente adequada para análises acadêmicas, auditorias tecnológicas e processos decisórios em políticas e projetos de inovação.

Do ponto de vista estrutural, o quadro organiza os TRL's de forma progressiva e sistêmica, evidenciando que a maturidade tecnológica não se limita ao avanço técnico do produto, mas envolve transformações graduais no ambiente de desenvolvimento, no perfil dos atores envolvidos, nos riscos assumidos e nas exigências de validação e comprovação. Essa abordagem reforça a compreensão dos TRL's como uma evolução contínua, e não como estágios isolados.

Nos TRL's iniciais (TRL 1 a TRL 2), observa-se a predominância da pesquisa básica e aplicada, ancorada em um ambiente essencialmente cognitivo. Nesses níveis, a tecnologia ainda se encontra no plano da ideação e da conceituação, sendo caracterizada pela observação de princípios básicos, formulação do conceito tecnológico e análise de aplicabilidade. O

protagonismo é exercido majoritariamente por pesquisadores e pela academia, com baixos dispêndios financeiros e poucos obstáculos estruturais. O quadro evidencia, de forma clara, que esses níveis são marcados pela construção de modelos teóricos e pela geração de conhecimento científico, o que justifica a maior aderência de instituições de fomento voltadas à ciência básica e à formação de recursos humanos.

À medida que se avança para os TRL's intermediários (TRL 3 a TRL 4), o quadro destaca a transição da conceituação para a prova de conceito experimental e para a validação de componentes em ambiente laboratorial. Nesse estágio, ocorre um deslocamento relevante do ambiente cognitivo para o ambiente laboratorial, no qual a experimentação, o design experimental e os ensaios controlados assumem papel central. A tecnologia passa a ser testada de forma empírica, reduzindo incertezas técnicas e estabelecendo evidências de viabilidade. Essa fase é caracterizada por um aumento progressivo dos custos, pela complexidade metodológica e pela necessidade de infraestrutura de pesquisa, reforçando a importância de institutos de pesquisa e mecanismos de fomento à pesquisa aplicada.

Nos TRL's de transição para a aplicação (TRL 5 e TRL 6), o quadro evidencia um marco crítico na trajetória tecnológica: a validação e a demonstração do protótipo em ambiente relevante ou simulado, aproximando-se das condições reais de uso. Nesse ponto, a tecnologia deixa de ser apenas um objeto de pesquisa e passa a ser tratada como um sistema funcional. Observa-se uma intensificação dos dispêndios financeiros, o aumento significativo dos riscos e obstáculos técnicos e organizacionais, bem como a ampliação do ecossistema de atores envolvidos, incluindo institutos de inovação, parcerias universidade–empresa e organizações de apoio à inovação. A presença explícita de testes em ambiente relevante e de demonstrações estruturadas reforça a ideia de que esses níveis são decisivos para a redução do chamado “vale da morte” da inovação.

Nos TRL's avançados (TRL 7 a TRL 9), o quadro demonstra uma mudança substantiva no foco do desenvolvimento tecnológico, que passa a ocorrer predominantemente em ambiente operacional e de mercado. A tecnologia é demonstrada em condições reais, qualificada, certificada e, por fim, comprovada em operação. O protagonismo desloca-se da academia para a indústria e o mercado, e a lógica de avaliação passa a incorporar critérios como confiabilidade, escalabilidade, custo-benefício e aceitação comercial. Nessa fase, a tecnologia alcança sua versão final, sendo inserida em processos de industrialização, produção e comercialização. O quadro explicita, de forma didática, que o sucesso tecnológico nos TRL's finais está

diretamente associado à capacidade de articulação com investidores, bancos de desenvolvimento, empresas âncora e mecanismos de financiamento orientados ao mercado.

Um dos principais méritos do quadro reside na integração das TRL's e ecossistema de fomento à inovação, ao indicar, para cada fase, as instituições mais aderentes ao nível de maturidade exigido. Essa abordagem confere maior operacionalidade à escala TRL, transformando-a em uma ferramenta estratégica para o planejamento de projetos, submissão a chamadas públicas e realização de auditorias tecnológicas. Ao explicitar que editais e mecanismos de apoio costumam exigir níveis mínimos de maturidade tecnológica como pré-requisito, o quadro contribui para reduzir desalinhamentos entre estágio tecnológico e fonte de financiamento.

Em síntese, a análise do quadro permite concluir que sua proposta vai além de uma simples representação dos níveis de maturidade tecnológica. Ela configura um modelo analítico ampliado, que articula conhecimento científico, desenvolvimento experimental, validação tecnológica, ambiente institucional e lógica de mercado. Tal abordagem fortalece a compreensão dos TRL's como um instrumento transversal, capaz de apoiar tanto análises acadêmicas quanto decisões estratégicas em políticas públicas, gestão da inovação e estruturação de instituições promotoras de ciência, tecnologia e inovação.

### **3. METODOLOGIA**

A presente pesquisa tem como finalidade propor e desenvolver uma Plataforma Virtual de Maturidade Tecnológica, estruturada a partir de um instrumento sistemático de auditoria tecnológica baseado nos Níveis de Maturidade Tecnológica (*Technology Readiness Levels – TRL's*), capaz de identificar o estágio de desenvolvimento tecnológico de projetos, organizações ou soluções. O delineamento metodológico foi concebido de modo a assegurar rigor científico, coerência com os objetivos do estudo e aderência às características de um mestrado profissional, no qual se prevê a geração de um Produto Técnico Tecnológico aplicável.

#### **3.1 MÉTODOS E TÉCNICAS**

Quanto à abordagem do problema, a pesquisa é classificada como qualitativa, pois se fundamenta na interpretação e sistematização de conceitos, modelos teóricos e instrumentos de avaliação tecnológica, não se apoiando predominantemente em métodos estatísticos. Segundo

Creswell (2014), a pesquisa qualitativa busca compreender significados atribuídos a fenômenos sociais a partir da análise de contextos e interpretações, sendo apropriada quando o objetivo é explorar processos e construir modelos conceituais.

No que se refere à natureza, a investigação caracteriza-se como aplicada, uma vez que visa gerar conhecimentos direcionados à solução de um problema concreto relacionado à identificação da maturidade tecnológica e à adequação de projetos a mecanismos de fomento à inovação. De acordo com Gil (2019), a pesquisa aplicada “tem como objetivo gerar conhecimentos para aplicação prática dirigidos à solução de problemas específicos”.

Quanto aos objetivos, a pesquisa é classificada como exploratória e descritiva. É exploratória porque busca ampliar a compreensão sobre auditoria tecnológica, avaliação de maturidade tecnológica e TRL, temas que ainda apresentam lacunas na literatura quanto à sua operacionalização em instrumentos acessíveis às organizações. Conforme Gil (2019), pesquisas exploratórias têm como finalidade proporcionar maior familiaridade com o problema, tornando-o mais explícito ou possibilitando a construção de hipóteses. Simultaneamente, apresenta caráter descritivo por estruturar e sistematizar um modelo capaz de diagnosticar o estágio de desenvolvimento tecnológico. Segundo Prodanov e Freitas (2013), a pesquisa descritiva observa, registra, analisa e correlaciona fatos ou fenômenos sem manipulá-los, buscando identificar suas características.

Quanto aos procedimentos técnicos, trata-se de uma pesquisa bibliográfica e documental. A pesquisa bibliográfica baseia-se em material já publicado, constituído principalmente de livros, artigos científicos e trabalhos acadêmicos, enquanto a pesquisa documental utiliza fontes que ainda não receberam tratamento analítico sistemático, como relatórios técnicos, normas e documentos institucionais (LAKATOS, MARCONI: 2017).

Adicionalmente, considerando a natureza do mestrado profissional, a investigação incorpora elementos de pesquisa de desenvolvimento tecnológico, devido a concepção de um instrumento digital aplicável: A Plataforma Virtual de Maturidade Tecnológica, cuja descrição detalhada será apresentada, a seguir, em capítulo específico, referente ao Produto Técnico Tecnológico.

Quadro 11: Resumo da Metodologia

TIPOS DE PESQUISA	CLASSIFICAÇÃO	CARACTERIZAÇÃO
QUANTO A ABORDAGEM (qualitativa ou quantitativa)	Qualitativa	Adota abordagem qualitativa por privilegiar a compreensão, interpretação e sistematização de conceitos, modelos e critérios relacionados à auditoria tecnológica e à avaliação da maturidade tecnológica por meio dos TRL's. O estudo não busca mensuração estatística de fenômenos, mas sim a proposta de um instrumento diagnóstico fundamentado teoricamente, capaz de traduzir requisitos técnicos e normativos em perguntas estruturadas e evidências verificáveis. A abordagem qualitativa é adequada ao objetivo de desenvolver um modelo conceitual e operacional aplicável, permitindo analisar conteúdos provenientes da literatura científica, normas técnicas e documentos institucionais e convertê-los em um sistema de avaliação estruturado, coerente e funcional.
QUANTO A NATUREZA (básica ou aplicada)	Aplicada	Possui natureza aplicada, pois busca gerar conhecimento orientado à solução de um problema concreto identificado no ecossistema de inovação: a dificuldade de projetos, empresas e empreendedores em identificar corretamente o nível de maturidade tecnológica de suas soluções para fins de tomada de decisão e submissão a mecanismos de fomento. O estudo resulta no desenvolvimento de um Produto Técnico Tecnológico, a Plataforma Virtual de Maturidade Tecnológica, concebido para aplicação prática em contextos organizacionais, acadêmicos e institucionais. Assim, o conhecimento produzido visa à transformação da realidade, reduzindo barreiras de acesso à inovação e qualificando os processos de avaliação tecnológica.
QUANTO AOS OBJETIVO (exploratória, descritiva ou explicativa)	Exploratória	Apresenta caráter exploratório por investigar um campo ainda pouco estruturado em termos de instrumentos operacionais acessíveis: a auditoria tecnológica aplicada à identificação do TRL em organizações não especializadas. A pesquisa explora conceitos, modelos existentes e práticas institucionais de avaliação tecnológica, identificando lacunas entre o conhecimento acadêmico e sua aplicação prática. Esse caráter exploratório permite fundamentar o diagnóstico e compreender as demandas reais das agências de fomento e dos candidatos potenciais da plataforma.
	Descritiva	Assume também natureza descritiva ao sistematizar e apresentar um modelo estruturado de avaliação da maturidade tecnológica baseado nos TRL's. O estudo descreve os critérios de análise, a lógica de funcionamento do instrumento, o conjunto de perguntas diagnósticas, as evidências associadas a cada nível e o processo de geração de resultados pela plataforma. Dessa forma, permite compreender como conceitos teóricos são operacionalizados em um sistema prático de diagnóstico tecnológico.
QUANTO AOS PROCEDIMENTOS TÉCNICOS (experimental, bibliográfica, documental, de campo,	Bibliográfica	Fundamenta-se em revisão bibliográfica sistematizada de literatura científica nacional e internacional sobre inovação tecnológica, auditoria tecnológica, gestão da inovação e modelos de maturidade tecnológica, especialmente TRL. Essa revisão fornece os referenciais conceituais necessários para a proposta de um instrumento diagnóstico e para a análise dos TRL's.

<i>survey</i> , estudo de caso, ação)	Documental	Análise documental de normas técnicas, portarias, manuais institucionais, editais de fomento e relatórios oficiais de instituições nacionais e internacionais de ciência, tecnologia e inovação. Esses documentos constituem fontes essenciais para identificar critérios formais de avaliação tecnológica, exigências de elegibilidade e evidências requeridas pelas instituições promotoras de inovação, assegurando a aderência do instrumento desenvolvido às práticas institucionais vigentes.
MÉTODO DE ANÁLISE	Análise qualitativa de conteúdo e síntese teórica	O método de análise consiste na aplicação de técnicas de análise qualitativa de conteúdo aos materiais bibliográficos e documentais selecionados, com o objetivo de identificar categorias, padrões e critérios de avaliação tecnológica relevantes. A partir dessa análise, realiza-se uma síntese teórica, combinando diferentes modelos e referenciais para fundamentar a proposta do instrumento de auditoria tecnológica. Esse processo permite estabelecer a lógica de diagnóstico do TRL, definir as perguntas estruturantes e associar evidências verificáveis a cada nível de maturidade, garantindo consistência conceitual e validade do modelo proposto.
PRODUTO	Produto Técnico Tecnológico	O resultado da pesquisa é a proposta da plataforma e a prototipagem do instrumento digital aplicável, a Plataforma Virtual de Maturidade Tecnológica, desenvolvido como Produto Técnico Tecnológico conforme as diretrizes do Mestrado Profissional. Trata-se de uma ferramenta acessível via internet, estruturada a partir de um questionário sistemático de auditoria tecnológica, capaz de diagnosticar o nível de maturidade tecnológica de projetos, organizações ou soluções inovadoras. A plataforma gera o nível TRL correspondente e apresenta orientações sobre evidências necessárias para sua comprovação, subsidiando a tomada de decisão e a submissão qualificada a mecanismos de fomento à inovação. O produto possui potencial de impacto organizacional, social e econômico ao democratizar o acesso a instrumentos de avaliação tecnológica.

Fonte: Elaboração da autora (2026)

### 3.2. ASPECTOS TÉCNICOS E TECNOLÓGICOS

A presente investigação caracteriza-se não apenas como um estudo de natureza teórica e metodológica, mas também como uma pesquisa aplicada com desenvolvimento tecnológico, uma vez que alcança a concretização de uma ferramenta digital, destinada à utilização prática por organizações e agentes do ecossistema de inovação. Nesse sentido, os aspectos técnicos e tecnológicos orientam a transformação do conhecimento científico produzido em um instrumento operacional capaz de gerar resultados concretos.

Do ponto de vista técnico, a pesquisa envolveu a sistematização de referenciais teóricos e normativos relacionados à Auditoria Tecnológica e aos Níveis de Maturidade Tecnológica

(*Technology Readiness Levels – TRL*), com o objetivo de estruturar um conjunto coerente de critérios, indicadores e perguntas estratégicas que possibilitem a identificação do estágio de desenvolvimento tecnológico de projetos, soluções ou organizações. Esse processo demandou análise comparativa de modelos existentes, definição de parâmetros de avaliação e organização lógica das informações, assegurando consistência conceitual e aplicabilidade prática.

Sob a perspectiva tecnológica é uma modelagem conceitual de uma plataforma virtual acessível, concebida para operacionalizar o instrumento de auditoria tecnológica e de identificação de nível de maturidade de forma automatizada. A modelagem contempla a definição de requisitos funcionais e não funcionais, a estrutura de navegação do usuário, o fluxo de interação com o sistema, a lógica de processamento das respostas e o mecanismo de classificação do nível TRL. Tais elementos são essenciais para garantir que o diagnóstico produzido seja confiável, reproduzível e útil para a tomada de decisão.

É fundamental considerar conceitos de usabilidade, acessibilidade e escalabilidade, visando assegurar que a plataforma possa ser utilizada por diferentes perfis de usuários, independentemente do grau de familiaridade com conceitos técnicos de inovação ou maturidade tecnológica. A estrutura do sistema foi concebida de modo a permitir a geração de resultados interpretáveis, acompanhados de orientações que auxiliem a adequação de projetos aos requisitos de instituições promotoras de inovação e mecanismos de fomento.

Cabe destacar que, conforme Pressman (2016), o desenvolvimento de sistemas computacionais requer a integração entre especificação de requisitos, modelagem de processos e arquitetura de software, etapas que consideradas na concepção. No contexto desta pesquisa, tais procedimentos não visaram a implementação completa de um sistema comercial, mas sim a elaboração de um protótipo funcional (dentro da ferramenta virtual *Forms*), compatível com os objetivos do trabalho.

Assim, os aspectos técnicos e tecnológicos aqui descritos constituem a base metodológica para a materialização do conhecimento produzido ao longo da pesquisa em um Produto Técnico Tecnológico. Esse produto representa a principal contribuição aplicada do estudo, traduzindo os fundamentos teóricos da auditoria tecnológica e dos níveis TRL em uma ferramenta digital estruturada e utilizável.

Dessa forma, o subcapítulo seguinte apresenta de maneira detalhada a forma de implementação da proposta Produto Técnico Tecnológico: Plataforma Virtual de Maturidade Tecnológica, o que conduz ao plano de intervenção a seguir.

### 3.3 PLANO DE INTERVENÇÃO E IMPLEMENTAÇÃO DA PROPOSTA

A proposta da Plataforma Virtual de Maturidade Tecnológica é uma resposta direta ao problema de pesquisa, que evidencia a limitação, complexidade e baixa acessibilidade aos modelos existentes de avaliação da maturidade tecnológica fora de ambientes altamente especializados. Tais limitações dificultam a utilização sistemática dessas ferramentas por organizações, especialmente aquelas que não dispõem de estruturas avançadas de gestão da inovação, comprometendo a compreensão do estágio real de desenvolvimento da tecnologia e a capacidade de tomada de decisões estratégicas fundamentadas. Nesse contexto, a proposta da plataforma visa suprir a carência de instrumentos estruturados, padronizados, acessíveis e descomplicados, capazes de mensurar a maturidade tecnológica de forma clara, confiável e sistemática, conforme estabelecido no problema de pesquisa. Além disso, instrumentos de diagnóstico confiáveis tornam-se essenciais, para viabilizar o acesso a mecanismos de financiamento à inovação, uma vez que as agências de fomento demandam informações técnicas precisas, sobre o estágio de desenvolvimento das tecnologias propostas (VALLE, 2025).

O processo iniciou-se com uma investigação no campo da auditoria tecnológica, reconhecida como instrumento estratégico para diagnóstico das capacidades tecnológicas e apoio à gestão da inovação (ABBAS E SHAHZAD, 2022). Durante a revisão bibliográfica e documental, foi identificado um modelo de auditoria tecnológica fundamentado nos *Technology Readiness Levels* (TRL's), originalmente proposto pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), para avaliar a maturidade de tecnologias aeroespaciais. Segundo Mankins (1995) o modelo TRL consolidou-se internacionalmente como ferramenta para redução de riscos tecnológicos, planejamento do desenvolvimento e tomada de decisões ao longo do ciclo de inovação.

A partir dessa identificação, realizou-se aprofundamento conceitual nas TRL's, buscando compreender detalhadamente a definição de cada nível, suas características, os critérios de progressão e os caminhos metodológicos utilizados para identificar o estágio de maturidade de uma tecnologia. Inicialmente, foram analisados documentos técnicos da NASA, seguidos pela norma ABNT NBR ISO 16290:2015, que adapta o modelo ao contexto brasileiro, estabelecendo definições padronizadas e orientações de aplicação (ABNT, 2015). Posteriormente, foram examinados materiais institucionais do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, nos quais a maturidade tecnológica é utilizada como critério para

avaliação de projetos e concessão de fomento público à inovação, bem como instrumentos desenvolvidos pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), que apresentam perguntas estruturadas para avaliação de TRL (ROCHA, 2016). Nesse sentido, a utilização do TRL como parâmetro de elegibilidade em políticas públicas de inovação está alinhada às práticas internacionais de financiamento tecnológico, que buscam direcionar recursos conforme o risco e o potencial de impacto das soluções desenvolvidas (VALLE, 2025).

A análise comparativa desses referenciais, permitiu identificar que, os instrumentos existentes, apresentam elevada complexidade técnica e baixa acessibilidade para usuários não especialistas, confirmando o problema de pesquisa. Assim, com o objetivo de desenvolver um instrumento diagnóstico capaz de ampliar a compreensão organizacional, subsidiar a tomada de decisão estratégica e qualificar os projetos junto às instituições de fomento, a autora elaborou um conjunto próprio de perguntas estruturadas, adaptadas para uma linguagem mais clara, objetiva e de fácil entendimento, sem perder o rigor técnico. A simplificação metodológica proposta busca reduzir o desequilíbrio das informações entre proponentes e financiadores, aspecto frequentemente apontado como obstáculo ao acesso a recursos de inovação, sobretudo por micro e pequenas empresas (VALLE, 2025).

Foram elaboradas cinco perguntas para cada nível de maturidade tecnológica, totalizando nove conjuntos correspondentes do TRL 1 ao TRL 9. As respostas foram estruturadas em formato dicotômico (sim/não), com atribuição de pontuação dois (2) para respostas afirmativas e zero (0) para respostas negativas. A pontuação total permite inferir o nível de maturidade tecnológica conforme faixas previamente definidas:

- 00 a 10 pontos (TRL 1)
- 11 a 20 pontos (TRL 2)
- 21 a 30 pontos (TRL 3)
- 31 a 40 pontos (TRL 4)
- 41 a 50 pontos (TRL 5)
- 51 a 60 pontos (TRL 6)
- 61 a 70 pontos (TRL 7)
- 71 a 80 pontos (TRL 8)
- 81 a 90 pontos (TRL 9)

Essa estrutura atende ao objetivo geral da pesquisa ao viabilizar a identificação do TRL de projetos, organizações ou soluções por meio de um instrumento sistemático baseado em perguntas estratégicas. As perguntas e evidências associadas encontram-se sistematizadas no Quadro 12, ao final desse capítulo. Cabe ainda destacar que o resultado final possibilita a análise

da TRL atual, bem como identifica possíveis transições entre os níveis, contribuindo para o aprofundamento e ampliação das conclusões obtidas.

A intervenção foi estruturada em três etapas principais: desenvolvimento e validação do protótipo, desenvolvimento da plataforma web e disseminação e capacitação:

#### **a) Desenvolvimento do protótipo**

O protótipo Plataforma Virtual de Maturidade Tecnológica foi desenvolvido utilizando a ferramenta *Google Forms*, escolhida por sua acessibilidade, facilidade de implementação e ampla disponibilidade. Essa etapa teve como finalidade testar a viabilidade técnica e metodológica do instrumento diagnóstico proposto.

O questionário foi organizado em dois blocos principais. O primeiro bloco destina-se à identificação da tecnologia ou projeto avaliado, incluindo informações como nome, área de aplicação, objetivo e responsável técnico. O segundo bloco corresponde ao diagnóstico do nível de maturidade tecnológica, contendo as perguntas estruturadas para cada TRL.

Ao término do preenchimento, o sistema realiza automaticamente a soma das pontuações atribuídas às respostas, gerando uma nota final correspondente ao nível de maturidade tecnológica estimado. Esse procedimento permite um diagnóstico padronizado e de fácil interpretação, contribuindo para ampliar a compreensão organizacional acerca do estágio de desenvolvimento de suas soluções tecnológicas, elemento fundamental para a definição de estratégias de investimento, parcerias e captação de recursos (VALLE, 2025).

Como etapa complementar, foi estabelecido comunicação com o respondente, por meio do envio de e-mail contendo o nível TRL identificado, uma explicação sintética de seu significado e a lista de evidências necessárias para comprovação do estágio alcançado. Essa funcionalidade transforma o diagnóstico em instrumento de apoio à tomada de decisão estratégica e ao planejamento do desenvolvimento tecnológico, alinhando-se ao objetivo de qualificar propostas para avaliação por instituições promotoras de inovação.

O protótipo demonstrou a viabilidade operacional da proposta e evidenciou seu potencial como instrumento de diagnóstico simplificado, acessível e aplicável a diferentes contextos organizacionais.

#### **b) Plataforma Virtual de Maturidade Tecnológica**

A etapa subsequente consiste no desenvolvimento da plataforma web definitiva, concebida como um sistema digital completo de auditoria tecnológica acessível via internet. Diferentemente do protótipo, a plataforma final prevê automatização integral do processo de diagnóstico e emissão de resultados.

Na versão proposta, o sistema será capaz de:

- calcular automaticamente o nível TRL a partir das respostas;
- gerar relatório técnico detalhado com interpretação do resultado;
- apresentar a lista de evidências documentais exigidas para cada nível;
- disponibilizar campo para inserção de documentos comprobatórios;
- permitir verificação técnica das evidências submetidas;
- emitir certificação referente ao nível de maturidade tecnológica alcançado.

Essas funcionalidades visam apoiar organizações na tomada de decisão estratégica, no planejamento do desenvolvimento tecnológico e na preparação para submissão a mecanismos de fomento, reduzindo incertezas e desencontros de informação no ecossistema de inovação, fatores que influenciam diretamente a efetividade dos investimentos públicos e privados em tecnologia (VALLE, 2025).

### **c) Disseminação e capacitação**

A terceira etapa da intervenção refere-se às ações de disseminação e capacitação para utilização da plataforma. Estão previstas atividades como oficinas, palestras, treinamentos e ações de sensibilização junto a incubadoras, parques tecnológicos, instituições educacionais e organizações interessadas em processos de inovação.

Essas ações têm como finalidade ampliar o alcance da ferramenta, promover a compreensão do conceito de maturidade tecnológica e incentivar o uso do TRL como instrumento de planejamento e gestão da inovação. Além disso, contribuem para fortalecer a cultura de avaliação tecnológica e para aproximar organizações das instituições promotoras de inovação, facilitando o acesso a instrumentos de financiamento e cooperação tecnológica (VALLE, 2025).

O processo descrito configura uma intervenção tecnológica orientada à solução do problema de pesquisa, ao transformar um modelo complexo de avaliação tecnológica em um instrumento estruturado, acessível e operacional. Ao permitir identificar o nível de maturidade tecnológica de forma clara e sistemática, a Plataforma Virtual de Maturidade Tecnológica amplia a compreensão organizacional, subsidia a tomada de decisão estratégica, qualifica a avaliação por instituições promotoras de inovação e viabiliza a adequada submissão a mecanismos de fomento, atendendo integralmente ao objetivo geral estabelecido.

O instrumento central da intervenção é o questionário estruturado, apresentado na sequência, composto por perguntas organizadas em blocos, correspondentes aos níveis de maturidade tecnológica. Essas perguntas foram elaboradas pela autora a partir da consolidação de referenciais internacionais e nacionais.

Quadro 12: Perguntas por Nível de Maturidade

<b>BLOCO 1: IDENTIFICAÇÃO DA TECNOLOGIA</b>			
1	Nome da tecnologia ou projeto:		
2	Instituição responsável:		
3	Área tecnológica (Agro, Indústria, Educação, Energia, etc.):		
4	Responsável técnico:		
5	Objetivo principal da tecnologia:		
6	Problema que pretende resolver:		
7	Existe TRL previamente declarada? Se sim, qual?		
<b>BLOCO 2 - TECHNOLOGY READINESS LEVELS (TRL's) - NÍVEIS DE MATURIDADE TECNOLÓGICO</b>			
<b>TRL 1: BASE CIENTÍFICA</b>			
<b>FONTE</b>	<b>Nº</b>	<b>PERGUNTAS</b>	<b>EVIDÊNCIAS</b>
ABNT (2015)	1	Foram identificados os princípios básicos?	Pesquisa básica
	2	Foram identificados potenciais aplicações para a tecnologia?	
ITA (Rocha, 2016)	1	Foram documentados os estudos que confirmam os princípios básicos?	Artigos científicos
	2	Foram identificadas leis e pressupostos utilizados na nova tecnologia e não proíbem o desenvolvimento?	
	3	Foi levantada e documentada a ideia dos riscos, custos e cronograma para desenvolvimento da pesquisa tecnológica?	Relatórios laboratoriais
	4	Foi identificado quem e onde será realizada as pesquisas da tecnologia?	
	5	Existe fonte monetária ou interessados, stakeholders (patrocinadores) na concretização da tecnologia?	Revisão bibliográfica
	6	Foi levantado se alguma outra instituição de pesquisa ou empresa está pesquisando a tecnologia no país?	
	7	Foi realizada pesquisa em ambiente exploratório?	Hipótese científica

	8	Existem publicações científicas em revistas/ anais/ congressos a respeito da tecnologia?	
MCTI (Brasil, 2022)	1	Os princípios científicos da tecnologia foram identificados?	
	2	Existe fundamentação científica publicada ou documentada?	
	3	Há hipótese técnica formulada?	
NASA (Mankins, 1995)	1	O princípio científico foi identificado?	
	2	Existe literatura científica revisada por pares que sustente o fenômeno?	
	3	Há evidência experimental inicial?	
	4	Existe hipótese técnica formalizada?	
ELABORADO PELA AUTORA	1	Existem artigos publicados, pesquisas ou estudos teóricos que falem desse conceito tecnológico?	
	2	O princípio científico foi encontrado em alguma pesquisa acadêmica no país?	
	3	Há publicações, relatórios técnicos ou registros conceituais?	
	4	O conhecimento ainda está restrito ao ambiente acadêmico ou teórico?	
	5	Existe protótipo ou teste experimental realizado?	
<b>TRL 2: CONCEITO TECNOLÓGICO</b>			
<b>FONTE</b>	<b>Nº</b>	<b>PERGUNTAS</b>	<b>EVIDÊNCIAS</b>
ABNT (2015)	1	Foram formuladas as potenciais aplicações?	
ITA (Rocha, 2016)	1	Foi realizada pesquisa em ambiente de trabalho?	
	2	Foram identificadas as principais funções a serem desempenhadas pela tecnologia?	
	3	Foi documentada a viabilidade das aplicações confirmadas por estudos?	
	4	Foi identificada a funcionalidade da tecnologia?	
	5	Foram identificados possíveis GAP's da tecnologia e documentados?	
	6	Sabe que programa (projeto) a tecnologia vai apoiar?	
	7	Foram identificados potenciais clientes?	Desenhos conceituais
	8	Cliente demonstra interesse na aplicação?	Estudos de viabilidade
MCTI (Brasil, 2022)	1	Existe aplicação potencial definida?	
	2	O conceito tecnológico foi descrito formalmente?	Proposta conceitual
	3	Foram identificados requisitos técnicos preliminares?	
NASA (Mankins, 1995)	1	O conceito da tecnologia está claramente descrito?	Estudos exploratórios
	2	Existe aplicação potencial definida?	
	3	Foram identificados requisitos preliminares?	
	4	Existe modelo conceitual ou arquitetura proposta?	
ELABORADO PELA AUTORA	1	O conceito tecnológico já foi descrito como possível solução para um problema?	
	2	Existe modelagem conceitual ou desenho preliminar?	
	3	Foram realizados estudos de viabilidade técnica inicial?	
	4	Existe definição preliminar de aplicação ou mercado?	

	5	Há registro de ideia inovadora (relatório interno ou patente preliminar)?	
<b>TRL 3: PROVA DE CONCEITO</b>			
<b>FONTE</b>	<b>Nº</b>	<b>PERGUNTAS</b>	<b>EVIDÊNCIAS</b>
ABNT (2015)	1	Foi concretizado a realização do projeto conceitual do elemento e documentado?	Protótipos iniciais  Testes laboratoriais  Prova de conceito  Experimento controlados
	2	Foram especificados os requisitos de desempenho da tecnologia?	
ITA (Rocha, 2016)	1	Foi verificada a viabilidade da aplicação por experimentos de laboratório (simulação)?	
	2	Foram identificados os possíveis defeitos da tecnologia em experimentos de laboratório?	
	3	Foram identificados e documentados os componentes que devem trabalhar juntos(visão sistêmica)?	
	4	Foi plenamente demonstrada a viabilidade científica da tecnologia?	
	5	Foram identificadas e desenvolvidas as técnicas de desenvolvimento da tecnologia?	
	6	Foram avaliados os conceitos de fabricação da tecnologia?	
MCTI (Brasil, 2022)	1	Foram realizados estudos analíticos ou simulações?	
	2	Existe prova experimental inicial do conceito?	
NASA (Mankins, 1995)	1	Existe demonstração experimental da função crítica?	
	2	O conceito foi testado em laboratório?	
	3	Foram identificados riscos técnicos principais?	
	4	Existem dados mensuráveis do experimento?	
ELABORADO PELA AUTORA	1	Foram realizados experimentos laboratoriais iniciais?	
	2	Existe comprovação desses experimentos?	
	3	Foram realizados testes em pequena escala?	
	4	Existe demonstração funcional parcial?	
	5	Existem resultados mensuráveis documentados?	
<b>TRL 4: VALIDAÇÃO EM LABORATÓRIO</b>			
<b>FONTE</b>	<b>Nº</b>	<b>PERGUNTAS</b>	<b>EVIDÊNCIAS</b>
ABNT (2015)	1	Foi realizado o projeto conceitual da tecnologia?	Relatório de integração  Testes funcionais  Protótipo inicial
ITA (Rocha, 2016)	1	Foram testados os componentes individuais em laboratórios e realizados relatórios?	
	2	Foram totalmente identificados os possíveis GAP's da tecnologia ?	
	3	Foram identificados os requisitos gerais do sistema para aplicação aos usuários finais?	
	4	Foram estabelecidas as métricas de desempenho da tecnologia?	
	5	Foi identificado os custos para desenvolvimento do protótipo?	
6	Foi realizado o cronograma para desenvolvimento do protótipo?		

	7	Foi iniciado o programa de gestão de risco do protótipo?	
	8	Foram iniciados os estudos de integração da tecnologia ao projeto final?	
MCTI (Brasil, 2022)	1	Componentes tecnológicos foram integrados?	
	2	Protótipo ou modelo funcional foi construído?	
	3	Testes laboratoriais controlados foram executados?	
NASA (Mankins, 1995)	1	O protótipo foi integrado em ambiente controlado?	
	2	Componentes funcionam juntos?	
	3	Existem testes repetíveis?	
	4	Foram definidos parâmetros de desempenho?	
ELABORADO PELA AUTORA	1	Existe protótipo funcional em laboratório?	
	2	Componentes tecnológicos foram integrados?	
	3	Testes repetitivos foram realizados?	
	4	Existem relatórios técnicos documentando desempenho?	
	5	Foram avaliados riscos técnicos?	
<b>TRL 5: VALIDAÇÃO EM AMBIENTE RELEVANTE</b>			
FONTES	Nº	PERGUNTAS	EVIDÊNCIAS
ABNT (2015)	1	Foi realizado a definição preliminar de requisitos de desempenho no ambiente relevante?	Exemplo NASA: vibração, temperatura, pressão  Protótipo inicial em ambiente relevante
	2	Foi realizado o projeto preliminar do elemento, suportado por modelos apropriados para a verificação funções críticas?	
	3	Foi realizado plano de teste de função crítica para análise dos efeitos de escala?	
	4	Foi estipulado a definição placa de ensaio para a verificação da função crítica?	
	5	Foram realizados os testes de teste placa de ensaio com relatórios?	
ITA (Rocha, 2016)	1	Foram identificados os efeitos das possíveis falhas da tecnologia (se houver)?	
	2	Foram identificados os requisitos de interface de sistema?	
	3	Foram identificadas as interações entre os componentes / subsistemas?	
	4	Foi realizada modificações no ambiente de laboratório para aproximar ambiente operacional deixando apto a testes?	
	5	Foram realizados testes tecnológicos dos componentes em ambiente relevante?	
MCTI (Brasil, 2022)	1	O protótipo foi testado em ambiente relevante?	
	2	Interfaces críticas foram avaliadas?	
	3	Existem dados experimentais suficientes?	
NASA (Mankins, 1995)	1	A tecnologia foi testada em ambiente semelhante ao real?	
	2	Foram simuladas condições operacionais críticas?	
	3	Existe validação funcional fora do laboratório?	
ELABORADO PELA AUTORA	1	O protótipo foi testado em ambiente simulado próximo da realidade?	
	2	Foram avaliadas variáveis ambientais?	
	3	O desempenho foi comparado com requisitos técnicos?	

	4	Existe participação de parceiros externos?	
	5	Há teste piloto controlado?	
<b>TRL 6: DEMONSTRAÇÃO / PROTÓTIPO</b>			
<b>FONTE</b>	<b>Nº</b>	<b>PERGUNTAS</b>	<b>EVIDÊNCIAS</b>
ABNT (2015)	1	Foram realizadas identificação e análise das funções críticas do elemento e verificadas as funções críticas e documentadas em relatório?	Protótipo em fase final  Testes integrados  Demonstração piloto
	2	O ambiente relevante de funcionamento para eventual sistema é conhecido?	
ITA (Rocha, 2016)	1	Foi realizada e documentada a definição de requerimento do desempenho e do ambiente relevante?	
	2	Foram documentados os requisitos completos de sistema e subsistema para funcionamento?	
	3	Foram concluídas as avaliações das características de desempenho da tecnologia mesmo com os possíveis GAP's?	
	4	Foi iniciada a aquisição de dados da manutenção real, confiabilidade e dados de suporte?	
	5	Foi testado o modelo representativo (protótipo) completo em laboratório, ambiente operacional de alta fidelidade (simulação)?	
MCTI (Brasil, 2022)	1	Sistema ou subsistema foi demonstrado?	
	2	Testes operacionais foram realizados?	
	3	Riscos tecnológicos foram avaliados?	
NASA (Mankins, 1995)	1	Existe protótipo funcional completo?	
	2	O sistema foi testado em cenário operacional simulado?	
	3	Interfaces foram testadas?	
ELABORADO PELA AUTORA	1	Existe sistema integrado funcional?	
	2	O protótipo foi testado fora do laboratório?	
	3	Foram realizadas demonstrações operacionais?	
	4	Usuários potenciais participaram da validação?	
	5	Existem registros de desempenho operacional?	
<b>TRL 7: AMBIENTE OPERACIONAL</b>			
<b>FONTE</b>	<b>Nº</b>	<b>PERGUNTAS</b>	<b>EVIDÊNCIAS</b>
ABNT (2015)	1	Foi documentada a definição de requisitos de desempenho?	Exemplo 1: voo experimental (Nasa)  Exemplo 2: Campo agrícola real  Teste real
	2	Foi documentada a definição do ambiente operacional?	
	3	Foi documentada a definição do modelo e da realização do teste?	
ITA (Rocha, 2016)	1	Foi realizado testes em cada interface do sistema / software individualmente em condições de tensão e anômalas?	
	2	Foi simulado as funcionalidades disponíveis para demonstração em ambiente operacional?	
	3	Foi totalmente integrado o protótipo ao ambiente real demonstrado (ou simulado ambiente operacional)?	
	4	Foi realizado teste com sucesso do protótipo do sistema em um ambiente estipulado?	
	5	Foi realizado documentação do teste do modelo de protótipo?	
	6	Foi documentada a ideia dos riscos, custos e cronograma para desenvolvimento da tecnologia em escala?	

MCTI (Brasil, 2022)	1	Protótipo próximo do produto final foi testado?		
	2	Testes em ambiente real ocorreram?		
	3	Usuários participaram da validação?		
NASA (Mankins, 1995)	1	A tecnologia foi testada em ambiente real?		
	2	O desempenho atende aos requisitos operacionais?		
	3	Existem registros de operação contínua?		
ELABORADO PELA AUTORA	1	O sistema foi testado em operação real?		
	2	Existe projeto piloto industrial ou educacional?		
	3	Foram avaliadas falhas operacionais?		
	4	O produto interagiu com usuários reais?		
	5	Há indicadores de confiabilidade?		
<b>TRL 8: QUALIFICAÇÃO</b>				
<b>FONTE</b>	<b>Nº</b>	<b>PERGUNTAS</b>		<b>EVIDÊNCIAS</b>
ABNT (2015)	1	Foi construído e integrado o modelo final no sistema final? (produto)		Certificações  Validação final  Produto qualificado
ITA (Rocha, 2016)	1	Foram realizados ajustes dos componentes a suas funções para deixar compatível com o sistema operacional?		
	2	Foi testado o sistema e caracterizado com seu design e função para a aplicação pretendida ?		
	3	Foram demonstrados os resultados o funcionamentos e a função da tecnologia em eventual teste de sistema de plataforma?		
	4	Foi concluído o processo de controle da interface?		
	5	Foi concluída a documentação formal de regulamentação?		
	6	Foi concluída a documentação da gestão e controle de configuração?		
	7	Foram demonstradas todas as funcionalidades em ambiente operacional simulado e sistema qualificados através de teste e avaliação na plataforma real?		
	8	Foi identificado que o sistema atende às especificações?		
	9	Foi iniciado no programa de gestão de risco em parceria com o desenvolvimento com a indústria?		
	10	Foi identificado os custos para desenvolvimento da tecnologia em escala ou transmitido o conhecimento em parceria com a indústria?		
11	Foi estipulado cronograma para desenvolvimento em escala da tecnologia ou realizado trabalho em parceria com a indústria?			
MCTI (Brasil, 2022)	1	Produto final foi concluído?		
	2	Certificações necessárias foram iniciadas ou concluídas?		
	3	Processo produtivo foi validado?		
NASA (Mankins, 1995)	1	A tecnologia foi qualificada conforme normas?		
	2	Existe certificação técnica?		
	3	Foram concluídos testes finais?		
ELABORADO PELA AUTORA	1	O sistema passou por certificações técnicas?		
	2	Existe manual técnico?		
	3	Foram realizados testes finais de qualidade?		

	4	O produto atende normas regulatórias?	
	5	Existe produção pré comercial?	
<b>TRL 9 : OPERAÇÃO REAL</b>			
<b>FONTE</b>	<b>Nº</b>	<b>PERGUNTAS</b>	<b>EVIDÊNCIAS</b>
ABNT (2015)	1	Foi realizado comissionamento na fase de operação inicial?	Contratos comerciais  Operação contínua  Atuação no mercado
	2	Foram finalizados os relatórios de operação em voo?	
ITA (Rocha, 2016)	1	Foi plenamente demonstrado o sistema real?	
	2	Foi implementado com sucesso o conceito operacional?	
	3	Foi instalada e implantada a tecnologia em plataforma de sistema antes destinado?	
	4	Foi realizada através de operações de missão bem sucedida o sistema de missão real "voo comprovado"?	
	5	Foram realizados todos os processos de fabricação controlados para o nível de qualidade adequado?	
	6	Foi incluída na documentação o processo de desenvolvimento em escala, o custo e o cronograma para tal desenvolvimento?	
	7	Foi incluída na documentação final o processo de parceria e de transferência de conhecimento para indústria?	
	8	Foi realizado plano de negócio para desenvolvimento da tecnologia?	
	9	Foram realizadas publicações científicas e/ou patentes a respeito da tecnologia ?	
	10	É possível reproduzir o mesmo projeto com mesmos requisitos?	
MCTI (Brasil, 2022)	1	Tecnologia operando em ambiente real?	
	2	Produto comercializado ou implantado?	
	3	Performance comprovada operacionalmente?	
NASA (Mankins, 1995)	1	A tecnologia está em operação real?	
	2	Existe histórico operacional?	
	3	Há usuários finais?	
ELABORADO PELA AUTORA	1	A tecnologia está em operação comercial ou institucional?	
	2	Existem contratos ou clientes ativos?	
	3	Há histórico operacional documentado?	
	4	O desempenho foi comprovado continuamente?	
	5	Existe manutenção estruturada?	

Fonte: Elaboração da autora (2026)

O quadro acima traz perguntas estruturantes oriundas de diferentes referenciais institucionais (NASA – *National Aeronautics and Space Administration*, ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, ITA – Instituto Tecnológico de Aeronáutica e MCTI – Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação), as quais serviram como base para a construção do instrumento.

A metodologia TRL, originalmente desenvolvida pela NASA, estabelece uma escala progressiva de nove níveis de maturidade tecnológica, cujo objetivo é mensurar o grau de desenvolvimento de uma tecnologia, desde a observação de princípios básicos até sua operação comprovada em ambiente real. Conforme definido oficialmente, os TRL's constituem “uma métrica sistemática que apoia avaliações consistentes da maturidade tecnológica” (NASA, 2016). Essa definição evidencia o caráter estruturante e comparável da ferramenta, justificando sua utilização como base para auditorias tecnológicas organizacionais.

No contexto normativo, a ABNT, por meio da NBR ISO 16290:2015, formaliza os níveis de maturidade tecnológica e reforça que os TRL's “fornecem um método consistente para avaliar o grau de desenvolvimento de uma tecnologia” (ABNT, 2015, p. 1). Ao analisar perguntas derivadas dessa norma, o instrumento desenvolvido assegura alinhamento com critérios internacionalmente reconhecidos, fortalecendo a validade técnica da proposta.

As contribuições do ITA ampliam a abordagem ao incluir variáveis relacionadas a riscos, custos, cronogramas, integração sistêmica e interfaces tecnológicas, aspectos essenciais quando se considera a aplicação prática da tecnologia em ambientes complexos.

Por sua vez, o MCTI, ao adaptar a metodologia TRL à realidade brasileira, enfatiza sua aplicação como instrumento de apoio à decisão em projetos de pesquisa, desenvolvimento e inovação. Segundo o Ministério, a avaliação da maturidade tecnológica contribui para decisões relativas a financiamento, continuidade ou redirecionamento de projetos (BRASIL, 2019). Tal perspectiva é particularmente relevante para Instituições Promotoras de Inovação, que operam em interface direta com mecanismos de fomento.

A partir da sistematização dessas perguntas institucionais, procedeu-se à análise comparativa dos critérios recorrentes em cada TRL, analisando conceitos e referenciais internacionais e nacionais. Observou-se que, embora as formulações variem, existe um eixo estruturante comum:

1. Evidência científica documentada (TRL 1);
2. Formulação conceitual estruturada (TRL 2);
3. Prova experimental do conceito (TRL 3);
4. Integração de componentes em ambiente controlado (TRL 4);
5. Validação em ambiente relevante (TRL 5);
6. Demonstração operacional de protótipo (TRL 6);
7. Testes em ambiente real (TRL 7);
8. Qualificação e certificação (TRL 8);

## 9. Operação comprovada e comercialização (TRL 9).

Com base nessa análise, a autora elaborou perguntas complementares, não com o objetivo de alterar a lógica normativa dos TRL's, mas de ampliar sua aplicabilidade ao contexto organizacional, de trazer clareza para o público informal e de democratizar informações científicas.

A construção dessas novas perguntas fundamenta-se no princípio metodológico da pesquisa aplicada, cujo propósito é transformar conhecimento teórico em instrumento prático de intervenção. Nesse sentido, o questionário preserva a estrutura normativa dos TRL's.

O instrumento não substitui os referenciais institucionais, mas os integra e operacionaliza. A presença explícita das perguntas da NASA – *National Aeronautics and Space Administration*, ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, ITA – Instituto Tecnológico de Aeronáutica e MCTI – Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, no quadro, garantem rastreabilidade, enquanto as perguntas da autora representam etapa de síntese e contextualização metodológica. Considerando a rastreabilidade, e a conexão com a essência da ferramenta, somente as perguntas da autora subirão para a plataforma.

Assim, o questionário apresentado não se configura apenas como instrumento de coleta de dados, mas como mecanismo estruturado de diagnóstico tecnológico, alinhado às diretrizes internacionais de maturidade tecnológica e adaptado à realidade das instituições brasileiras de inovação, compondo o plano de intervenção deste trabalho.

Uma vez estabelecido o plano de intervenção, torna-se relevante analisar as contribuições técnico-científicas e sociais decorrentes da implementação da ferramenta, tema da seção seguinte.

## 4. PRODUTO TÉCNICO TECNOLÓGICO

O presente Produto Técnico Tecnológico consiste no desenvolvimento de uma Plataforma Virtual de Maturidade Tecnológica, concebida como instrumento de auditoria tecnológica baseado nos Níveis de Maturidade Tecnológica (*Technology Readiness Levels – TRL*). Trata-se de uma ferramenta digital, acessível via internet, estruturada a partir de um questionário sistemático de perguntas estratégicas que permitem diagnosticar o estágio de desenvolvimento de tecnologias, projetos ou organizações, que foi estruturado da seguinte forma:

- Identificação do problema: dificuldade de organizações e empreendedores em compreender e mensurar o nível de maturidade tecnológica de seus projetos, os modelos disponíveis são complexos, pouco acessíveis e restritos a ambientes especializados, dificultando sua aplicação prática e comprometendo a tomada de decisão estratégica e a submissão a mecanismos de fomento.
- Revisão teórica sobre auditoria tecnológica e inovação: revisão bibliográfica sobre auditoria tecnológica, gestão da inovação e avaliação de capacidades tecnológicas, com o objetivo de identificar instrumentos capazes de diagnosticar o estágio de desenvolvimento tecnológico, essa etapa permitiu compreender o papel da auditoria tecnológica como ferramenta de planejamento estratégico e redução de riscos associados à inovação.
- Identificação dos TRL's como referência: modelo *Technology Readiness Levels* (TRL), desenvolvido pela NASA, como referência internacional para avaliação da maturidade tecnológica, o modelo foi selecionado por sua ampla aceitação em ambientes científicos, industriais e institucionais, além de sua utilização em políticas públicas de inovação e financiamento tecnológico.
- Estudo aprofundado dos Níveis de Maturidade Tecnológicos: definições conceituais, características de cada estágio, critérios de progressão entre níveis, evidências típicas associadas, aplicação em diferentes setores. Essa etapa permitiu compreender os caminhos necessários para identificar o estágio real de desenvolvimento de uma tecnologia.
- Análise de referenciais: investigação ampliada para diferentes instituições que utilizam modelo TRL e identificação de convergências conceituais, critérios de avaliação e exemplos de operacionalização do modelo.
- Identificação das perguntas utilizadas: nos referenciais analisados, foram identificadas perguntas, checklists e indicadores utilizados para avaliar a maturidade tecnológica. Observou-se que, embora tecnicamente robustos, esses instrumentos apresentam elevada complexidade e linguagem especializada, dificultando sua utilização por usuários não especialistas.
- Elaboração de um instrumento diagnóstico: com base na síntese dos referenciais estudados, foi elaborado um conjunto próprio de perguntas estratégicas, adaptadas para linguagem clara, objetiva e acessível, preservando o rigor técnico do modelo TRL, a estrutura adotada foi cinco perguntas para cada nível TRL,

perguntas organizadas sequencialmente por estágio de maturidade, associação de evidências a cada nível.

- Definição da lógica de pontuação e classificação: foi estabelecido um sistema de pontuação dicotômica (resposta “sim” = 2 pontos e resposta “não” = 0 ponto), onde a soma total permite classificar o nível de maturidade tecnológica em faixas correspondentes aos TRL 1 a TRL 9, garantindo diagnóstico objetivo, padronizado e replicável.
- Construção do protótipo funcional: para testar a viabilidade do instrumento, foi desenvolvido um protótipo digital utilizando a ferramenta *Google Forms*, escolhido por sua facilidade de implementação e ampla acessibilidade, onde o bloco 1 identifica a tecnologia e o bloco 2 diagnostica a maturidade tecnológica;
- Testes de funcionamento: o protótipo foi submetido a testes de funcionamento, avaliando clareza das perguntas, coerência da lógica de pontuação, facilidade de preenchimento, consistência dos resultados, os ajustes necessários foram realizados com base na análise desses testes.
- Implementação e retorno ao respondente: após o preenchimento do formulário, os dados são exportados para planilha eletrônica, permitindo identificar o nível TRL correspondente, em seguida, é encaminhado ao usuário um e-mail contendo nível de maturidade identificado, explicação do resultado, lista de evidências necessárias para comprovação, informações de apoio à tomada de decisão e planejamento tecnológico.
- Desenvolvimento da Plataforma Digital: com base nos resultados obtidos no protótipo, foi concebida a Plataforma Virtual de Maturidade Tecnológica como sistema web completo, capaz de automatizar todo o processo de diagnóstico onde a proposta é identificar automaticamente o TRL, gerar relatório técnico detalhado, indicar evidências necessárias, permitir envio de documentos comprobatórios, possibilitar verificação técnica, emitir certificação de maturidade tecnológica.
- Disseminação e capacitação: como etapa final, foram previstas ações de disseminação do instrumento junto a incubadoras, parques tecnológicos, instituições educacionais e organizações inovadoras, por meio de oficinas, palestras e treinamentos.

Essa transformação de modelo conceitual para um instrumento de diagnóstico estruturado, acessível e operacional, configura o Produto Técnico Tecnológico aplicável ao contexto a seguir relatado.

#### 4.1 CONTEXTO

No âmbito das políticas públicas de ciência, tecnologia e inovação, os editais de fomento frequentemente estabelecem faixas específicas de maturidade tecnológica como condição de elegibilidade, exigindo que os proponentes demonstrem, por meio de evidências técnicas, em qual TRL (*Technology Readiness Level*), suas soluções se encontram. O modelo TRL, originalmente desenvolvido pela NASA, difundido internacionalmente, permite avaliar sistematicamente o grau de desenvolvimento de uma tecnologia, desde a pesquisa básica até a aplicação em ambiente operacional (MANKINS, 1995). Essa exigência possibilita alinhar o tipo de apoio concedido, sendo pesquisa científica, desenvolvimento experimental, validação em ambiente relevante ou escala industrial, às necessidades reais do projeto e aos objetivos estratégicos das políticas públicas de inovação (OCDE, 2018).

Assim, projetos situados em TRL's iniciais tendem a ser direcionados a programas de pesquisa científica e tecnológica, enquanto tecnologias em níveis mais elevados são priorizadas em instrumentos voltados à subvenção econômica, transferência tecnológica e inserção no mercado. No contexto brasileiro, agências de fomento, como FINEP (Financiadora de Estudos e Projetos), EMBRAPPII (Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial) e fundações estaduais de amparo à pesquisa, utilizam o TRL como critério para enquadramento de propostas e definição do tipo de financiamento adequado, alinhados às diretrizes da norma ABNT NBR ISO 16290:2015, que estabelece a definição e a aplicação dos níveis de maturidade tecnológica em projetos de pesquisa e desenvolvimento.

Nesse cenário, a Plataforma Virtual de Maturidade Tecnológica proposta neste trabalho constitui um instrumento de auditoria tecnológica capaz de operacionalizar essa exigência de forma acessível, sistemática e padronizada. A ferramenta foi concebida para traduzir os critérios técnicos associados aos TRL's em perguntas estruturadas, cujas respostas conduzem ao diagnóstico automatizado do estágio de desenvolvimento tecnológico de projetos ou organizações. Dessa forma, o produto técnico tecnológico conecta o proponente e o ecossistema de inovação, facilitando a interpretação dos requisitos dos editais e qualificando a preparação

das propostas. Conforme argumenta Phaal, Farrukh e Probert (2004), instrumentos estruturados de avaliação tecnológica são fundamentais para apoiar a tomada de decisão e o planejamento estratégico da inovação nas organizações.

A exigência do nível TRL nos editais, entretanto, pode afastar potenciais candidatos que desconhecem a ferramenta ou não possuem suporte técnico para aplicá-la corretamente. Muitas empresas, especialmente micro, pequenas e médias, enfrentam dificuldades para identificar com precisão seu posicionamento na escala de maturidade tecnológica, o que compromete a adequação de suas propostas aos requisitos dos programas de fomento e reduz suas chances de acesso a recursos de inovação, segundo Cassiolato e Lastres (2005). Essa lacuna evidencia a distância entre a linguagem técnica dos editais e a realidade operacional das organizações, particularmente aquelas com baixa inserção em sistemas de inovação.

A Plataforma Virtual de Maturidade Tecnológica proposta, visa oferecer um diagnóstico orientado, compreensível e fundamentado em referenciais reconhecidos internacionalmente (NASA – National Aeronautics and Space Administration, ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, ITA – Instituto Tecnológico de Aeronáutica e MCTI – Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação). Ao transformar critérios complexos em um processo guiado de autoavaliação, a ferramenta simplifica a burocracia, associada aos mecanismos de subvenção, e contribui para a democratização do acesso ao financiamento da inovação. Além disso, ao fornecer evidências estruturadas sobre o TRL, o sistema apoia a tomada de decisão organizacional e a submissão qualificada a programas de fomento, ampliando a eficiência do processo de avaliação pelas instituições promotoras de inovação.

Importante destacar que os editais frequentemente apresentam os requisitos de maturidade tecnológica de forma objetiva e sintética, assumindo conhecimento prévio por parte dos proponentes. Tal característica pode dificultar a compreensão por atores distantes dos processos formais de inovação, especialmente empreendedores iniciantes ou organizações sem histórico de interação com agências financiadoras. Nesse sentido, o produto técnico tecnológico proposto atua como um mecanismo de mediação, tornando acessível o conteúdo técnico dos editais e ampliando o potencial de participação de novos agentes nos ecossistemas de inovação, contribuindo para o fortalecimento do desenvolvimento tecnológico e socioeconômico (BRASIL, 2016).

A plataforma proposta operacionaliza esse referencial por meio de um sistema de perguntas estruturadas, desenvolvidas pela autora a partir da análise comparativa de

instrumentos utilizados pela NASA, ABNT, Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA) e MCTI. O resultado é um instrumento adaptado à realidade brasileira e às necessidades de empreendedores e organizações de diferentes portes.

A aplicabilidade da ferramenta ocorre em dois níveis complementares:

- Protótipo funcional desenvolvido no Google Forms, utilizado para testes, validação e coleta estruturada de dados;
- Versão definitiva concebida como página na internet, capaz de automatizar o diagnóstico do TRL e gerar relatórios orientativos.

Do ponto de vista metodológico, o produto proposto baseia-se em pesquisa aplicada, voltada à solução de problemas concretos, característica central dos mestrados profissionais (GIL, 2008).

Assim, a plataforma configura-se como instrumento capaz de reduzir assimetrias informacionais no acesso à inovação, contribuindo para a democratização do conhecimento tecnológico e para a qualificação de propostas submetidas a mecanismos de fomento.

A compreensão desse contexto permite avançar para a análise da aderência do produto às demandas institucionais, científicas e sociais, aspecto abordado na seção seguinte.

## **4.2 ADERÊNCIA**

A Plataforma Virtual de Maturidade Tecnológica apresenta elevada aderência às diretrizes das políticas públicas de inovação, aos marcos regulatórios nacionais e às necessidades do ecossistema empreendedor e científico.

Primeiramente, a ferramenta está alinhada ao Marco Legal da Ciência, Tecnologia e Inovação (Lei nº 13.243/2016), que incentiva a integração entre academia, governo e setor produtivo, bem como à Política Nacional de Inovação. Ao oferecer um instrumento sistemático de diagnóstico tecnológico, a plataforma facilita a comunicação entre proponentes e instituições avaliadoras, reduzindo e facilitando a interpretação dos critérios técnicos dos editais.

A solução atende às demandas das Instituições Promotoras de Inovação, que frequentemente necessitam avaliar a maturidade tecnológica das propostas submetidas. Segundo a OCDE (2018), a capacidade de mensurar o estágio de desenvolvimento das tecnologias é fundamental para orientar investimentos em pesquisa e desenvolvimento e aumentar a eficácia das políticas de inovação.

A aderência também se manifesta no âmbito acadêmico e científico, uma vez que a plataforma traduz um modelo teórico consolidado (TRL's), em um instrumento operacional prático. Essa transposição do conhecimento científico para aplicação concreta constitui um dos objetivos centrais da pesquisa aplicada (GIL, 2008).

Outro aspecto relevante refere-se à compatibilidade com diferentes áreas tecnológicas. A estrutura baseada em perguntas estratégicas permite aplicação em setores diversos, ampliando significativamente o potencial de uso da ferramenta.

A prototipagem no *Google Forms* trouxe viabilidade técnica e facilidade de utilização, reforçando a aderência da solução à realidade de usuários com diferentes níveis de maturidade digital.

Sob a perspectiva regional, a plataforma possui forte aderência às necessidades de desenvolvimento local e interiorização da inovação, especialmente em regiões onde o acesso a consultorias especializadas é limitado. E a ferramenta pode ser utilizada para mapeamento local e regional do nível de maturidade dos projetos em desenvolvimento.

Diante dessa aderência multidimensional, torna-se necessário delinear como a plataforma pode contribuir de forma social, técnicas e científica.

### **4.3 CONTRIBUIÇÃO SOCIAL TÉCNICO CIENTÍFICA**

A Plataforma Virtual de Maturidade Tecnológica apresenta contribuições significativas tanto para o avanço do conhecimento aplicado quanto para a sociedade.

No campo científico, o produto materializa a transposição de um modelo conceitual consolidado em instrumento operacional adaptado ao contexto brasileiro, ampliando a aplicabilidade dos TRL's para além do setor aeroespacial (ABNT, 2015).

Do ponto de vista social, a plataforma possui potencial transformador ao democratizar o acesso à informação sobre inovação. Segundo o Manual de Oslo, a inovação depende da capacidade das organizações de gerir conhecimento e tecnologia de forma estruturada (OCDE, 2018).

A ferramenta também contribui para reduzir desigualdades regionais, possibilitando que atores localizados fora dos grandes centros tenham acesso a um diagnóstico especializado sem custos elevados.

Outro aspecto relevante é a desmistificação da burocracia associada aos mecanismos de fomento. Ao tornar os requisitos técnicos mais transparentes e acessíveis, a plataforma estimula a participação de novos proponentes e fortalece a cultura de inovação.

Dessa forma, o produto não apenas apoia a tomada de decisão organizacional, mas também promove inclusão científica e tecnológica.

Em síntese, a pesquisa contribui ao propor um modelo sistemático e digital de diagnóstico da maturidade tecnológica. A plataforma desenvolvida traduz referenciais internacionais em um instrumento acessível e padronizado, capaz de apoiar a tomada de decisão, qualificar avaliações institucionais e ampliar o acesso de organizações a programas de financiamento à inovação.

Considerando essas contribuições amplas, torna-se pertinente avaliar os impactos diretos da ferramenta nos níveis organizacional, social e local, conforme discutido na próxima seção.

#### **4.4 IMPACTO ORGANIZACIONAL, SOCIAL E LOCAL**

No âmbito organizacional, a plataforma funciona como instrumento de diagnóstico estratégico, permitindo que empresas e instituições compreendam sua posição tecnológica e planejem investimentos em pesquisa e desenvolvimento de forma mais eficiente.

O impacto social manifesta-se na ampliação das oportunidades de geração de renda, inovação e competitividade, especialmente para micro e pequenas empresas. A OCDE (2018) destaca que políticas eficazes de inovação dependem da capacidade de transformar conhecimento em valor econômico e social.

Em nível local, a plataforma pode atuar como catalisadora de ecossistemas regionais de inovação, fortalecendo a interação entre empresas, universidades e governo, fazendo jus ao Marco Legal da Ciência, Tecnologia e Inovação (Lei nº 13.243/2016).

Além disso, a possibilidade de uso por instituições de apoio empresarial e incubadoras amplia o alcance da solução, permitindo que a ferramenta seja incorporada a programas de capacitação e aceleração.

Assim, o impacto da plataforma transcende o indivíduo, repercutindo no desenvolvimento territorial e na consolidação de ambientes inovadores.

Para compreender plenamente o potencial transformador da solução, é necessário analisar seu grau de inovação e complexidade, conforme apresentado na seção seguinte.

#### 4.5 GRAU DE INOVAÇÃO E COMPLEXIDADE

A Plataforma Virtual de Maturidade Tecnológica apresenta alto grau de inovação, com potencial disruptivo. Embora baseada em um modelo consolidado internacionalmente, sua inovação reside na adaptação metodológica, acessibilidade digital e aplicação orientada ao contexto brasileiro.

A originalidade do produto está na integração entre auditoria tecnológica, TRL e mecanismos de fomento em um único instrumento de fácil utilização. Não se trata apenas de medir maturidade tecnológica, mas de orientar estrategicamente o usuário rumo à elegibilidade para financiamento.

Quanto à complexidade, o sistema envolve múltiplas dimensões conceituais e técnicas, incluindo estruturação normativa, modelagem de algoritmo de classificação e desenvolvimento de interface digital.

A prototipagem no *Google Forms* reduz barreiras iniciais de implementação, enquanto a versão web amplia a capacidade de processamento e disseminação.

O produto demonstra, portanto, viabilidade técnica, relevância científica e alto potencial de impacto, características esperadas de um produto tecnológico (GIL, 2008).

Após apresentação detalhada do produto e análise de sua aplicação prática, será apresentado a seguir os resultados e discussões, seguido pela conclusão da pesquisa.

#### 4.6 TESTE E VALIDAÇÃO DO PRODUTO TÉCNICO TECNOLÓGICO

A etapa de testagem e validação do Produto Técnico Tecnológico, proposto nesta pesquisa, torna-se fundamental a utilização de bases reais e confiáveis, que permitam a comparação entre os níveis de maturidade tecnológica, identificados pela ferramenta desenvolvida, e aqueles já atribuídos por instituições reconhecidas. Nesse contexto, destaca-se o papel do site Integra do Instituto Federal Goiano (<https://integra.ifgoiano.edu.br/>), uma plataforma institucional voltada à divulgação de projetos tecnológicos, de pesquisa aplicada, de inovação e de oportunidades de transferência de tecnologia para o setor produtivo.

O Integra IF Goiano configura-se como um ambiente digital estratégico que aproxima a produção científica e tecnológica da instituição com o mercado, promovendo a visibilidade

de soluções desenvolvidas, no âmbito acadêmico, e incentivando sua aplicação prática. Dentre suas funcionalidades, destaca-se a aba denominada “Vitrine Tecnológica”, que reúne um conjunto de projetos com potencial de inovação, disponíveis para parcerias, licenciamento e transferência de tecnologia. Nessa data, essa aba apresenta 298 projetos cadastrados (dados apresentados no site Integra IF Goiano), contemplando diferentes áreas do conhecimento, com forte presença nas áreas de agronegócio, engenharias e tecnologias aplicadas.

Cada projeto disponibilizado na Vitrine Tecnológica é acompanhado de um resumo descritivo, no qual são apresentadas as principais características da solução, identificação dos autores envolvidos, a definição do problema que a tecnologia se propõe a solucionar, bem como sua aplicabilidade no contexto produtivo e/ou social. Além disso, um elemento central para esta pesquisa é a explicitação do Nível de Maturidade Tecnológica (*Technology Readiness Level – TRL*) diretamente na página de cada projeto. Essa informação, apresentada de forma clara, permite compreender o grau de desenvolvimento da tecnologia, desde fases iniciais de pesquisa até estágios mais avançados próximos da comercialização. Esses elementos contribuem significativamente para a compreensão inicial do estágio de desenvolvimento das soluções disponibilizadas, além de favorecer a aproximação entre a academia e o mercado.

Embora a plataforma forneça uma visão geral, relevante, sobre cada tecnologia, verificou-se que, para uma análise mais precisa e criteriosa do nível de maturidade tecnológica atribuído, faz-se necessária a obtenção de informações mais detalhadas, especialmente no que se refere às evidências técnicas, metodológicas e experimentais que fundamentam a classificação do TRL. Isso ocorre porque a correta identificação do nível de maturidade tecnológica exige a verificação de aspectos como validação experimental, testes em ambiente relevante, desenvolvimento de protótipos e comprovação de desempenho (ABNT, 2015).

Dessa forma, considerando que o acervo de tecnologias, disponibilizado na plataforma Integra IF Goiano é, em grande parte, oriundo de trabalhos acadêmicos desenvolvidos por discentes da instituição, fazendo-se necessário, realizar uma busca criteriosa, sistemática e aprofundada pelas produções acadêmicas relacionadas, já que o Integra não a referida produção. O objetivo dessa etapa foi identificar, localizar e analisar os trabalhos que deram origem às tecnologias expostas, na Vitrine Tecnológica, e que apresentam a indicação de TRL, possibilitando, assim, a verificação da coerência entre o nível de maturidade declarado e as evidências descritas nos documentos acadêmicos.

Essa estratégia metodológica permite não apenas validar as classificações de TRL apresentadas na plataforma institucional, mas também aprofundar a compreensão sobre o

processo de desenvolvimento das tecnologias analisadas, contribuindo para uma avaliação mais robusta e fundamentada (PHAAL, FARRUKH, PROBERT, 2004).

Conforme citado acima, após busca criteriosa, sistemática e aprofundada no acervo acadêmico do Instituto Federal Goiano, foi possível identificar um conjunto de cinco produções acadêmicas, diretamente relacionadas a tecnologias publicadas na aba “Vitrine Tecnológica” da plataforma Integra IF Goiano. Essa etapa verifica a funcionalidade do protótipo proposto nesta dissertação, realizando o cruzamento das informações identificadas e as evidências técnicas descritas nos trabalhos acadêmicos que originaram tais tecnologias.

#### 4.6.1 PROJETOS PARTICIPANTES DA TESTAGEM

A seleção dessas produções considerou como critério principal a existência simultânea da tecnologia publicada na Vitrine Tecnológica com indicação explícita do Nível de Maturidade Tecnológica (TRL) e a disponibilidade pública do respectivo trabalho acadêmico. Como resultado, foram identificados cinco projetos, oriundos de Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC), dissertações e teses, os quais serviram como base empírica para a análise comparativa.

Os projetos que contribuíram com o processo de testagem do protótipo são apresentados a seguir, com a respectiva denominação da tecnologia na plataforma Integra IF Goiano, o título do trabalho acadêmico correspondente, links no corpo do texto para facilitar a verificação e validação de informações, e a TRL apresentada pela página virtual do Integra IF Goiano:

Quadro 13: Projetos Participantes da Testagem

<b>Projeto 1</b>	<b>DIA – Software de Dimensionamento de Irrigação por Aspersão</b>
<b>Autor</b>	BAILÃO, BARROS, 2025
<b>Endereço eletrônico do projeto (Integra IF Goiano)</b>	<a href="https://integra.ifgoiano.edu.br/t/dia---software-de-dimensionamento-de-irrigacao-por-aspersao-311">https://integra.ifgoiano.edu.br/t/dia---software-de-dimensionamento-de-irrigacao-por-aspersao-311</a>
<b>Título da produção acadêmica</b>	@Dia Aplicativo Para Dimensionamento de Irrigação Por Aspersão
<b>Endereço eletrônico da produção acadêmica</b>	<a href="https://repositorio.ifgoiano.edu.br/handle/prefix/5164">https://repositorio.ifgoiano.edu.br/handle/prefix/5164</a>
<b>TRL indicado na página Integra</b>	4 – Validação de componentes em ambiente de laboratório

<b>Projeto 2</b>	<b>Sistema de Irrigação Fuzzy Inteligente</b>
<b>Autor</b>	BAILÃO, NOVAK, 2026
<b>Endereço eletrônico do projeto (Integra IF Goiano)</b>	<a href="https://integra.ifgoiano.edu.br/t/sistema-de-irrigacao-fuzzy-inteligente">https://integra.ifgoiano.edu.br/t/sistema-de-irrigacao-fuzzy-inteligente</a>
<b>Título da produção acadêmica</b>	Sistema De Irrigação Inteligente Baseado Em Lógica Fuzzy Integrado Com Internet Das Coisas Para A Cultura Do Tomate Cereja
<b>Endereço eletrônico da produção acadêmica</b>	<a href="https://repositorio.ifgoiano.edu.br/bitstream/prefix/6089/1/dissertacao_RIIF.pdf">https://repositorio.ifgoiano.edu.br/bitstream/prefix/6089/1/dissertacao_RIIF.pdf</a>
<b>TRL indicado na página Integra</b>	4 – Validação de componentes em ambiente de laboratório
<b>Projeto 3</b>	<b>ISOQUIIF – Uma Ferramenta Educacional Pública para o Ensino da Isomeria Química</b>
<b>Autor</b>	MARTINS <i>ET AL</i> , 2025
<b>Endereço eletrônico do projeto (Integra IF Goiano)</b>	<a href="https://integra.ifgoiano.edu.br/t/isoquiif---uma-ferramenta-educacional-publica-para-o-ensino-da-isomeria-quimica">https://integra.ifgoiano.edu.br/t/isoquiif---uma-ferramenta-educacional-publica-para-o-ensino-da-isomeria-quimica</a>
<b>Título da produção acadêmica</b>	ISOQUIIF: Um Novo Software Educacional Gratuito Para O Ensino Da Isomeria Química
<b>Endereço eletrônico da produção acadêmica</b>	<a href="https://revistas.unila.edu.br/eqpv/article/view/5322/4405">https://revistas.unila.edu.br/eqpv/article/view/5322/4405</a>
<b>TRL indicado na página Integra</b>	4 – Validação de componentes em ambiente de laboratório
<b>Projeto 4</b>	<b>Aplicativo para Suporte e Gestão para os Produtores Rurais – ADP Flutter</b>
<b>Autor</b>	OLIVEIRA, SILVA, 2022
<b>Endereço eletrônico do projeto (Integra IF Goiano)</b>	<a href="https://integra.ifgoiano.edu.br/t/aplicativo-para-suporte-e-gestao-aos-produtores-rurais---adp-flutter">https://integra.ifgoiano.edu.br/t/aplicativo-para-suporte-e-gestao-aos-produtores-rurais---adp-flutter</a>
<b>Título da produção acadêmica</b>	Desenvolvimento De Um Aplicativo Em Flutter Para Auxiliar No Manejo De Irrigação
<b>Endereço eletrônico da produção acadêmica</b>	<a href="https://repositorio.ifgoiano.edu.br/handle/prefix/2861">https://repositorio.ifgoiano.edu.br/handle/prefix/2861</a>
<b>TRL indicado na página Integra</b>	4 – Validação de componentes em ambiente de laboratório
<b>Projeto 5</b>	<b>Mapa do Ecosystema Inovador</b>
<b>Autor</b>	DIAS, GUIMARÃES, VILLAS BOAS, 2026
<b>Endereço eletrônico do projeto (Integra IF Goiano)</b>	<a href="https://integra.ifgoiano.edu.br/vitrine/mapa-do-ecosistema-inovador">https://integra.ifgoiano.edu.br/vitrine/mapa-do-ecosistema-inovador</a>

<b>Título da produção acadêmica</b>	Ecosistema de inovação em rio verde/go: interações, atores e estratégias para o desenvolvimento regional
<b>Endereço eletrônico da produção acadêmica</b>	
<b>TRL indicado na página Integra</b>	1 – Princípios básicos observados e relatados

Fonte: Elaboração da autora (2026)

A identificação das produções acadêmicas permitiu avançar para uma análise mais profunda, dos níveis de maturidade tecnológica apresentados pela plataforma Integra, possibilitando a verificação da coerência entre o TRL declarado e as evidências técnicas descritas nos respectivos trabalhos acadêmicos. Essa abordagem está alinhada às recomendações da literatura, que enfatiza a necessidade de fundamentação empírica e documental para a correta classificação dos níveis de maturidade tecnológica (MANKINS, 1995).

Dessa forma, o conjunto dessas cinco produções acadêmicas constitui a base de validação do protótipo desenvolvido, permitindo não apenas testar a aplicabilidade da ferramenta, mas também contribuir para a discussão acerca de sua efetividade, e estruturação dos processos de mensuração da maturidade tecnológica, no contexto acadêmico e institucional.

Cada projeto acima identificado passou pela Plataforma Virtual de Maturidade Tecnológica e teve seu TRL identificado, vale ressaltar que em alguns casos, é comum identificar a fase de transição entre os níveis, segue abaixo os TRL's de cada projeto, identificados pela Plataforma, bem como uma análise de cada resultado:

**Projeto 1: DIA – Software de Dimensionamento de Irrigação por Aspersão (BAILÃO, BARROS, 2025)**

TRL classificado pela Plataforma Virtual de Maturidade Tecnológica: 6 – Demonstração de Protótipo em Ambiente Relevante

Essa classificação justifica-se pela existência de um protótipo funcional completo, com integração entre interface, processamento e banco de dados, além da implementação integral das funcionalidades do projeto. Evidenciam-se ainda testes e experimentos realizados em diferentes cenários, bem como a demonstração operacional do sistema,

com geração e exportação de resultados técnicos, indicando sua aplicabilidade prática em contexto relevante.

Adicionalmente, a solução apresenta interação com o usuário e capacidade de simulação de situações reais, o que reforça seu estágio avançado de desenvolvimento. Contudo, a ausência de validação contínua em ambiente operacional real e de inserção no mercado impede sua classificação em níveis superiores (TRL 7 a 9), conforme recomendado por modelos de maturidade tecnológica (ISO, 2015).

Dessa forma, conclui-se que o projeto atinge o TRL 6, evidenciando um protótipo tecnológico consolidado, validado em ambiente relevante e com potencial de evolução para níveis mais elevados de maturidade.

### **Projeto 2: Sistema de Irrigação Fuzzy Inteligente (BAILÃO, NOVAK, 2026)**

TRL classificado pela Plataforma Virtual de Maturidade Tecnológica: 6 – Demonstração de Protótipo em Ambiente Relevante

O sistema de irrigação inteligente baseado em lógica Fuzzy desenvolvido por Novak (2025) apresenta elevado grau de maturidade tecnológica nos níveis iniciais e intermediários da escala TRL, evidenciando consolidação conceitual, modelagem estruturada, implementação prática e validação experimental controlada. A tecnologia demonstra desempenho mensurável e superior aos métodos tradicionais, com evidências robustas oriundas de experimentos estatísticos. Contudo, limita-se ao ambiente laboratorial e protegido, não tendo sido ainda validada em condições reais de operação agrícola, tampouco submetida a processos de certificação, escalabilidade ou comercialização. Dessa forma, classifica-se predominantemente entre os níveis TRL 5 e TRL 6, caracterizando-se como uma tecnologia promissora em fase de demonstração, com potencial de avanço mediante validações em campo e inserção no mercado.

### **Projeto 3: ISOQUIIF – Uma Ferramenta Educacional Pública para o Ensino da Isomeria Química (MARTINS *ET AL*, 2025)**

TRL classificado pela Plataforma Virtual de Maturidade Tecnológica: 6 – Demonstração de Protótipo em Ambiente Relevante

O projeto ISOQUIIF apresenta um nível de maturidade tecnológica classificado como TRL 6, saindo do TRL 5 (Validação em ambiente relevante) bem próximo do TRL 6, caracterizado pela demonstração de um sistema integrado funcional em ambiente relevante. Evidências empíricas indicam que a solução foi aplicada em contexto real de ensino, envolvendo usuários finais (professores e estudantes), com resultados mensuráveis relacionados à experiência do usuário e à utilidade pedagógica. Contudo, observa-se a ausência de processos formais de qualificação técnica, certificação, análise de confiabilidade e operação contínua, o que impede sua classificação em níveis mais avançados de maturidade tecnológica.

**Projeto 4: Aplicativo para Suporte e Gestão Para os Produtores Rurais – ADP Flutter (OLIVEIRA, SILVA, 2022)**

TRL classificado pela Plataforma Virtual de Maturidade Tecnológica: 6 – Demonstração de Protótipo em Ambiente Relevante (transição entre 5 e 6)

O projeto apresenta um protótipo funcional desenvolvido em ambiente computacional, com integração de componentes tecnológicos e validação por meio de testes de usabilidade com usuários reais. Os resultados obtidos, ainda que preliminares, demonstram desempenho operacional básico e aceitação do sistema, caracterizando um estágio de demonstração tecnológica. Contudo, não há evidências de validação em ambiente operacional real, certificações ou inserção no mercado, o que limita sua classificação aos níveis intermediários de maturidade tecnológica, especificamente ao TRL 6.

**Projeto 5: Mapa do Ecossistema Inovador (DIAS, GUIMARÃES, VILLAS BOAS, 2026)**

TRL classificado pela Plataforma Virtual de Maturidade Tecnológica: 4 – Validação de Componentes em Ambiente de Laboratório

O projeto analisado apresenta sólida fundamentação teórica, sustentada por revisão sistemática da literatura e ampla base conceitual acerca dos ecossistemas de inovação, o que evidencia pleno atendimento aos níveis iniciais de maturidade tecnológica (TRL 1 a TRL 3). Adicionalmente, observa-se a proposição e desenvolvimento de um produto técnico tecnológico, caracterizado por um software interativo voltado à visualização das dinâmicas do ecossistema regional, o que indica a presença de elementos de prova de conceito (TRL 4).

O projeto indica aspectos essenciais para a progressão aos níveis subsequentes da escala TRL, rumo a evidências de validação experimental. Dessa forma, conclui-se que a tecnologia se encontra em estágio intermediário, situada no nível TRL 4, com potencial de evolução para TRL 5 mediante progressão da realização de validações laboratoriais estruturadas, testes funcionais e documentação técnica do desempenho do sistema.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O principal resultado desta pesquisa consiste na concepção, prototipagem e validação inicial, de uma plataforma digital capaz de diagnosticar o Nível de Maturidade Tecnológica (TRL) de projetos, produtos, organizações ou soluções.

A ferramenta foi inicialmente implementada na forma de protótipo utilizando a plataforma *Google Forms*, o que possibilitou testar a clareza das perguntas, a lógica de progressão entre os níveis de maturidade e a viabilidade operacional do instrumento. Posteriormente, foi concebida a estrutura para uma página web dedicada, com potencial para automatizar a análise das respostas e gerar relatórios diagnósticos.

O questionário desenvolvido pela autora consolidou contribuições de diferentes referenciais institucionais (ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, ITA – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, MCTI – Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação e NASA – *National Aeronautics and Space Administration*), resultando em um instrumento adaptado à realidade brasileira. Essa integração metodológica permitiu contemplar desde aspectos científicos iniciais até a validação em ambiente operacional, correspondendo às nove escalas TRL descritas na literatura (MANKINS, 1995).

Os resultados indicam que o instrumento é capaz de:

- Identificar o estágio de desenvolvimento tecnológico de forma sistemática;
- Orientar o usuário sobre os requisitos necessários para avançar ao próximo nível;

- Reduzir ambiguidades na interpretação dos critérios de maturidade tecnológica;
- Apoiar a tomada de decisão estratégica para inovação.

A estrutura digital demonstrou potencial de escalabilidade e replicabilidade, podendo ser utilizada por organizações de diferentes setores e portes.

A aplicação do protótipo aconteceu em cinco produções tecnológicas, identificadas na vitrine do Integra IF Goiano, os quais possuem vínculo com produções acadêmicas (TCC's, dissertações ou projetos de desenvolvimento tecnológico). Cada projeto foi submetido ao instrumento diagnóstico, respondendo às perguntas estruturadas por nível de TRL. O processo permitiu:

- Identificar o nível de maturidade tecnológica de cada projeto;
- Verificar a consistência do instrumento;
- Avaliar a clareza e aplicabilidade das perguntas;
- Testar a funcionalidade do protótipo.

Os resultados obtidos demonstraram que o instrumento foi capaz de classificar os projetos de forma coerente com as evidências técnicas apresentadas em seus respectivos trabalhos acadêmicos, mesmo havendo uma variação entre os resultados gerados pela Plataforma Virtual de Maturidade Tecnológica e o Integra IF Goiano.

Essa variação pode ser compreendida à luz das diferenças metodológicas entre os processos de classificação. Enquanto o Integra IF Goiano apresenta os níveis de TRL como parte de um processo declaratório ou institucional, muitas vezes associado ao momento de submissão ou registro da tecnologia, a plataforma desenvolvida nesta pesquisa baseia-se em um instrumento estruturado, composto por perguntas sistemáticas e evidências objetivas, alinhadas às diretrizes da ISO 16290:2015 e aos modelos da NASA.

Nesse sentido, as diferenças identificadas, não devem ser interpretadas como inconsistências ou equívocos, mas sim, como resultados complementares decorrentes de abordagens distintas de avaliação. A utilização de um instrumento diagnóstico mais detalhado tende a promover uma análise mais criteriosa, especialmente no que se refere à comprovação de evidências, validação em ambientes relevantes e maturidade operacional.

Adicionalmente, cabe destacar que o processo de avaliação proposto nesta dissertação incorpora uma lógica orientada por evidências documentais e experimentais, o que pode levar a uma reclassificação mais precisa do estágio tecnológico.

Sob uma perspectiva construtiva, essas diferenças representam uma oportunidade de aprimoramento, dos processos de avaliação da maturidade tecnológica para os projetos, e também para todas as instituições que utilizam essa classificação.

Conforme destacado por VALLE (2025), instrumentos mais robustos e estruturados de avaliação da inovação são fundamentais para ampliar a efetividade dos mecanismos de financiamento e para reduzir assimetrias de informação entre proponentes e avaliadores.

Dessa forma, os resultados desta análise comparativa reforçam que a plataforma proposta não apenas cumpre seu papel de diagnóstico, mas também atua como um instrumento de qualificação e refinamento das avaliações de maturidade tecnológica, contribuindo para o fortalecimento do ecossistema de inovação.

Além disso, a plataforma mostrou-se eficaz para evidenciar lacunas críticas, como carência de validação experimental, de protótipos funcionais e de testes em ambiente real, fatores determinantes para a elegibilidade em editais de fomento.

Segundo Phaal, Farrukh e Probert (2004), instrumentos estruturados de planejamento tecnológico auxiliam organizações a alinhar recursos, capacidades e estratégias de inovação. Nesse sentido, a plataforma atua como ferramenta de orientação tecnológica e não apenas de diagnóstico.

Os resultados obtidos, confirmam a relevância dos TRL's, como instrumento de avaliação tecnológica amplamente reconhecido internacionalmente. Conforme Mankins (1995), a principal função da escala TRL é reduzir riscos tecnológicos ao fornecer uma métrica objetiva do progresso da tecnologia.

A adaptação do modelo para uma ferramenta digital acessível amplia significativamente sua utilidade social, especialmente para pequenas empresas e empreendedores individuais, que geralmente não dispõem de suporte técnico especializado.

De acordo com o Manual de Oslo, a inovação depende da capacidade das organizações de transformar conhecimento em aplicações econômicas e sociais (OCDE, 2018). A plataforma contribui diretamente para esse processo ao orientar o desenvolvimento tecnológico de forma estruturada.

Sob a perspectiva dos sistemas de inovação, Cassiolato e Lastres (2005) destacam que o desenvolvimento depende da interação entre atores institucionais e da difusão do conhecimento. Ao facilitar o acesso aos mecanismos de fomento, a ferramenta fortalece essa dinâmica.

O potencial de impacto da Plataforma Virtual de Maturidade Tecnológica é significativo, especialmente no contexto de democratização do acesso à inovação. A ferramenta pode contribuir para:

- Aumento da qualidade das propostas submetidas a editais;
- Redução da taxa de reprovação por inadequação tecnológica;
- Fortalecimento da cultura de planejamento tecnológico;
- Desenvolvimento econômico regional.

Entretanto, algumas limitações devem ser consideradas. A versão prototipada ainda não incorpora algoritmos avançados de análise nem integração com bases de dados institucionais. Além disso, a avaliação depende da veracidade das informações fornecidas pelo usuário.

Outra limitação refere-se à necessidade de validação ampliada com amostras maiores e diversificadas, incluindo diferentes setores tecnológicos e níveis de maturidade organizacional.

Apesar dessas limitações, os resultados indicam elevada viabilidade técnica e relevância social do produto, justificando sua evolução para versões mais robustas.

## **6. CONCLUSÃO**

A presente dissertação teve como objetivo propor uma Plataforma Virtual de Maturidade Tecnológica baseada nos Níveis de Maturidade Tecnológica (TRL's), concebida como instrumento de diagnóstico capaz de orientar a tomada de decisão e facilitar o acesso a mecanismos de fomento à inovação.

Os resultados alcançados demonstram que o objetivo geral foi plenamente atendido. O produto desenvolvido constitui uma solução inovadora e aplicável, capaz de diagnosticar o estágio de desenvolvimento tecnológico de projetos e organizações de forma sistemática, acessível e alinhada aos referenciais internacionais.

A pesquisa evidenciou que a principal dificuldade enfrentada por empreendedores não está na ausência de ideias inovadoras, mas na carência de instrumentos que permitam compreender e comunicar adequadamente o nível de maturidade de suas tecnologias, o que os tornam elegíveis à captação de recursos e fomento. Nesse contexto, a plataforma atua como mediadora entre o conhecimento técnico e as exigências institucionais dos editais de inovação.

Do ponto de vista científico, o trabalho contribui para a área de gestão da inovação, ao transformar um modelo conceitual, amplamente reconhecido (TRL's), em um instrumento digital operacional adaptado à realidade brasileira. Tal contribuição é particularmente relevante

no âmbito de um mestrado profissional, cujo foco é a aplicação do conhecimento para resolução de problemas concretos.

Sob a perspectiva social, o produto possui potencial transformador ao contribuir com a democratização do acesso aos programas de fomento, reduzir disparidades e estimular a participação de novos atores no ecossistema de inovação. Ao desmistificar os processos burocráticos e oferecer orientação clara sobre os requisitos tecnológicos, a plataforma pode contribuir para a geração de emprego, renda e desenvolvimento regional.

No âmbito organizacional, a ferramenta funciona como instrumento estratégico de planejamento tecnológico, permitindo que empresas definam prioridades de investimento em pesquisa e desenvolvimento e reduzam riscos associados à inovação.

Entretanto, a pesquisa também evidenciou a necessidade de aprimoramentos futuros, incluindo:

- Desenvolvimento da versão completa em ambiente web;
- Integração com bases de dados de editais e instituições de fomento;
- Implementação de relatórios personalizados com recomendações automáticas;
- Ampliação da validação empírica com diferentes perfis de usuários;
- Possibilidade de uso institucional por Instituições Promotoras de Inovação, incubadoras, parques tecnológicos, agências de inovação, instituições de forma geral, que utilizam a referida classificação.

Como trabalhos futuros, sugere-se a incorporação de técnicas de inteligência artificial para análise das respostas e recomendação de estratégias de evolução tecnológica, bem como a adaptação da ferramenta para contextos internacionais.

Conclui-se, portanto, que a Plataforma Virtual de Maturidade Tecnológica representa um instrumento viável, relevante e socialmente necessário, capaz de aproximar empreendedores dos mecanismos de fomento, promover a qualificação das propostas, dos processos internos nas instituições e contribuir para a construção de um ambiente de inovação mais inclusivo e eficiente.

## REFERÊNCIAS

- ABBAS, Muhammad; SHAHZAD, Asjad. **The impact of technology audit on technological capabilities in training institutes of Pakistan**. Journal of Engineering Management and Competitiveness (JEMC), Zrenjanin, v. 12, n. 2, p. 151–164, 2022. Available at: <https://scindeks.ceon.rs/Article.aspx?artid=2334-96382202151S>. DOI: 10.5937/JEMC2202151S. Accessed on: Out 23, 2024.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR ISO 16290:2015. **Sistemas espaciais — Definição dos níveis de maturidade tecnológica (TRL) e critérios de avaliação**. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.
- AEVO; INVENTTA. **Mapa da Inovação Corporativa: uma análise do nível de maturidade da gestão da inovação brasileira**. [S. l.]: AEVO; Inventta, 2022. Disponível em: <http://diagnosticodeinovacao.com.br>. Acesso em: 01 dezembro 2024.
- ANDRADE, Maria Hermínia; COSTA, Maria do Céu; GIL, Luis. **Os TRL (Technology Readiness Levels) como ferramenta na avaliação tecnológica**. Ongenium, Lisboa, n. 137, p. 94-96, jan/fev 2014.
- ANDRADE, Pedro Paulo; BACK, Luani; KOVALESKI, João Luiz. **Transferência e auditoria tecnológica no processo de determinação de estratégias tecnológicas: estudo de caso**. Revista Produção Online, Florianópolis, v. 14, n. 1, p. 171–194, jan./mar. 2014. DOI: <https://doi.org/10.14488/1676-1901.v14.i1.1573>.
- APGAR, H.; ROY, P.; WOLFARTH, L. **The Application of TRL Metrics to Cost Estimation of Space Systems**. IEEE Aerospace Conference, 2011.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Gestão da inovação — Avaliação da maturidade da gestão da inovação**. ABNT NBR ISO 16290:2015. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.
- BAILÃO, Adriano; BARROS, Gustavo. **@Dia aplicativo para dimensionamento de irrigação por aspersão**. 2025. 50 folhas. Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação em Ciências da Computação – Instituto Federal Goiano, Rio Verde, 2025.
- BAILÃO, Adriano; NOVAK, Sergio. **Sistema de irrigação inteligente baseado em lógica fuzzy integrado com internet das coisas para a cultura do tomate cereja**. 2026. 75 folhas. Dissertação de Mestrado em Ciências Agrárias – Instituto Federal Goiano, Rio Verde, 2026.
- BARDIN, Laurence. **Análise de conteúdo**. São Paulo: Edições 70, 2011.
- BASQUEROTTO, C.; CARDOSO, S.; LOVATI, K.; SANTOS, F. **Prototipagem de implantação de calculadora tecnológica para avaliação de nível de maturidade tecnológica (TRL) na empresa Vale S/A**. Revista de Inovação e Tecnologia - RIT, São Paulo, Brasil, v. 14, n. 2, p. 80–94, 2025. Disponível em: <https://rit.openjournalsolutions.com.br/index.php/rit/article/view/151>. Acesso em: 03 ago. 2025.
- BERGAMINI, Ricardo Luiz. **Avaliação do nível de maturidade de tecnologia (TRL) nas instituições de ciência e tecnologia (ICTs) com o modelo adaptado da AFRL – Air Force**

**Research Laboratory.** Revista de Administração de Roraima – RARR, Boa Vista, v. 10, 2020. Disponível em: <https://revista.ufrb.br/adminrr/article/view/5738>. Acesso em: 18 maio 2025. DOI: 10.18227/2237-8057rarr.v10i0.5738.

BRANAS, B. et al. **TRL analysis of IFMIF-DONES.** Fusion Engineering and Design, v. 202, 114328, 2024. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.fusengdes.2024.114328>. Accessed on: Nov 13, 2024.

BRASIL. **Decreto nº 9.283, de 7 de fevereiro de 2018.** Regulamenta a Lei nº 10.973, de 2 de dezembro de 2004, a Lei nº 13.243, de 11 de janeiro de 2016, e estabelece medidas de incentivo à inovação e à pesquisa científica e tecnológica no ambiente produtivo. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 8 fev. 2018. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2015-2018/2018/decreto/D9283.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/decreto/D9283.htm). Acesso em: 04 janeiro 2025.

BRASIL. **Emenda Constitucional nº 85, de 26 de fevereiro de 2015.** Altera e adiciona dispositivos na Constituição Federal para atualizar o tratamento das atividades de ciência, tecnologia e inovação. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 27 fev. 2015. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/constituicao/emendas/emc/emc85.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/emendas/emc/emc85.htm). Acesso em: 04 janeiro 2025.

BRASIL. **Lei nº 10.973, de 2 de dezembro de 2004.** Dispõe sobre incentivos à inovação e à pesquisa científica e tecnológica no ambiente produtivo e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 3 dez. 2004. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2004-2006/2004/lei/110.973.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/lei/110.973.htm). Acesso em: 04 janeiro 2025.

BRASIL. **Lei nº 13.243, de 11 de janeiro de 2016.** Dispõe sobre estímulos ao desenvolvimento científico, à pesquisa, à capacitação científica e tecnológica e à inovação. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 12 jan. 2016. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2015-2018/2016/lei/113243.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2016/lei/113243.htm). Acesso em: 04 janeiro 2025.

BRASIL. **Marco Legal da Ciência, Tecnologia e Inovação: Emenda Constitucional nº 85, de 26 de fevereiro de 2015; Lei nº 13.243, de 11 de janeiro de 2016; Decreto nº 9.283, de 7 de fevereiro de 2018.** Brasília, DF: Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações, 2018. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti>. Acesso em: 01 maio 2025.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI). **Calculadora de Nível de Maturidade Tecnológica (TRL).** Brasília: MCTI, 2019.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. **Calcule a maturidade da tecnologia.** Disponível em: <https://vitrinetecnologica.mec.gov.br/>. Acesso em: 19 mar. 2026.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações. Portaria nº 6.449, de 17 de outubro de 2022. **Estabelece os níveis de maturidade tecnológica (Technology Readiness Levels — TRL).** Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 18 out. 2022. Disponível em: <https://www.in.gov.br>. Acesso em: 18 jul. 2025.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações. Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP). **Seleção Pública MCTI/FINEP/FNDCT — Subvenção Econômica à Inovação — 04/2020.** Brasília: MCTI/FINEP, 2020.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações. Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP). **Seleção Pública MCTI/FINEP/FNDCT — Subvenção Econômica à Inovação — 04/2020 – ANEXO 01**. Brasília: MCTI/FINEP, 2020.

BRASIL. Ministério da Educação (MEC). Secretaria de Educação Superior. **Vitrine MEC de Tecnologias: calcule a maturidade da tecnologia**. Brasília, [2022]. Disponível em: < [Calcule a Maturidade da Tecnologia](#) >. Acesso em: 23 mar. 2025.

BESSANT, John; TIDD, Joe. **Entrepreneurship**. Londres: Workbook, 2015.

CADENA, Maribel; CALERO, Luis; CASTAÑEDA, Zaira; GARCÍA, Cynthia; HERNÁNDEZ, Kenia; IBÁÑEZ, Christopher. Technological audit using process flow technology diagram. *Investigium IRE*, Pachuca, v. 9, n. 17, p. 45–52, Jan./Jun. 2014. Available at: <https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/investigium/article/view/2420/2429>. Accessed on: Dec 01, 2024.

CANCELLIER, Éverton Luís; KOERICH, Grazielle. **Inovação frugal: origens, evolução e perspectivas futuras**. Cadernos EBAPE.BR, Rio de Janeiro, v. 17, n. 4, p. 1079–1093, out./dez. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/1679-395174424>.

CARULLA, Luis; LUKERSMITH, Sue; MIQUEL, Carlota; WOODS, Cindy. **Adapting technology readiness levels for impact assessment in implementation science: the TRL-IS checklist**. *Heliyon*, v. 10, e29930, 2024. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e29930>. Accessed on: Nov 13, 2024.

CARVALHO, S. M. S.; CUNHA, J. C.; LOPES, A. C. C; MARTIN, A. R. **Classificação dos Instrumentos de Captação de Recursos para Apoio à Inovação do Governo Federal na Escala de Prontidão Tecnológica (TRL)**. *Cadernos de Prospecção, [S. l.]*, v. 13, n. 1, p. 78, 2020. DOI: [10.9771/cp.v13i1.32726](https://doi.org/10.9771/cp.v13i1.32726). Disponível em: <https://periodicos.ufba.br/index.php/nit/article/view/32726>. Acesso em: 17 fev. 2026.

CASSIOLATO, J. E.; LASTRES, H. M. M. **Sistemas de inovação e desenvolvimento: as implicações de política**. *São Paulo em Perspectiva*, São Paulo, v. 19, n. 1, p. 34–45, jan./mar. 2005.

CHEREPANOVA, Victoria; DOLYNA, Iryna; KOLOTIUK, Olena; KOSENKO, Oleksandra; MATROSOVA, Viktoria. **Assessment of the market potential of innovative technology based on technology audit**. *Innovative Marketing*, Sumy, v. 15, n. 2, p. 30–41, 2019. DOI: [10.21511/im.15\(2\).2019.03](https://doi.org/10.21511/im.15(2).2019.03). Available at: <https://www.businessperspectives.org/journals/innovative-marketing/issue-321/evaluation-of-innovative-technology-market-potential-on-the-basis-of-technology-audit>. Accessed on: Out 23, 2024.

CNI – Confederação Nacional da Indústria. **Mapa Estratégico da Indústria 2013-2022**. Brasília: CNI, 2013.

CRESWELL, John W. **Investigação qualitativa e projeto de pesquisa: escolhendo entre cinco abordagens**. 3. ed. Porto Alegre: Penso, 2014.

DIAS, Marco Antônio; GUIMARÃES, Ítalo; VILLAS BOAS, Michele. **Ecosistema de inovação em rio verde/go: interações, atores e estratégias para o desenvolvimento**

**regional.** Dissertação de Mestrado Profissional em Administração – Instituto Federal Goiano, Rio Verde, 2026.

DINIZ, Michely Correia. **Entenda o Nível de Maturidade Tecnológica ou TRL (Technology Readiness Level) ou MRL (Manufacturing Readiness Levels) de um produto ou processo.** Portfólio de Tecnologias. UNIVASF. 2021. Disponível em: Nível de Maturidade Tecnológica (TRL/MRL) — NIT Núcleo de Inovação Tecnológica. Acesso em: 14 jan 2026.

DOSI, Giovanni; PAVITT, Keith; SOETE, Luc. **The Economics of Technical Change and International Trade.** New York: University Press, 1990.

EMBRAPII – Associação Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial. **Manual de Operação EMBRAPII.** 2020.

FAPEG – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás. **CHAMADA PÚBLICA SGG/SECTI/FAPEG Nº 34/2025.** Goiânia – Goiás, 2025.

FIGUEIREDO, Paulo; LEAL, Carlos Ivan. **Inovação tecnológica no Brasil: desafios e insumos para políticas públicas.** Revista de Administração Pública, Rio de Janeiro, v. 55, n. 3, p. 512–537, maio/jun. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/0034-761220200583>.

FINEP – Financiadora de Estudos e Projetos. **Manual de avaliação de projetos de inovação.** Rio de Janeiro: FINEP, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/finep>. Acesso em: 17 jan. 2026.

GAITÁN, Carlos Alberto Garzón. **Technological audits: Ingeniería y Investigación.** Universidad, Bogotá, DC, v. 10, n. 1, p. 29–44, Jan./June 2006. Available at: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/ingein/article/view/21420>. Accessed on: Nov 29, 2024.

GALDINO, Emanuel; VILHA, Anapátricia Morales. **The contribution of the SENAI institutes of innovation in the business innovation environment: a case study of the institutes of the state of São Paulo.** International Journal of Professional Business Review, São Paulo, v. 4, n. 1, p. 1-13, Jan./June 2019. DOI: 10.26668/businessreview/2019.v4i1.108.

GARCÍA, Juan Carlos; LÓPEZ, María Fernanda; MARTÍNEZ, José Luis. **Technological audit using process flow technology diagram.** Investigium IRE, Pachuca, v. 9, n. 17, p. 45–52, Jan./Jun. 2014. Available at: <https://repository.uach.edu.mx/revistas/index.php/investigium/article/view/2420/2429>. Accessed on: Dec 01, 2024.

GIL, Antônio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social.** 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GIL, Antônio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social.** 7. ed. São Paulo: Atlas, 2019.

GIORDANO, Carla Santos de Souza; RIBEIRO, Joana da Fonseca Rosa; JESUS, Andressa Oliveira Costa de. **Technology management in FIRJAN's institutes of innovation and technology: application of technology roadmapping as a planning method.** In: **IAMOT 2021 – Proceedings of the International Association for Management of Technology Conference.** [S. l.]: IAMOT, 2021. Available at: <https://doi.org/10.52202/060557-0094>. Accessed on: Dec 28, 2024.

GOMES, Erasmo; NIRAZAWA, Alyni Nomoto. **Auditorias tecnológica e de inovação: contribuições para pequenas e médias empresas**. Cadernos de Gestão e Empreendedorismo, v. 6, n. 2, p. 38–55, maio/ago. 2018. ISSN 2318-9231. Disponível em: <https://revistas.facear.edu.br/index.php/cadernos/article/view/670>. Acesso em: 09 outubro 2024.

GOVE, R.; MARQUEZ, J.; SAUSER, B.; VERMA, D. **From TRL to SRL: The Concept of Systems Readiness Levels**. Conference on Systems Engineering Research, 2006.

HECKLAU, Fabian; KIDSCHUN, Florian; KOHL, Holger. Technological maturity of applied R&D organizations: evaluation dimensions and items for assessing technological performance. In: **17th EUROPEAN CONFERENCE ON INNOVATION AND ENTREPRENEURSHIP – ECIE 2022, Lisbon. Proceedings [...]**. Reading, UK: Academic Conferences International Limited, 2022. p. 266-274.

HEDENSTROM, A. et al. **Technology readiness levels as a tool for innovation management**. Journal of Engineering and Technology Management, v. 58, p. 1–12, 2020.

HÉDER, Mihály. **From NASA to EU: the evolution of the TRL scale in Public Sector Innovation**. The Innovation Journal: The Public Sector Innovation Journal, v. 22, n. 2, art. 3, 2017. Disponível em: <https://www.innovation.cc/volumes-issues/vol22-no2.htm>. Accessed on: Nov 13, 2024.

INSTITUTO FEDERAL GOIANO. Integra IF Goiano: Vitrine Tecnológica. Disponível em: <https://integra.ifgoiano.edu.br>. Acesso em: 20 mar. 2026.

ISO – **International Organization for Standardization. ISO 16290:2013. Space systems — Definition of the Technology Readiness Levels (TRL's) and their criteria of assessment**. Geneva: ISO, 2013.

JAKUBAVIČIUS, Artūras; VILYS, Mantas. **Technology audit: initial tool for supporting innovation in SMEs**. International Economy: Problems of Innovation and Marketing Management, [s. l.], p. 362–367, 2006. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/267951856>. Accessed on: Out 23, 2024.

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. **Fundamentos de metodologia científica**. 8. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

MANKINS, J. C. **Technology Readiness Levels – A White Paper**. Advanced Concepts Office, Office of Space Access and Technology, NASA, 6 abr. 1995. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/247705707\\_Technology\\_Readiness\\_Level\\_-\\_A\\_White\\_Paper](https://www.researchgate.net/publication/247705707_Technology_Readiness_Level_-_A_White_Paper). Acesso em: 31 jan. 2026.

MARTINS, Marccus; OLIVEIRA, Jocélia; SANTOS, Luiz Gustavo; SOUZA, Alynne Lara. **ISOQUIIF: um novo software educacional gratuito para o ensino da isomeria química**. Revista Eletrônica de Pesquisa em Educação Química, v. 9, p. 412-413, 2025. Disponível em: <https://revistas.unila.edu.br/eqpv/article/download/5322/4405/24776>. Acesso em: 22 mar. 2026.

NASA – National Aeronautics and Space Administration. **Technology readiness level handbook**. Washington, DC: NASA, 2016. Disponível em:

[https://www.nasa.gov/directorates/heo/scan/engineering/technology/technology\\_readiness\\_level](https://www.nasa.gov/directorates/heo/scan/engineering/technology/technology_readiness_level). Acesso em: 06 dez. 2025.

NASA – NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION. **Technology Readiness Assessment Best Practices Guide**. Washington: NASA, 2020.

NUNES, A. **Gestão da informação das indústrias de base nacional: monitoramento permanente de demandas em educação profissional pelo Senai**. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Ciência da Informação da Universidade de Brasília. Brasília: 2014, 248 páginas.

OCDE – ORGANIZAÇÃO PARA A COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO. **Manual de Oslo: Diretrizes para coleta e interpretação de dados sobre inovação**. Paris: 1997.

OCDE – ORGANIZAÇÃO PARA A COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO. **Manual de Frascati: Medição de atividades científicas e tecnológicas**. Paris: 2002.

OCDE – – ORGANIZAÇÃO PARA A COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO. **Manual de Oslo: Diretrizes para a coleta, o relato e o uso de dados sobre inovação**. 4ª ed. Paris: Publicação OCDE, 2018. Disponível em: <https://www.oecd.org/innovation/oslo-manual/>. Acesso em: 21 set. 2025.

OLIVEIRA, Wennys; SILVA, Marlus. **Desenvolvimento de um aplicativo em Flutter para auxiliar no manejo de irrigação**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Instituto Federal Goiano, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ifgoiano.edu.br/handle/prefix/2861>. Acesso em: 21 mar. 2026.

PECQUEUR, Bernard. **Sistemas industriais localizados: o exemplo francês**. Ensaio FEE, Porto Alegre, v. 14, n. 1, p. 26–48, 1993. Tradução: Sueli Cassai.

PEREIRA, Ronam; VASCONCELOS, Eduardo; WAACK, Roberto. **Auditoria tecnológica da empresa: um estudo de caso**. Revista de Administração, São Paulo, v. 25, n.1, p. 32-40, jan/mar 1990.

PEREIRA, Flávio Duque Estrada Soares; VERAS, Carlos Alberto Gurgel. *Escala de Maturidade Tecnológica (TRL)*. Parque Científico e Tecnológico da Universidade de Brasília (PCTec/UnB), 2022. Disponível em: <<https://pctec.unb.br/documentos/179-documentos/142-trl>>. Acesso em: 16 fev 2026.

PHAAL, R.; FARRUKH, C. J. P.; PROBERT, D. R. **Technology roadmapping — A planning framework for evolution and revolution**. *Technological Forecasting and Social Change*, v. 71, n. 1–2, p. 5–26, 2004.

PRESSMAN, Roger S. **Engenharia de software: uma abordagem profissional**. 8. ed. Porto Alegre: AMGH, 2016.

PRODANOV, Cleber Cristiano; FREITAS, Ernani Cesar de. **Metodologia do trabalho científico**. 2. ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

REICHERT, Fernanda Maciel; ZAWISLAK, Paulo Antônio. **Technological capability and firm performance**. *Journal of Technology Management & Innovation*, Santiago, v. 9, n. 4, p. 20–30, Nov. 2014. Available at: <[http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-27242014000400002&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-27242014000400002&lng=es&nrm=iso)>. Accessed on: Out 13, 2024.

RIBEIRO, Fernando. **Estratégias tecnológicas em PME: auditorias tecnológicas**. 2002. 224 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Gestão de Tecnologia) – Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2002.

ROCHA, Daiane. **Uma adaptação da norma NBR ISO 16290:2015 aplicada em projetos do setor aeroespacial**. 2016. 120 f. Dissertação (Mestrado em Ciências e Tecnologias Espaciais — Sistemas Espaciais, Ensaios e Lançamentos) — Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2016.

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL (SENAI). **Institutos SENAI de Inovação: soluções tecnológicas para a indústria**. Brasília: SENAI/DN, 2016. Disponível em: <http://www.institutos.senai.br>. Acesso em: 06 setembro 2023.

STRAUB, Jérémy. **In search of technology readiness level (TRL) 10**. *Aerospace Science and Technology*, v. 46, p. 312–320, 2015. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ast.2015.07.007>. Accessed on: Nov 13, 2024.

TEMAGUIDE. **Pautas Metodológicas em Gestión de la Tecnología y de la Innovación para Empresas**. Módulo I: Perspectiva Empresarial. Cotec, 2003.

VALLE, Victor. **Financiamento à Inovação: Ferramentas, Impactos e Perspectivas**. *Revista Tópicos*, Rio de Janeiro, v. 3, n. 17, p. 1-11, 2025. ISSN: 2965-6672.

VELOSO, Francisco Miguel Rogado Salvador Pinheiro. **A auditoria tecnológica nas empresas: um modelo a aplicar pelas infraestruturas tecnológicas**. 1996. 214 f. Tese de Doutorado. Instituto Superior de Economia e Gestão, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 1996.

VIANNA, Cid Carvalho. **Transferência de tecnologia entre instituições: avaliação do projeto Tecnotrans entre o Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI/Bahia), o Fraunhofer Institut Materialfluss and Logistik (IML) e o Fraunhofer Institut Chemische Technologie (ICT) (Alemanha)**. 2011. 182 f. Dissertação (Mestrado em Administração Estratégica), UNIFACS – Universidade de Salvador, Salvador, 2011.

XAVIER, Geovane Silva. **Levantamento e adaptação de boas práticas para uso em auditorias tecnológicas em instituições de ensino e pesquisa**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2023.

ZIEMNOWICZ, Christopher. **Joseph A. Schumpeter and innovation**. In: CARAYANNIS, Elias G. (ed.). *Encyclopedia of Creativity, Invention, Innovation and Entrepreneurship*. New York: Springer, 2013. Available at: [https://doi.org/10.1007/978-1-4614-3858-8\\_498](https://doi.org/10.1007/978-1-4614-3858-8_498). Accessed on: May 01, 2025.