

APLICAÇÃO DE IA PARA DIAGNÓSTICO DA PRONTIDÃO TECNOLÓGICA (TRL) DOS TRABALHOS DE MESTRADO DO PPG DA UNIVILLE

ARTIFICIAL INTELLIGENCE APPLICATION FOR ASSESSING THE TECHNOLOGICAL READINESS LEVEL (TRL) OF MASTER'S RESEARCH AT UNIVILLE'S GRADUATE PROGRAM

ALVES, Marcelo*¹
SILVA, Danilo Corrêa¹

*Autor para correspondência: marcelo.alves2702@gmail.com

Resumo: O nível de prontidão tecnológica (TRL) tem sido utilizado para classificar em qual estágio uma determinada tecnologia está, desde a sua idealização até a disponibilização para o mercado. No Brasil, de maneira geral, poucos trabalhos finais de pós-graduação ***stricto sensu*** (PPG) alcançam altos níveis de prontidão, muitas vezes ficando no âmbito propositivo ou de protótipos não validados. O objetivo deste artigo é avaliar a eficácia da inteligência artificial (IA) no diagnóstico dos níveis TRL nos trabalhos de mestrado de um PPG da Univille. Nesse sentido, foi utilizada uma IA como ferramenta para análise automatizada dos níveis de TRL. O trabalho foi desdobrado em quatro etapas: coleta das dissertações, classificação manual, definição dos *prompts* e análise comparativa dos resultados. Foram elaborados critérios específicos, como nível de experimentação, existência de protótipos e ambientes de teste. Os resultados indicam que a ferramenta é eficaz no diagnóstico do TRL e na redução do tempo de avaliação, mesmo exigindo ajustes nos *prompts*. Entende-se que o uso da IA pode revelar o estágio de maturidade das pesquisas técnico-científicas, orientando decisões sobre investimentos, escalonamento e aplicação prática. Conclui-se que a adoção de IA para avaliação de maturidade tecnológica representa um avanço expressivo na gestão da pesquisa acadêmica e em seu alinhamento com demandas de inovação.

Palavras-chave: Inteligência Artificial; TRL; dissertações de mestrado; trabalhos finais de pós-graduação.

¹ PPGDesign Univille – Universidade da Região de Joinville (Univille) – Joinville (SC), Brasil.

Abstract: The Technology Readiness Level (TRL) has been widely used to classify the stage at which a given technology is, from its initial conception to its availability in the market. In Brazil, in general, few final papers from *stricto sensu* graduate programs (PPG) reach high levels of technological maturity, often remaining at the propositional stage or involving unvalidated prototypes. This article aims to assess the effectiveness of artificial intelligence (AI) in diagnosing TRL levels in master's theses from the Graduate Program at Univille. To this end, an AI tool was used for the automated analysis of TRL levels. The study was conducted in four stages: collection of theses, manual classification, prompt definition, and comparative analysis of the results. Specific criteria were established, such as level of experimentation, existence of prototypes, and testing environments. The results indicate that the tool is effective in diagnosing TRL and in reducing the time required for evaluation, even though some prompt adjustments were necessary. It is understood that the use of AI can reveal the maturity stage of technical-scientific research, supporting decisions related to investment, scaling, and practical application. It is concluded that the adoption of AI for assessing technological maturity represents a significant advancement in the management of academic research and its alignment with innovation demands.

Keywords: Artificial Intelligence; TRL; master's theses; graduate final papers.

INTRODUÇÃO

No Brasil, muitos Programas de Pós-Graduação (PPGs) destacam-se pela produção científica, voltada ao desenvolvimento de tecnologias e soluções inovadoras. No entanto, observa-se um distanciamento entre os avanços gerados na academia e sua efetiva aplicação no mercado. Uma grande parte das pesquisas acadêmicas não atinge os níveis de prontidão tecnológica que as tornariam aptas à sua transferência para a indústria ou à sua qualificação para ser implementada e estar disponível para a sociedade (Bueno; Santos, 2017).

A distância entre a universidade e a indústria é um desafio recorrente, principalmente quando não há mecanismos para fomentar maiores níveis de prontidão tecnológica (*Technology Readiness Level* – TRL) das produções acadêmicas. Nesse contexto, é fundamental o entendimento do nível TRL, ou seja, identificar em qual nível de TRL a produção se encontra.

Incorporar a Inteligência Artificial (IA) no processo de avaliação surge como alternativa para tornar o diagnóstico ágil, sistemático e escalável. Por meio de algoritmos capazes de interpretar e classificar as publicações, com base nos critérios do TRL, a IA pode contribuir para diagnosticar o nível de prontidão tecnológica dos trabalhos. Com isso, o objetivo deste artigo é avaliar tecnologias de IA na definição dos níveis TRL dos trabalhos de mestrado de um PPG da Univille.

Para este estudo foram definidas quatro etapas: coleta de dados, na qual foi feito levantamento das dissertações defendidas nos anos de 2016, 2017 e 2018; classificação manual de 20% das dissertações, para garantir a acurácia e servir de referência para gerar o *prompt* para a IA; definição da IA, a fim de processar as fontes e determinar o nível do TRL; geração do *prompt*, a ser testado e avaliado em comparação com a classificação manual.

REVISÃO TEÓRICA

Nível de Prontidão Tecnológica

O Nível de Prontidão Tecnológica (TRL) é um método de classificação usado para avaliar o nível de maturidade de uma tecnologia. Trata-se de um método criado pela National Aeronautics and Space Administration (Nasa) na década de 1970 com o objetivo de avaliar a maturidade técnica das tecnologias em desenvolvimento para a corrida espacial, especificamente para a aplicação em materiais relativos aos sistemas espaciais (Manning, 2023). Esses materiais, ou elementos, podem ser qualquer item ou objeto analisado, desde componentes até partes do equipamento, passando por sistemas ou subsistemas (ABGI Brasil, 2023).

Em 2010, a Comissão Europeia referenciou que o TRL fosse aplicado aos projetos de pesquisa, desenvolvimento e inovação (PD&I) e, em 2013, a norma ISO 16.290:2013 foi criada pelo *Committee Aircraft and Space Vehicles*, relativo aos critérios de avaliação e níveis de prontidão tecnológica. Em 2015, a ABNT criou a NBR ISO 16.290:15, com conteúdo idêntico à ISO 16.290:2013 (ABGI Brasil, 2023).

Com essa estruturação, estabeleceu-se a correlação entre TRL e o ciclo de um projeto de PD&I, auxiliando na análise pelas agências de fomento a projetos de inovação e tecnologias, independentemente das características de cada setor.

De acordo com Chuba (2025), o TRL auxilia nos seguintes pontos: analisa o ciclo de vida de um projeto de PD&I; gerencia o progresso de atividade e desenvolvimento; facilita a análise dos mecanismos de fomento à inovação; define critérios de avaliação e seleção de projetos de inovação, indicador para classificar o potencial de fomento para projetos de inovação; indica a maturidade tecnológica e a ferramenta de gestão de projetos para empresas. Além disso, é importante salientar que o TRL padroniza a linguagem e facilita a comunicação entre as áreas e equipes relacionadas ao projeto.

No cenário brasileiro, a adoção do TRL tem a seguinte cronologia: Lei 11.196 em 2005 (Brasil, 2005); NBR ISO 16.290 em 2015 (ABNT, 2015); a Embrapa adota o TRL em seu sistema de gestão em 2018; a Embrapii começa a apoiar projetos entre os níveis TRL 3 e 6 em 2020; nesse mesmo ano, a Finep passa a utilizar a NBR 16.290 em seus materiais de referência; a MCTI, pelo decreto n.º 6.449/22, adota o TRL em projetos do ministério em 2022 (Chuba, 2025).

Na escala TRL, analisa-se a progressão da tecnologia em etapas de pesquisa, desenvolvimento e implementação. Essa escala permite que os pesquisadores, engenheiros, projetistas e demais pessoas envolvidas tenham dados de referência consistentes para entender a evolução de tecnologias, independentemente do conhecimento sobre o assunto (ABGI Brasil, 2023).

Cada projeto tecnológico é avaliado em relação aos parâmetros de cada nível tecnológico e, em seguida, recebe uma classificação TRL com base em seu progresso. Existem nove níveis de prontidão tecnológica. O TRL 1 é o mais baixo e o TRL 9 é o mais alto, no qual o produto é considerado qualificado para ser lançado ao mercado.

Pode-se afirmar que o TRL é uma forma sistemática de gestão de projetos de inovação, utilizada por agências espaciais, indústrias, órgãos de fomento, centros de pesquisa, universidades e aceleradoras de *startups*. Uma vez que as definições não são totalmente inclusivas e podem variar segundo tecnologia e aplicação, as organizações podem moldar as definições para acomodar sua própria aplicação (Gao, 2020 *apud* Fundação Certi, 2021).

Com isso, as definições do TRL podem ser adaptadas conforme o tipo de pesquisa/ inovação, o segmento da indústria e o mercado a ser trabalhado. Isso mostra a flexibilidade do processo sistêmico do TRL, mas vale ressaltar que, para o conceito avançar de nível, devem ser determinados critérios rígidos, e a comunicação entre a equipe deve ser clara e objetiva, assim é garantido que o conceito evolua para a aplicação no mercado. A figura 1 apresenta os níveis do TRL.

Figura 1 – Escala TRL

TRL 9
Sistema real “comprovado em voo” através de operações bem-sucedidas de missão
TRL 8
Sistema real completo e “qualificado para voo” por meio de testes e demonstração (em terra ou no espaço)
TRL 7
Demonstração do protótipo do sistema em ambiente espacial
TRL 6
Modelo ou protótipo de sistema/subsistema demonstrado em ambiente relevante (terra ou espaço)
TRL 5
Validação de componente e/ou bancada em ambiente relevante
TRL 4
Validação de componente e/ou bancada em ambiente laboratorial
TRL 3
Função crítica analítica e experimental e/ou prova de conceito característica
TRL 2
Conceito e/ou aplicação de tecnologia formulados
TRL 1
Princípios básicos observados e relatados

Fonte: Adaptado de Manning (2023)

O quadro 1 detalha o TRL com as características de cada nível de prontidão até a tecnologia estar qualificada para a comercialização ou, como no jargão da Nasa, “comprovada para voo”.

Quadro 1 – Detalhamento do TRL

pesquisa básica	TRL 1 - a pesquisa científica, do tipo acadêmica que está começando e esses resultados estão em estágio inicial sem definições conceituais, para no futuro serem traduzidos em pesquisa e desenvolvimento futuros.
pesquisa aplicada	TRL 2 - ocorre quando os princípios básicos foram estudados e aplicações práticas são formuladas. Este nível é especulativo, pois há pouca ou nenhuma comprovação experimental de conceito para a tecnologia.
desenvolvimento experimental	TRL 3 - Quando a pesquisa ativa e o design começam, uma tecnologia é elevada ao TRL 3. Estudo analíticos e de laboratório são necessários neste nível para verificar se uma tecnologia é viável e está pronta para o processo de desenvolvimento. Um modelo de prova de conceito é construído para testar as características e funções críticas. TRL 4 - Uma vez que a tecnologia de prova de conceito está pronta, ela avança para testes de laboratório, várias peças de componentes são testadas juntas. TRL 5 - É uma continuação do TRL 4, no entanto, uma tecnologia no nível 5 é identificada como uma tecnologia de protótipo (breadboard) e deve passar por testes mais rigorosos do que a tecnologia que está apenas no TRL 4. Simulações devem ser realizadas em ambientes relevantes (mais próximo possível da realidade). TRL 6 - Após a conclusão dos testes do TRL 5, uma tecnologia pode avançar para o TRL 6. Uma tecnologia nesse nível possui um protótipo em escala de engenharia demonstrados e testados em ambiente relevante.
industrialização	TRL 7 – Protótipo em escala de manufatura, demonstrado e aplicado em um ambiente relevante/operacional. Nível de industrialização. TRL 8 - A tecnologia no TRL 8 foi testada e "qualificada para voo" e está pronta para ser lançado ao mercado.
produção e comercialização	TRL 9 - Uma vez que uma tecnologia foi "comprovada em voo" durante uma missão bem-sucedida, ela pode ser comercializada.

Fonte: Adaptado de Manning (2023)

Cada nível representa um passo no desenvolvimento, como validar um conceito em laboratório (TRL 4) ou testar em ambiente real (TRL 7). Isso ajuda equipes a saber onde estão e o que precisam fazer para avançar, facilitando decisões sobre investimentos, recursos e a relevância do conceito para o mercado. Embora amplamente usados, os TRL podem ter interpretações diferentes a depender do setor, como aeroespacial, defesa ou indústria. É importante seguir a definição específica do projeto ou programa (Chuba, 2025; Fundação Certi, 2021). Salienta-se que a utilização de um método sistemático como o TRL pode mostrar a necessidade de abortar um conceito antes mesmo de ele ser lançado ao mercado.

Conforme o conceito avança, principalmente quando está em TRL 4, os testes de laboratório são iniciados. Os resultados podem inviabilizar ou não a continuidade do projeto. No caso de uma indústria, é nessa fase que se iniciam os estudos de mercado para entender as demandas, a concorrência, o tamanho de mercado e a relevância do projeto para a empresa.

O TRL ajudou a Nasa a gerenciar riscos e planejar o desenvolvimento de tecnologias para missões espaciais que são projetos de alta complexidade. Avalia-se passo a passo a evolução dos princípios básicos de uma ideia até ela estar pronta para ser lançada no mercado ou, no caso da Nasa, ir ao espaço.

Como já mencionado, organizações ou universidades podem adaptar o TRL para suportar sua própria aplicação (Chuba, 2025; Fundação Certi, 2021). Um mestrado planejado considerando o TRL implica em definir o nível de prontidão tecnológica da tecnologia ou do conceito no início da pesquisa e planejar as atividades para elevá-lo a um nível superior dentro do escopo do trabalho, tornando a pesquisa clara quanto à sua maturidade para a transferência tecnológica ou para obter apoio de órgãos de fomento.

MATERIAL E MÉTODOS

Critérios para avaliar as dissertações

Com base nos níveis da escala TRL, é possível definir alguns critérios para a avaliação dos trabalhos acadêmicos a fim de determinar a sua prontidão tecnológica. Ressalta-se que as dissertações não foram estruturadas com base no TRL, mas, em virtude da estrutura metodológica (investigação, definição do problema, solução, testes e conclusão), é possível definir o nível de prontidão tecnológica aproximado. Seguem alguns critérios que serão utilizados para a avaliação dos trabalhos:

- O nível de experimentação descrito;
- Tipo de pesquisa básica/aplicada e/ou desenvolvimento experimental;
- Protótipos ou provas de conceito existentes;
- Utilização de ambiente de teste (controlado, real ou simulado);
- Resultados práticos apresentados;
- Qualificação para industrialização.

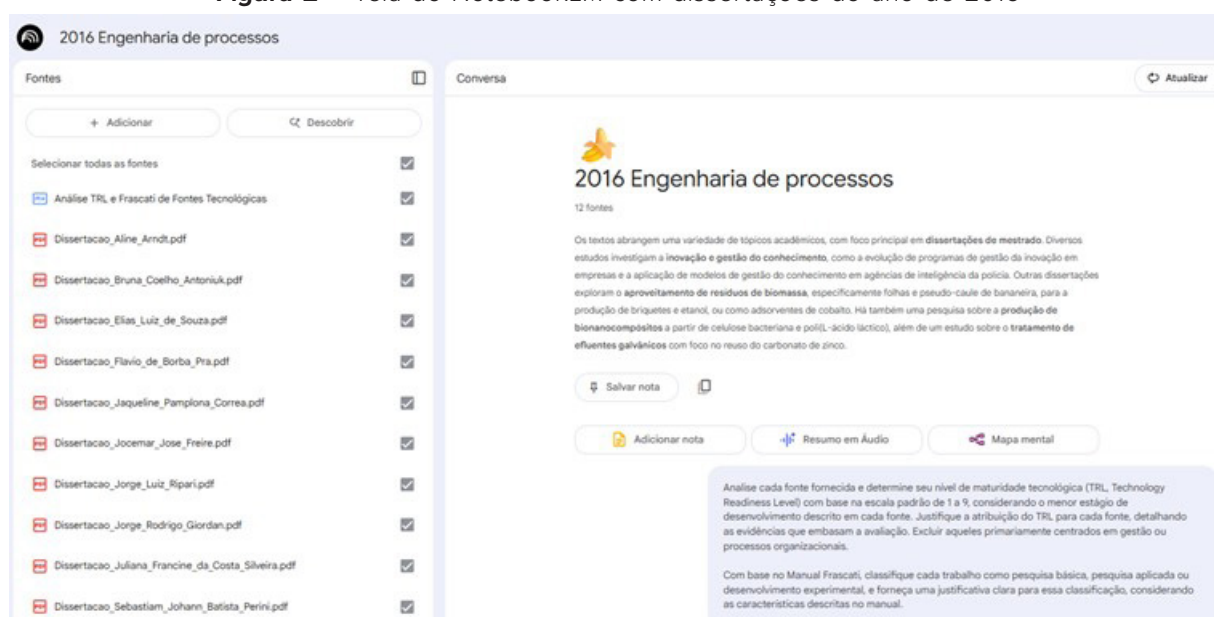
Outro ponto que deve ser levado em consideração é que somente os trabalhos de desenvolvimento tecnológico podem ser avaliados. Dissertações com foco em gestão ou processos organizacionais são trabalhos descritivos de processos de gestão e avaliação de indicadores, entre outros. Estes não podem ser avaliados, porque não estão ligados ao desenvolvimento de novas tecnologias.

Inteligência Artificial para análise de TRL

O NotebookLM® é uma ferramenta experimental de anotações e pesquisa *online* desenvolvida pelo Google™ Labs para ajudar os usuários a interagir com os documentos anexados. Essa ferramenta permite criar resumos, mapas mentais e fazer perguntas relacionadas à fonte inserida. As fontes podem ser arquivos em formato PDF, *websites*, vídeos e áudios. O diferencial em relação às outras IAs é que o NotebookLM utiliza exclusivamente as fontes inseridas, ao contrário de outras IAs, que buscam informações na *internet*.

A análise consiste em: fazer o *download* das dissertações, separadas por ano; salvar em uma pasta específica; carregar todas as dissertações na ferramenta. A figura 2 demonstra as dissertações inseridas e um breve resumo de todos os trabalhos do ano de 2016.

Figura 2 – Tela do NotebookLM com dissertações do ano de 2016



Fonte: Primária (2026)

A análise do TRL apresentada neste artigo refere-se aos trabalhos do mestrado em Engenharia de Processos da Univille. Após selecionar aqueles que trataram de desenvolvimento tecnológico, restaram 38 trabalhos, defendidos nos anos de 2016, 2017 e 2018.

Definição do *prompt* para a IA

Para fazer a análise da dissertação e avaliar o nível de prontidão tecnológica, foram geradas algumas alternativas. Ao realizar os testes iniciais com a ferramenta, o resultado não estava sendo o esperado, pois o *prompt* não estava claro e objetivo o suficiente.

Durante o processo, foi percebido que o NotebookLM demonstrava dúvida com relação ao nível de prontidão tecnológica da dissertação, chegando à seguinte conclusão: “esta dissertação está com o nível de maturidade entre 4 e 5, porque foram concluídos os testes em laboratório e alguns componentes foram testados em ambiente relevante”.

Essa conclusão mostra que houve teste parcial da solução em ambiente relevante, o que demonstra que o nível é o 4. Em virtude dessa dúvida, foi necessário acrescentar ao *prompt* o comando para considerar somente o menor TRL. Quando o menor nível é considerado no diagnóstico, garante-se que o trabalho atende todos os requisitos daquela fase.

Além disso, foi necessário gerar dois *prompts*: o primeiro para fazer a análise em si, e o segundo para gerar uma visão estruturada da avaliação, conforme o quadro 2.

Quadro 2 – Estrutura da avaliação

Título da dissertação	Autor	TRL	Justificativa
-----------------------	-------	-----	---------------

Fonte: Primária (2026)

Organização e análise dos dados

Para obter a classificação, foi utilizado o *prompt*: “Análise cada fonte fornecida e determine seu nível de maturidade tecnológica (TRL, *Technology Readiness Level*) com base na escala padrão de 1 a 9, considerando o menor estágio de desenvolvimento descrito em cada fonte. Justifique a atribuição do TRL para cada fonte, detalhando as evidências que embasam a avaliação. Exclua aqueles primariamente centrados em gestão ou processos organizacionais”.

Após a inserção do *prompt* 1, o resultado aparece conforme a figura 3.

Figura 3 – Resultado descritivo da avaliação

Estúdio > Observação

Análise de Maturidade e Classificação de Tecnologias de Pesquisa

(As respostas salvas são somente para visualização)

A seguir, analise cada fonte fornecida para determinar seu Nível de Maturidade Tecnológica (TRL) e sua classificação conforme o Manual Frascati, excluindo as centradas em gestão ou processos organizacionais.

1. "Dissertacao_-_Michely_S_A_Camargo.pdf" (Estudo da Degradação de Celulose Bacteriana)

• **Nível de Maturidade Tecnológica (TRL):** TRL 3 – Prova de Conceito Analítica e Experimental de Função e/ou Característica Crítica.

• **Justificativa:** O trabalho visa o "estudo da degradação de CB em diferentes ambientes" para "conhecer as características de degradação, que poderão direcionar futuros estudos e aplicações" (1). A metodologia empregou a biossíntese e purificação de membranas de CB, seguida por análises visuais, FTIR e TGA para acompanhar a degradação ao longo do tempo (1). A pesquisa aborda uma "lacuna de conhecimento" sobre a degradação da CB em ambientes específicos (2). A realização de experimentos em laboratório e a caracterização detalhada das membranas para provar as características de degradação da celulose bacteriana, como a taxa de degradação e as alterações químicas e físicas (1), demonstram a validação experimental de características críticas do material, embora ainda em um ambiente de pesquisa.

• **Classificação (Manual Frascati):** Pesquisa Aplicada.

• **Justificativa:** Embora explore um fenômeno fundamental (degradação), a pesquisa é explicitamente direcionada a um "fim prático ou objetivo específico" de compreender as características da celulose bacteriana para "direcionar futuros estudos e aplicações" em diversas áreas industriais, como têxtil, embalagens para alimentos e eletrônica (1). O objetivo de preencher uma lacuna de conhecimento sobre a degradação em ambientes variados para informar a viabilidade de futuras aplicações demonstra uma intenção prática clara, diferenciando-a da pesquisa básica pura (1) (2).

Fonte: Primária (2026)

Para transformar essas informações em tabela, o próximo passo é inserir o *prompt*: "Gerar uma tabela visual contendo as seguintes colunas: Título da Fonte, Autor(es), Nível de TRL e Justificativa do TRL". O quadro 3 exhibe a saída obtida por meio do *prompt*.

Quadro 3 – Saída do *prompt* em formato estruturado

Estúdio > Observação

Aplicações Tecnológicas e Otimização de Processos Industriais

(As respostas salvas são somente para visualização)

Aqui está a tabela visual que você solicitou, contendo as informações extraídas das fontes fornecidas:

Título da Fonte	Autor(es)	Nível de TRL	Justificativa do TRL	Classificação Frascati	Justificativa da Classificação Frascati
INFLUÊNCIA DO TEOR DE MONTMORILONITA NAS PROPRIEDADES DO POLIPROPILENO E A RECICLAGEM DOS NANOCOMPOSITOS OBTIDOS POR INJEÇÃO (1)	Guilherme Chini Colonetti (1)	TRL 4	O estudo envolve a preparação e caracterização de nanocompositos de polipropileno/montmorilonita e a avaliação do efeito da reciclagem em suas propriedades, utilizando equipamentos de laboratório/escala piloto (injetora hidráulica, moinho de facas, MEV, TGA, DSC) (2) (3). O objetivo principal é a avaliação de desempenho de um novo material sob condições de reprocessamento, o que indica validação experimental de um conceito em ambiente de laboratório (2) (10).	Engenharia e Tecnologia (Engenharia de Materiais, Engenharia de Processos)	O trabalho é uma pesquisa aplicada em engenharia de processos e materiais, focando na avaliação e caracterização de nanocompositos de polipropileno/montmorilonita e no impacto da reciclagem nessas propriedades (2) (10). O objetivo é gerar conhecimento novo sobre o comportamento desses materiais e processos, com potencial aplicação e melhoria em indústrias de plásticos.

Fonte: Primária (2026)

O quadro gerado pela IA é extraído e, quando um novo *prompt* é inserido para gerar o código HTML da tabela, o código é copiado para o bloco de notas e salvo como página da web (formato HTML). A visualização é gerada conforme o quadro 4.

Quadro 4 – Tabela em HTML

Nível de Prontidão Tecnológica e Classificação Frascati de Dissertações

Título da Fonte	Autor(es)	Nível de TRL	Justificativa do TRL	Classificação Frascati	Justificativa da Classificação Frascati
AValiação DA DEGRADAÇÃO DE CELULOSE BACTERIANA APÓS EXPOSIÇÃO EM DIFERENTES MEIOS ABIÓTICOS E BIÓTICOS [1]	MICHELY SAYUMI ALVES CAMARGO [1]	TRL 3-4	O trabalho envolve a biossíntese de membranas de celulose bacteriana e a avaliação de sua degradação em diversos ambientes (solo, estuário, intemperismo natural, envelhecimento acelerado), utilizando análises visuais, FTIR e TGA [2]. Isso representa a prova de conceito experimental e a validação em ambiente laboratorial ou simulado relevante. [2]	Pesquisa Aplicada	O estudo buscou adquirir novo conhecimento sobre a degradação da celulose bacteriana em diferentes ambientes para direcionar futuros estudos e aplicações, visando um objetivo prático (descarte ambiental e novas aplicações da CB). [2]

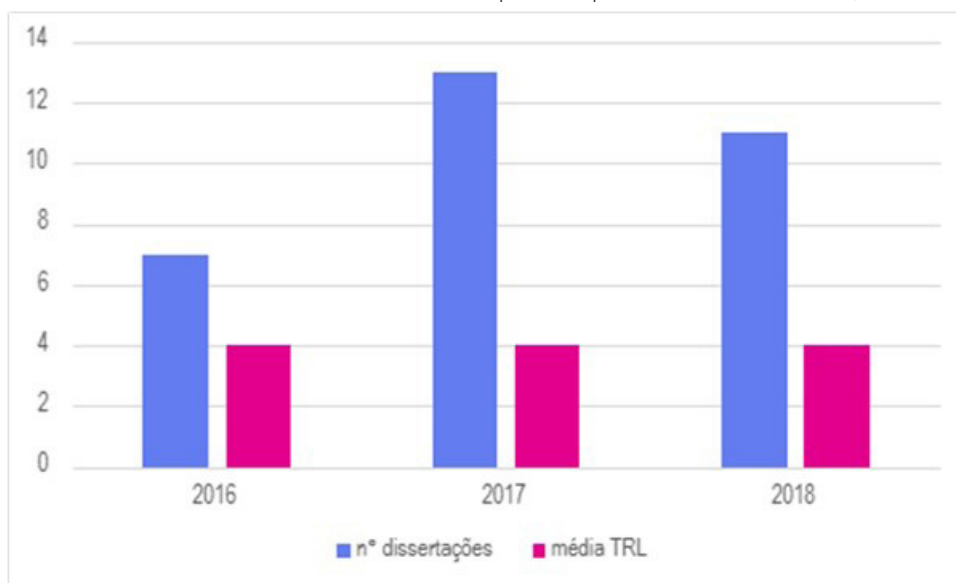
Fonte: Primária (2026)

Para fins de validação da eficácia da IA na determinação do TRL, foi realizada uma avaliação manual em uma amostra aleatória de 25% do total de trabalhos selecionados. A leitura crítica dos textos seguiu rigorosamente os critérios definidos para garantir a comparabilidade dos resultados. Dos trinta e oito trabalhos classificados de forma automatizada, dez foram avaliados manualmente.

RESULTADOS

O nível de prontidão médio observado nos trabalhos analisados foi TRL 4. O gráfico 1 exibe os valores médios para os anos de 2016, 2017 e 2018.

Gráfico 1 – TRLs médios fornecidos pela IA para os anos de 2016, 2017 e 2018



Fonte: Primária (2026)

Já quanto à análise comparativa, houve um índice de precisão de 80% na correspondência entre os diagnósticos realizados pela IA e os obtidos por meio da avaliação humana.

Quadro 5 – Resultados obtidos com a IA comparados à verificação manual

Dissertação	Ano	TRL IA	TRL Manual	Justificativa
Produção de bionanocompósitos de poli(L-ácido láctico) reforçados com nanocristais de celulose bacteriana obtidos por hidrólise ácida	2016	4	4	Validação do conceito em ambiente controlado - experimentos em laboratório
Influência do pré-tratamento e da concentração de biomassa sobre a sacarificação do pseudocaule de bananeira e avaliação da destoxificação do caldo hidrolisado sobre a produção de etanol	2016	4	4	Validação do conceito em ambiente controlado - experimentos em laboratório
Desenvolvimento e caracterização de membranas de celulose bacteriana visando aplicação em embalagens ativas	2017	5	5	Foram realizados testes de eficácia antimicrobiana em laboratório e testes sensoriais em embalagens de pães, demonstrando a funcionalidade do conceito em ambiente relevante
Utilização de resíduos da indústria de aromas (guaraná, carvalho, cacau e mate) na produção de <i>pleurotus sajor-caju</i>	2017	4	4	A pesquisa é realizada em escala de laboratório e piloto, demonstrando a prova de conceito de um bioprocessos de valorização de resíduos.
Avaliação comparada dos parâmetros que influenciam na colagem lateral de painéis de madeira de <i>pinus elliottii</i> e <i>pinus taeda</i>	2018	6	5	Validação da tecnologia em um ambiente relevante e demonstração do sistema em um ambiente similar ao operacional. Tecnologia não validada em ambiente totalmente operacional.
Avaliação técnico-econômica para implantação de usina de geração de energia fotovoltaica em empresa do setor de plásticos da região de Joinville	2018	7	N/A	O trabalho realizou uma avaliação técnico-econômica para a implantação de um sistema fotovoltaico em uma empresa. Não houve desenvolvimento tecnológico, houve somente um estudo para a aplicação de uma tecnologia já existente, por esse motivo o TRL não se aplica.

Fonte: Primária (2026)

Percebe-se que as divergências identificadas entre a avaliação da IA e a avaliação humana se concentraram nos níveis de TRL 4, 5 e 6. Por exemplo, a IA classificou o trabalho como TRL 6, com base na interpretação de que o conceito havia sido testado em ambiente operacional. No entanto, a leitura criteriosa indicou que houve testes e validação em laboratório e ambiente relevante, e somente simulações foram feitas, sem validação em ambiente operacional, o que caracteriza o TRL 5 e não o TRL 6.

Essa discrepância pode ser explicada pela natureza de certas dissertações, que envolvem tecnologias aplicadas, as quais são simuladas em um ambiente relevante ou operacional sem critérios para validação. Nesses estudos, é comum que partes isoladas do conceito sejam testados separadamente, tanto em laboratórios quanto em situação operacional, o que pode levar a interpretações ambíguas quanto ao nível de TRL.

Além da avaliação sistemática manual de 25% dos trabalhos, utilizada como amostra de validação, torna-se imprescindível a leitura integral das justificativas geradas pela IA. Essa etapa é fundamental para verificar a consistência das classificações atribuídas, permitindo uma análise crítica dos níveis de maturidade tecnológica.

CONCLUSÃO

A aplicação da IA, por meio da ferramenta NotebookLM®, mostrou-se uma estratégia eficaz para avaliar o TRL das dissertações de mestrado da Engenharia de Processos da Univille. A metodologia proposta integrou os conceitos do TRL, possibilitando uma análise sistemática, objetiva e escalável das produções científicas acadêmicas com foco no desenvolvimento tecnológico.

Com a validação criteriosa das classificações geradas, a utilização do NotebookLM® para avaliar as dissertações mostrou-se produtiva, especialmente diante do volume de trabalhos a serem analisados. A utilização da IA permite que o pesquisador se concentre na interpretação crítica das informações geradas, otimizando o processo analítico.

A IA automatizou o processo, reduziu o tempo de análise e apresentou análises e resultados consistentes, embora tenha sido necessário o aprimoramento do *prompt* para garantir a precisão nas classificações. A validação cruzada com o processo de classificação manual demonstrou a confiabilidade na técnica.

Com base nos resultados obtidos, conclui-se que a utilização do NotebookLM® como ferramenta para avaliar o TRL das pesquisas acadêmicas é viável e eficaz. Essa abordagem representa um avanço na gestão da inovação dentro da universidade, haja vista que, mesmo

que as dissertações não tenham sido estruturadas com base no TRL, foi possível determinar a maturidade tecnológica de cada trabalho. Este estudo oferece subsídios para o fortalecimento das conexões entre o meio acadêmico, o setor produtivo e as instituições de fomento que usam o TRL como base para aprovação de recursos para os projetos.

Recomenda-se, para estudos futuros, o aperfeiçoamento dos modelos preditivos que incorporem variáveis quantitativas e qualitativas na estruturação das dissertações com base nos níveis do TRL.

REFERÊNCIAS

ABGI Brasil. TRL — Saiba mais sobre o Nível de Maturidade Tecnológica. **ABGI Brasil**, 15 out. 2023. Disponível em: <https://abgi-brasil.com/trl-recursos-financeiros-por-niveis-de-maturidade-tecnologica/>. Acesso em: 28 jun. 2025.

ABNT — ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 16.290**. Sistemas espaciais — Definição dos níveis de maturidade da tecnologia (TRL) e de seus critérios de avaliação. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ACQNOTES. Technology Readiness Level (TRL) — Overview. **AcqNotes**, 5 fev. 2024. Disponível em: <https://acqnotes.com/acqnote/tasks/technology-readiness-level>. Acesso em: 28 jun. 2025.

BRASIL. Lei n.º 11.196, de 21 de novembro de 2005. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 22 nov. 2005. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2005/lei/l11196.htm. Acesso em: 29 mar. 2025.

BUENO, R. S.; SANTOS, F. J. Desafios e potencialidades da inovação tecnológica na pós-graduação brasileira. **Revista Brasileira de Inovação**, v. 16, n. 1, p. 45-67, 2017. DOI: 10.20396/rbi.v16i1.8650638.

CHUBA, Thiago Negrão. **TRL e Inovação**: desafios e oportunidades em CT&I. [Apresentação]. Disponível em: <https://www.gov.br/inpi/pt-br/servicos/a-academia/arquivo/arquivo-eventos/apresentacao-thiago-chuba.pdf>. Acesso em: 28 jun. 2025.

FUNDAÇÃO CERTI. TRL — Conheça o framework de avaliação da maturidade de tecnologias para atingir a inovação em seus negócios. **CERTI Insights**, 9 set. 2021. Disponível em: <https://certi.org.br/blog/trl-desenvolvimento-projetos/>. Acesso em: 28 jun. 2025

MANNING, Catherine G. Technology Readiness Levels 2023. **Nasa**, 27 set. 2023. Disponível em: <https://www.nasa.gov/directorates/somd/space-communications-navigation-program/technology-readiness-levels/>. Acesso em: 28 jun. 2025.

MCTI — MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO. **Plano de Ação em Ciência, Tecnologia e Inovação** — 2016-2022. Brasília: MCTI, 2016. Disponível em: <https://antigo.mctic.gov.br/mctic/opencms/ciencia/SEPED/Publicacoes/ENCTI/PlanosDeAcao.html>. Acesso em: 31 jul. 2025.

OCDE. **Manual de Frascati 2015**: diretrizes para o recolhimento e comunicação de dados de pesquisa e de desenvolvimento experimental. Tradução: Yes Services. Revisão: FI Group. Edição: FI Group. Brasília: FI Group, 2019. 401 p. Tradução de: Frascati Manual 2015: guidelines for collecting and reporting data on research and experimental development.

Registro de contribuição de autoria:

Taxonomia CRediT (<http://credit.niso.org/>)

MA. Conceitualização, Investigação, Metodologia, Redação — original.

DCS. Curadoria de dados, Redação — revisão e edição, Validação, Supervisão, Análise formal.

Declaração de conflito: nada foi declarado.