

## **EXPLORANDO UMA ABORDAGEM MULTIDIMENSIONAL PARA AVALIAÇÃO DE TECNOLOGIAS PROMISSORAS**

Luiz Gustavo Baptista, Instituto Nacional de Câncer – INCA

[luiz.baptista@inca.gov.br](mailto:luiz.baptista@inca.gov.br)

Luciene Ferreira Gaspar Amaral, Instituto Nacional de Propriedade Industrial – Ministério da Saúde

[lgbaptista@gmail.com](mailto:lgbaptista@gmail.com)

Rita Pinheiro-Machado, Instituto Nacional de Propriedade Industrial

[ritap@inpi.gov.br](mailto:ritap@inpi.gov.br)

### **RESUMO**

Este artigo propõe um modelo de análise tecnológica para avaliar tecnologias emergentes, visando aprimorar a comercialização e transferência de tecnologia entre instituições científicas e empresas. A metodologia utilizou uma abordagem integrada de três níveis de avaliação: Nível de Atratividade do Mercado (MAL), Nível de Prontidão do Cliente e Nível de Prontidão Tecnológica (TRL). Esses modelos foram identificados em um levantamento bibliográfico e, para mitigar a subjetividade da análise, o estudo propôs o uso de bandas de análise, com limites mínimos e máximos. Além disso, empregou a média geométrica para agregar as respostas, evitando o efeito de substituição perfeita entre os critérios (outliers) que poderiam ocorrer ao utilizar a média aritmética simples. Essa abordagem proporcionou maior equilíbrio entre as variáveis da escala de avaliação, evitando que valores discrepantes atribuídos por um especialista afetassem excessivamente o índice de análise. Os resultados sugerem que essa nova forma de avaliação pode aumentar a taxa de sucesso na comercialização e transferência de tecnologia, fortalecendo a colaboração entre pesquisadores acadêmicos e as necessidades do mercado. A contribuição do estudo reside na melhoria da análise tecnológica, facilitando a integração efetiva entre a pesquisa acadêmica e o setor empresarial, impulsionando o desenvolvimento tecnológico e a inovação.

**Palavras-chave:** Nível de maturidade tecnológica; atratividade de mercado; produto promissor; tecnologia emergente

**Data de recebimento:** 01/08/2023

**Data do aceite de publicação:** 24/08/2023

**Data da publicação:** 31/08/2023

## EXPLORING A MULTIDIMENSIONAL APPROACH FOR EVALUATING PROMISING TECHNOLOGIES.

### ABSTRACT

This article proposes a technological analysis model to evaluate promising technologies, aiming to enhance technology commercialization and transfer between scientific institutions and businesses. The methodology employed an integrated approach with three evaluation levels: Market Attractiveness Level (MAL), Customer Readiness Level, and Technology Readiness Level (TRL). These models were identified through a literature review, and to mitigate subjectivity in the analysis, the study proposed the use of analysis bands with minimum and maximum limits. Additionally, the geometric mean was used to aggregate responses, avoiding the perfect substitution effect among criteria (outliers) that could occur with the use of simple arithmetic mean. This approach provided a better balance between the variables of the evaluation scale, preventing highly discrepant values assigned by one specialist from excessively impacting the analysis index. The results suggest that this new evaluation method may increase the success rate in technology commercialization and transfer, strengthening collaboration between academic researchers and market demands. The study's contribution lies in improving technological analysis, facilitating effective integration between academic research and the business sector, driving technological development and innovation.

**Keywords:** technological maturity level; market attractiveness; promising product; emerging technologies

### 1 INTRODUÇÃO

No mais específico conceito econômico, percebe-se a importância de se descobrir produtos promissores para o futuro e desenvolver tecnologias relevantes com recursos limitados. No entanto, a maioria das instituições de ciência e tecnologia (ICT), a despeito de estarem vinculadas ou não a um núcleo de inovação tecnológica (NIT), apresentam dificuldades de estrutura e implementam uma área de planejamento para selecionar as tecnologias promissoras para apropriação de mercado. Como as ICT e NIT apresentam dificuldades na área de negócios promissores devido à falta de estrutura, ferramental e informação, espera-se que o estudo proposto possa contribuir para que tais instituições encontrem oportunidades de negócios com base em dados. Para grandes empresas estabelecidas, àquelas que possivelmente estarão envolvidas em contratos de transferência e comercialização de tecnologias, tecnologias promissoras são selecionadas tendo em consideração as características tecnológicas, características do mercado, política governamental e adequação às suas empresas.

Já as pequenas e médias empresas (PME) tendem a considerar os produtos que podem penetrar no mercado que seja tido como relevante para o negócio em curso. Essas empresas consideram tecnologias e produtos promissores que possam causar impacto em um nicho específico de mercado, em vez de se aventurarem no grande mercado com ampla concorrência. As PME preferem investir na melhoria da qualidade e do processo de produção para reduzir custos e aumentar os lucros ao invés de optar pelo desenvolvimento de novos produtos. Tal característica é fortalecida pela limitação de acesso das PME a tecnologias emergentes, decorrentes de pesquisas realizadas nas ICT, que por sua vez, tendem a responder a demanda de grandes players, lhes oferecendo suas tecnologias já desenvolvidas.

## EXPLORANDO UMA ABORDAGEM MULTIDIMENSIONAL PARA AVALIAÇÃO DE TECNOLOGIAS PROMISSORAS

As PME estão em uma posição importante na economia brasileira, assim como na economia mundial, e desempenham um papel relevante na exploração, descoberta e implantação de tecnologias e produtos promissores. A experiência internacional, demonstra que em países de primeiro mundo e economias emergentes como a Coreia, as PME buscam tecnologias promissoras utilizando técnicas de prospecção a partir de uma análise de literatura de patente, análise profissional pelo método Delphi ou uma análise de big data com a inclusão de uma grande quantidade de dados encontrados no Internet (Kim & Bae, 2017. Yun, Jeong, Lee, Park & Zhao, 2017 ).

No entanto, as iniciativas sobre o estabelecimento de um processo sistêmico de análise de tecnologias promissoras não têm sido satisfatórias, seja no âmbito das ICT e NIT, seja por parte das pequenas e médias empresas. Há um consenso velado, nas boas práticas de gestão dos NIT, de encaminhar para proteção patentária tecnologias que alcancem um nível de maturidade tecnológica 4 (TRL4), sem, contudo, obter-se a propensão de apropriabilidade de tal tecnologia (Barbalho, Ghesti, Carvalho, dos Santos, Martin & Eliane, 2019 ).

O método existente para estudar o nível de maturidade de dada invenção tem focado no aspecto tecnológico do desenvolvimento (technology push). Uma vez que a importância da preparação para o mercado tem sido percebida ultimamente, é necessário definir riscos devidamente relevantes, monitorando a inovação no âmbito da consideração do potencial de mercado e para garantir recursos oportunos e adequados, adotando uma visão mais alinhada ao conceito demand pull.

O objetivo deste artigo é propor uma abordagem para medir a perspectiva de tecnologias promissoras usando Technology Readiness Level (TRL), Market Attractiveness Level (MAL) e Consumer Readiness Level (CRL) e assim extrapolar uma visão única de technology push. Essa abordagem pretende contribuir com a taxa de sucesso da transferência e apropriação tecnológica. Usando os resultados deste estudo, planejamos realizar pesquisas para ajudar as ICT e NIT a aumentar a probabilidade de transferência, licenciamento e comercialização de tecnologias emergentes e selecionar projetos promissores de P&D de forma eficaz.

Neste artigo, a prontidão tecnológica, a atratividade do mercado e a prontidão para as necessidades dos clientes foram propostas como três indicadores para selecionar tecnologias promissoras e adequadas para o processo de transferência tecnológica, envolvendo, principalmente, pequenas e médias empresas.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

O Nível de Prontidão ou maturidade tecnológica (Technology Readiness Level - TRL) desenvolvido inicialmente por Ray Chase e implementado pela NASA, foi definido e expandido oficialmente em outros campos industriais por John Mankins em 1995. Mankins estabeleceu uma estrutura para medir consistentemente o TRL entre os vários tipos de tecnologias. A metodologia utilizada pela NASA para análise do setor aeroespacial, foi adotada por outros segmentos produtivos e governamentais, como o Departamento de Defesa (DoD), o Departamento de Segurança Interna (USHD) e o Departamento de Saúde e Serviços Humanos (DHHS), e tem sido cada vez mais inserida no contexto de monitoramento de projetos de pesquisa e desenvolvimento.

Assim a avaliação TRL tem sido utilizada como ferramenta oficial para analisar, avaliar e gerenciar o risco técnico em pesquisa e desenvolvimento pelos institutos governamentais dos Estados Unidos. Sua escala considera nove passos, do nível 1 ao nível 9. Em cada etapa, são definidos os requisitos para satisfazer cada um dos nove níveis. Quanto maior o TRL, menor é

## EXPLORANDO UMA ABORDAGEM MULTIDIMENSIONAL PARA AVALIAÇÃO DE TECNOLOGIAS PROMISSORAS

o nível de risco apresentado pela tecnologia para uso em situações críticas. Nas próximas seções apresentamos de forma mais aprofundada a metodologia de avaliação do TRL.

O TRL foi desenvolvido como uma ferramenta útil para o monitoramento do desenvolvimento de tecnologia. Uma vez que o desenvolvimento tecnológico é considerado uma força motriz fundamental na inovação das empresas e em seu crescimento sustentável, níveis mais altos de TRL demandam mais recursos e esforço para pesquisa e desenvolvimento. A disseminação do método de avaliação dos níveis de prontidão, ou maturidade, tecnológica, e suas várias adaptações para que pudesse atender aos objetivos específicos de cada segmento produtivo, motivou a International Organization for Standardization a lançar, em 2013 a ISO 16290, que define os critérios de avaliação dos níveis do TRL. No Brasil, a ABNT lançou em 2015 a NBR ISO 16290, adaptando os critérios ao cenário nacional.

De acordo com Amaral e Arnaut (2022), desde o início dos anos 2000 e, efetivamente estabelecido em 2015, foram realizados estudos que identificaram a necessidade da inserção de nível 10 de TRL com o intuito de monitorar e avaliar o andamento da implantação da tecnologia após a aprovação, a partir de critérios críticos evidenciados no âmbito operacional da inovação tecnológica. Neste diapasão, o nível TRL 10 foi testado e aprovado na operação de transporte espacial, cujas características se apresentam com base nos parâmetros descritos na figura 1 abaixo. (Straud, 2015, p. 315 ).



Figura 1 - Diagrama de níveis de prontidão tecnológica incluindo TRL 10.  
Fonte: Adaptação dos Autores (STRAUD, 2015, p. 315).

Florin Paun (2012) propôs um quadro de prontidão híbrido, considerando o modelo technology push, ou impulsionado pela tecnologia, relativo à metodologia TRL, e o modelo da atratividade de mercado (demand pull), representado pelo Nível de Prontidão para a demanda – DRL. O Nível de Prontidão para a Demanda (DRL) é uma nova medida para avaliar a maturidade das demandas por potenciais atores de inovação, conceituando a necessidade no mercado, permitindo a correspondência entre equipes de pesquisa científica, capazes de propor

## EXPLORANDO UMA ABORDAGEM MULTIDIMENSIONAL PARA AVALIAÇÃO DE TECNOLOGIAS PROMISSORAS

como solução um resultado existente através de processo de transferência de tecnologia e a demanda em novos projetos de Pesquisa & Desenvolvimento.

Paun utilizou o DRL para coletar informações na abordagem de tomada de decisão e prever uma condição de implementação e comercialização da tecnologia usando um conceito híbrido de "Technology Push" e "Market Pull". O autor percebeu o DRL como a conceituação dos elementos necessários para o mercado e definiu como uma nova escala a ser proposta por uma organização como solução para avaliar a prontidão das necessidades em evolução do mercado (Paun, 2011). O DRL foi construído de forma a corresponder a um TRL de forma inversa.

Tabela 1. Nível de Prontidão para a demanda e descrições emparelhadas com a TRL

DRL	Descrição DRL	Descrição TRL	TRL
1	Ocorrência de sentir que "algo está faltando"	Certificação de mercado e Autorização de Vendas	9
2	Identificação de necessidade específica	Industrialização de Produtos	8
3	Identificação das funcionalidades esperadas para um novo produto/serviço	Protótipo Industrial	7
4	Quantificação das funcionalidades esperadas	Demonstração de campo de todo o sistema	6
5	Identificação de recursos do sistema	Desenvolvimento de Tecnologia	5
6	Tradução das funcionalidades esperadas em recursos necessários para construir a resposta	Demonstração laboratorial	4
7	Definição das competências e recursos necessários e suficientes	Pesquisa para comprovar viabilidade	3
8	Identificação dos especialistas que possuem as competências	Pesquisa Aplicada	2
9	Construindo a resposta adaptada para a necessidade expressa no mercado	Pesquisa Fundamental	1

Fonte: Paun (2012)

Usando apenas a referência tecnológica, todos os padrões de pensamento serão orientados para o Technology Push. Então, como a capacidade da equipe empreendedora é medida para entender e identificar um mercado-alvo?

A escala de Nível de Prontidão da Demanda é capaz de medir a capacidade da equipe empreendedora de entender e traduzir em capacidades necessárias a necessidade expressa em um mercado direcionado (Tabela 1).

O Nível de Prontidão para a Demanda é uma nova medida para avaliar a maturidade das demandas em evolução identificadas e de potenciais atores de inovação para um estágio adequado de conceituação da necessidade no mercado, permitindo um ponto de correspondência com equipes de pesquisa científica capazes de propor como solução um resultado científico existente através de processo de transferência de tecnologia ou traduzir a demanda em novos projetos de P&D. Na verdade, significa que é o momento certo para traçar essa escala adicional, DRL, de forma inversa relacionada à escala TRL clássica, a fim de ter a compreensão adequada da correspondência entre o Market Pull e a Tecnologia (Paun, 2012)

Um projeto estará pronto para a transferência de tecnologia quando o somatório das duas análises ( $DRL + TRL = 10$ ) for igual ou maior que 10 (dez).

O Nível de Prontidão de Mercado, ou Market Readiness Level (MRL) é utilizado como indicador para medir o impacto da atração de mercado contra o impulso tecnológico em relação a um TRL. Uma tecnologia tipo a ressonância magnética, por exemplo, pode ser apropriada baseada em um DRL. No entanto, há de se considerar o impacto do impulso tecnológico e da atração de mercado também. Dessa forma, deve-se considerar um Nível de Prontidão de Integração (IRL) para desempenhar o papel de conexão entre a tecnologia e o ambiente externo

para que uma solução de problemas possa "se encaixar" dentro dos limites dos riscos tecnológicos e de mercado.

Em relação ao "risco de mercado" não mensurado e relativo à capacidade de TRL, é necessário um "Nível de Prontidão de Mercado", juntamente com uma forma de monitorar e controlar o desenvolvimento da tecnologia (Tao, Probert & Phaal, 2009). O IRL é um quadro que descreve o avanço da inovação durante o ciclo de vida dos produtos. Cinco grandes elementos de medição da inovação que incluem tecnologia, mercado, organização, parceria e risco, têm um efeito na efetiva execução da inovação em muitas etapas do ciclo de vida desta. Tao, Probert, e Phaal, (2009), asseveram que no desenvolvimento da tecnologia, o "risco tecnológico" é gerenciado pelo monitoramento e um processo de controle através de um TRL, enquanto o "risco de mercado" relevante, em muitos casos, não é considerado.

### **3 METODOLOGIA**

Considerando que o objetivo desta pesquisa é propor um modelo de análise de prontidão tecnológica que extrapole a visão centrada nos riscos tecnológicos, avaliados pela TRL, avaliar os riscos de mercado e de apropriação se faz mister. Estes serão mensurados pelo Nível de Prontidão para as necessidades dos clientes e pela atratividade de mercado.

Cabe ressaltar que o artigo relata pesquisas primárias, que não pretendem esgotar o assunto ou mesmo apresentar resultados empíricos. A metodologia empregada é fruto do exercício intelectual da construção de um novo olhar para a análise dos riscos inerentes a uma tecnologia promissora. Os indicadores e métricas utilizados foram levantados a partir da pesquisa bibliográfica sobre a temática. Foram escolhidos aqueles que mais se identificavam com as expectativas de avaliação dos autores do estudo. Os esforços aqui contidos foram relativos ao processo de mensuração e dos possíveis resultados que poderão ser alcançados.

Foi escolhida a área de saúde e a subárea de "novos exames e reagentes" como objeto de estudo. Em relação ao Nível de Prontidão Tecnológica (TRL), as normas de avaliação foram definidas com nove passos da fase 1 (Teoria/teste Básico) ao estágio 9 (Comercialização), conforme proposto pelo departamento de defesa americano (DoD, 2009).

O nível de atratividade do mercado (MAL) foi definido por meio das métricas: tamanho global de mercado, taxa anual de crescimento do mercado e adequação de políticas dado o tamanho do mercado. Cada uma dessas métricas é avaliada em uma escala de 6 níveis. O Nível de Prontidão do Cliente (CRL) foi definido mensurando as necessidades de tecnologias e produtos promissores utilizando uma escala de 4 níveis.

O uso de bandas de análise, considerando os limites mínimos e máximos e a utilização da média geométrica para agregar as respostas faz com que uma baixa performance atribuída pela subjetividade da análise não impacte tão diretamente o índice, impedindo o efeito de substituição perfeita entre os critérios (outliers) como ocorre com o uso da média aritmética simples. Esse método de cálculo proporciona maior equilíbrio entre as variáveis da escala de avaliação, evitando que valores discrepantes (maiores ou menores) atribuídos por um especialista compensem valores mais baixos atribuídos por outros.

As métricas de análise, MAL e CRL, utilizam escalas de avaliação. Tais escalas e as variáveis de análise podem constituir um problema para o método de análise (Hicks & Streeten, 1979). Dado que as respostas serão efetuadas por especialistas, com suas idiossincrasias e subjetividades de análise, o uso do logaritmo na base 10 (Log10) serve à proposta de se igualar as preferências, ou minimizar discrepâncias, dado que seu uso se apresenta como uma transformação estritamente côncava (Anand & Sem, 1994). A média do Log10 tende a aumentar quanto mais igualitária for a distribuição entre as respostas dentro da escala.

## EXPLORANDO UMA ABORDAGEM MULTIDIMENSIONAL PARA AVALIAÇÃO DE TECNOLOGIAS PROMISSORAS

Assim, o cálculo do nível de atratividade de mercado (RMAL) para cada uma das dimensões, a saber, tamanho global do mercado, taxa de crescimento do mercado e adequação política, fica:

$$\frac{\text{Log } 10(1 \sim 6) - \text{Log } 10(1)}{\text{Log } 10(6) - \text{Log } 10(1)} = \text{RMAL}_t, \text{RMAL}_c \text{ e } \text{RMAL}_a \quad (1) \text{ Equação 1. Determinação RMAL}$$

Onde :

$\text{RMAL}_t$  = Resposta do especialista ao tamanho global de mercado

$\text{RMAL}_c$  = Resposta do especialista a taxa de crescimento global de mercado

$\text{RMAL}_a$  = Resposta do especialista a adequação política frente ao tamanho de mercado

O nível de atratividade de mercado (MAL) para cada uma das dimensões, será dado pela média aritmética entre os índices apurados a partir das respostas dos diversos especialistas.

$$\text{MAL}_t = \frac{\text{RMAL}_{t1} + \text{RMAL}_{t2} + \text{RMAL}_{tn}}{n} \quad (2) \text{ Equação 2. Determinação MAL}_t$$

$$\text{MAL}_c = \frac{\text{RMAL}_{c1} + \text{RMAL}_{c2} + \text{RMAL}_{cn}}{n} \quad (3) \text{ Equação 3. Determinação MAL}_c$$

$$\text{MAL}_a = \frac{\text{RMAL}_{a1} + \text{RMAL}_{a2} + \text{RMAL}_{an}}{n} \quad (4) \text{ Equação 4. Determinação MAL}_a$$

O nível geral da atratividade de mercado (MAL) será dado pela média geométrica retornada para cada dimensão, conforme equação 5.

$$\text{MAL} = \sqrt[3]{\text{MAL}_t + \text{MAL}_c + \text{MAL}_a} \quad (5) \text{ Equação 5. Determinação MAL}$$

O mesmo modelo matemático deverá ser usado para o cálculo da prontidão do cliente (CLR).

$$\text{RCRL}_t = \frac{\text{Log } 10(1 \sim 4) - \text{Log } 10(1)}{\text{Log } 10(4) - \text{Log } 10(1)} \quad (6) \text{ Equação 6. Determinação RCRL}$$

Onde :

$\text{RCRL}_t$  = Resposta do especialista ao Nível de Prontidão do Cliente

O CRL será dado pela média aritmética entre os índices apurados a partir das respostas dos diversos especialistas.

$$\text{CRL} = \frac{\text{RCLR}_{t1} + \text{RCLR}_{t2} + \text{RCLR}_{tn}}{n} \quad (7) \text{ Equação 6. Determinação CRL}$$

## 4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS DADOS

Como itens sujeitos à análise, foram propostos o Nível de Prontidão Tecnológica (TRL), o nível de atratividade do mercado (MAL) e o Nível de Prontidão do Cliente (CRL), conforme destacado nas seções anteriores deste artigo.

A análise do TRL é decorrente da curva de aprendizado da NASA em sistemas complexos de tecnologia. Em que pese mudanças e adaptações para seu uso em diversos setores,

como a escala proposta neste artigo, adaptada do Departamento de Defesa dos Estados Unidos, em sua essência, o TRL não sofreu alterações. Mesmo que as questões de avaliação sejam respondidas por especialistas, existe um certo grau de subjetividade que não pode ser desprezado (Sarfraz, Sauser & Bauer, 2012).

Na busca para se estabelecer um certo grau de estabilidade e uniformidade a análise, inspirado livremente no que a NASA preconiza, a avaliação do TRL deve considerar o grau de dificuldade de se alcançar um nível imediatamente superior, definido pela agência espacial norte americana como AD2, ou advanced degree of difficulty Young, Montgomery, & Adams, 2007). O caminho sugerido para a avaliação de um nível específico de TRL é apresentado na tabela 2, a seguir. Optou-se por elaborar uma escala de TRL para a análise de tecnologias relacionadas a saúde, de forma mais específica, novos exames e reagentes. Com base na pesquisa bibliográfica a escala listada na tabela 2 foi elaborada. Destaca-se que aos 9 níveis de avaliação da TRL são acrescentadas perguntas que expressam os AD2, conforme preconizado na literatura.

Contudo, a determinação a partir do nível mais alto para o nível mais baixo da TRL denota que as expectativas para todas as tecnologias promissoras é que alcancem o nível máximo. Caso os pressupostos das sub-etapas de cada AD2 não sejam cumpridos em sua totalidade, a tecnologia deve ser analisada a partir dos pressupostos do nível imediatamente inferior e assim sucessivamente. Mesmo que a tecnologia alcance a totalidade requisitos de um determinado TRL e tenha alcançado parte dos requisitos do nível TRL acima, ela deverá ser classificada pelo nível inferior. Tal prática visa caracterizar uma visão mais conservadora de avaliação.

O nível de atratividade do mercado (Market Attractiveness Level - MAL) é um componente importante do modelo proposto para avaliar tecnologias promissoras. Essa métrica busca identificar a viabilidade e o potencial econômico de uma tecnologia específica no mercado em que será introduzida. O MAL foi elaborado considerando por três critérios principais:

- **Tamanho Global de Mercado:** Refere-se ao tamanho absoluto do mercado para a tecnologia em questão. Quanto maior o mercado, maior o potencial de receitas e lucros. A análise do tamanho do mercado permite identificar se a tecnologia tem a oportunidade de atingir uma ampla base de clientes ou se está direcionada para nichos específicos.
- **Taxa Anual de Crescimento do Mercado:** Esse critério mede a taxa em que o mercado está se expandindo ou diminuindo. Uma alta taxa de crescimento indica um mercado em expansão e, portanto, mais oportunidades para o crescimento das vendas da tecnologia. Por outro lado, um mercado estagnado ou em declínio pode representar maiores desafios para a penetração da tecnologia.
- **Adequação de Políticas Dado o Tamanho do Mercado:** Esse aspecto analisa como as políticas governamentais e regulamentações afetam a tecnologia em relação ao tamanho do mercado. Políticas favoráveis podem criar um ambiente mais propício para a adoção da tecnologia, enquanto políticas restritivas podem criar barreiras à entrada.

Cada um desses critérios é avaliado em uma escala de 6 níveis, que permite uma análise abrangente e detalhada da atratividade do mercado para a tecnologia em consideração. Ao combinar esses fatores, o MAL oferece uma visão holística da perspectiva de mercado da tecnologia, auxiliando na tomada de decisões estratégicas em relação à comercialização e transferência tecnológica. Tecnologias com altos níveis de atratividade de mercado tendem a ter maior potencial de sucesso na adoção e aceitação no mercado, tornando-as mais atraentes para investidores e empresas interessadas em inovação e desenvolvimento tecnológico.



## EXPLORANDO UMA ABORDAGEM MULTIDIMENSIONAL PARA AVALIAÇÃO DE TECNOLOGIAS PROMISSORAS

Tabela 2. TRL – Novos Exames e Reagentes

<b>1</b>	<b>Revisões de literatura científica e pesquisas de mercado iniciadas e avaliadas</b>
	As bases do conhecimento científico foram acessadas e monitoradas? As descobertas científicas foram revisadas e avaliadas como base para caracterizar novas tecnologias?
<b>2</b>	<b>Ideias de pesquisa e protocolos desenvolvidos. Hipótese(es) gerada,</b>
	Consulta a artigos científicos para gerar idéias de pesquisa, hipóteses e projetos experimentais para abordar as questões científicas relacionadas. Foco em aplicações práticas com base em princípios básicos observados. Foram realizados estudos de anterioridade em bases patentárias Uso de simulação computacional ou outras plataformas virtuais para testar hipóteses.
<b>3</b>	<b>Testes de hipóteses e prova de conceito inicial de monstros em números limitados em modelos in vitro e in vivo,</b>
	Foram identificados potenciais ensaios para medir a qualidade do produto Foram mensurados os resultados mais significativos em modelos animais relevantes?
<b>4</b>	<b>Prova de conceito e segurança de formulações de exames e reagentes são demonstrados em laboratório/modelo animal definido(s)</b>
	Foram desenvolvidos ensaios que serão usados para avaliar a qualidade do produto e estes serão usados para avaliar resultados críticos em animais e humanos Foram identificados os reagentes críticos necessários para ensaios?  Foram avaliadas as fontes dos reagentes em relação a disponibilidade, viabilidade, controle de mudanças?
<b>5</b>	<b>Estudos pré-clínicos, incluindo segurança animal e toxicidade animal glp, suficientes para suportar aplicações regulatórias e de BPF.</b>
	Foram realizadas tomadas medidas que possam garantir que os reagentes apropriados de referência e controle de qualidade do candidato para que ensaios de controle de qualidade sejam produzidos? Foram realizados os ensaios para avaliar a qualidade do produto
<b>6</b>	<b>Ensaio clínico de fase 1 concluídos, suporte de dados em andamento para ensaios clínicos da Fase 2. Solicitação da aplicação junto ao agente regulatório preparada e submetida.</b>
	Foram validados os ensaios críticos de eficácia física, in vitro e in vivo animal utilizados ? Foram realizados testes de farmacocinética, farmacodinâmica ou do produto? Os reagentes de referência para estes ensaios foram qualificados?
<b>7</b>	<b>Ensaio clínico fase 2 concluídos, plano de estudo clínico fase 3 aprovado.</b>
	Os ensaios utilizados para a qualidade do produto foram validados? Obs: Os ensaios de potência ainda podem estar em desenvolvimento e ainda não validados. Foram validados os ensaios utilizados para avaliar desfechos críticos em ensaios clínicos e em estudos de eficácia animal? Foram avaliados os desfechos biológicos humanos em estudos clínicos da Fase 2 usando ensaios validados e reagentes devidamente qualificados ?
<b>8</b>	<b>Avalie os resultados biológicos críticos em ensaios clínicos da Fase 3 ou estudos de eficácia animal validados e referência devidamente qualificada</b>
	Os resultados biológicos críticos em ensaios clínicos da Fase 3 ou estudos de eficácia foram validados?
<b>9</b>	<b>Estudos pós-marketing/vigilância. Estudos pós-marketing podem ser necessários.</b>
	Transferir e validar ensaios em instalações adicionais, se necessário

Fonte: Elaboração do Autor

Tabela 3. Padrões de Avaliação do Nível de Atratividade de Mercado – MAL (US\$ milhões,%)

Tamanho Global do Mercado	Até US\$ 9,9	US\$10 ~ US\$ 49,9	US\$ 50 ~ US\$ 99,9	US\$100 ~ US\$ 499,9	US\$500 ~ US\$999,9	Maior US\$ 1000
	1	2	3	4	5	6
Taxa de Crescimento do Mercado Global	Até 4,9 %	5% ~ 9,9%	10% ~14,9%	15% ~19,9%	20% ~ 24,9%	Maior 25%
	1	2	3	4	5	6
Adequação da Política em função do tamanho de mercado	Muito Pequeno	Pequeno	Ligeiramente pequeno	Médio	Ligeiramente Grande	Grande
	1	2	3	4	5	6

Fonte : Livre adaptação do autor com base em Know & Jong-Ku, 2018

## EXPLORANDO UMA ABORDAGEM MULTIDIMENSIONAL PARA AVALIAÇÃO DE TECNOLOGIAS PROMISSORAS

O Nível de Prontidão do Cliente (Customer Readiness Level - CRL) é outro componente essencial do modelo de análise tecnológica proposto. Essa métrica visa avaliar o grau de preparação e receptividade dos potenciais clientes em relação à tecnologia ou produto que está sendo considerado para comercialização.

O CRL é medido através da identificação das necessidades dos clientes em relação à tecnologia ou produto em questão, bem como da prontidão desses clientes para adotá-lo e utilizá-lo em seus processos ou atividades. A métrica é baseada em uma escala de 4 níveis, conforme apresentado na Tabela 4.

Tabela 4. Padrões de Avaliação da Prontidão do Clientes – CLR

Haverá necessidade desse produto/tecnologia nos próximos 5 anos	Haverá necessidade desse produto/tecnologia 1 ~ 5 anos	Ao menos 1 pessoa comprará esse produto/tecnologia no momento	Aum numero de pessoas comprará esse produto/tecnologia no momento
1	2	3	4

Fonte : Livre adaptação do autor a partir de Know & Jong-Ku, 2018.

Os quatro níveis do CRL fornecem uma estrutura para avaliar a demanda e a receptividade do mercado em relação a uma determinada tecnologia ou produto. Cada nível representa um grau diferente de prontidão do cliente para adotar a tecnologia em questão. Vamos discutir sobre cada um dos níveis:

- CRL 1: Haverá necessidade dessa tecnologia nos próximos 5 anos. Neste nível, os clientes ainda não têm uma demanda clara ou imediata pela tecnologia. Pode haver indícios de que a tecnologia se tornará necessária no futuro, mas a demanda atual é limitada. Isso pode indicar que a tecnologia está em uma fase inicial de desenvolvimento ou que o mercado ainda não reconhece completamente a importância ou utilidade dela. É possível que a tecnologia ainda precise passar por mais avanços ou demonstrações de valor para ganhar uma maior adesão dos clientes.
- CRL 2: Haverá necessidade dessa tecnologia entre os próximos 1 a 5 anos. Neste nível, os clientes começam a perceber que a tecnologia será necessária em um futuro próximo. A demanda está começando a se formar, e as perspectivas indicam que a tecnologia pode ser adotada dentro de um prazo de 1 a 5 anos. Pode haver algumas preocupações ou incertezas em relação à tecnologia, mas existe um interesse crescente entre os potenciais clientes.
- CRL 3: Ao menos uma pessoa comprará essa tecnologia nesse momento. Neste nível, a tecnologia já possui pelo menos um cliente ou comprador. A demanda está presente, e pelo menos uma pessoa ou organização reconhece o valor da tecnologia e está disposta a adquiri-la e utilizá-la. Isso indica uma validação inicial da tecnologia no mercado, mas ainda pode estar em uma fase inicial de adoção. É provável que haja espaço para crescimento, mas a presença de pelo menos um cliente é um sinal positivo de interesse no mercado.
- CRL 4: Há um número grande de pessoas que comprará a tecnologia no momento. No nível mais alto de CRL, a tecnologia possui uma demanda considerável e uma base significativa de clientes prontos para adquiri-la. Existe um mercado amplo e bem estabelecido para a tecnologia, com muitos clientes potenciais interessados em comprá-la e utilizá-la. Isso indica uma alta prontidão do cliente para adoção, tornando a tecnologia mais atraente para o mercado e

## EXPLORANDO UMA ABORDAGEM MULTIDIMENSIONAL PARA AVALIAÇÃO DE TECNOLOGIAS PROMISSORAS

oferecendo potencial para um rápido crescimento nas vendas e adoção generalizada.

Avaliar a tecnologia em cada um desses níveis de CRL é crucial para entender a receptividade do mercado e determinar a estratégia adequada para sua comercialização. Ao combinar a avaliação do CRL com os outros dois níveis do modelo - o MAL e o TRL - os tomadores de decisão podem obter uma visão completa da perspectiva da tecnologia, permitindo uma abordagem mais informada e eficaz para a comercialização e transferência tecnológica.

Avaliar o CRL é fundamental para compreender como a tecnologia será recebida pelo mercado e se atende às reais necessidades e demandas dos clientes. Uma alta prontidão do cliente indica maior probabilidade de sucesso comercial, pois indica que a tecnologia está alinhada com as expectativas do mercado e tem o potencial de ser bem recebida pelos consumidores.

Ao combinar o CRL com o MAL e o TRL no modelo proposto, é possível obter uma análise mais completa e equilibrada da viabilidade e potencial de sucesso de uma tecnologia no mercado, melhorando a tomada de decisões estratégicas relacionadas à comercialização e transferência tecnológica.

Uma vez normalizados e apurados, utilizando-se o modelo apresentado na seção metodologia, que preconiza o uso do logaritmo na base 10, os resultados de MAL e CLR retornarão variações entre 0 (zero) e 1 (hum).

De posse dos resultados, é possível estabelecer uma análise cruzada TRL vs MAL, retornando uma matriz de quatro quadrantes, conforme a Figura 2.

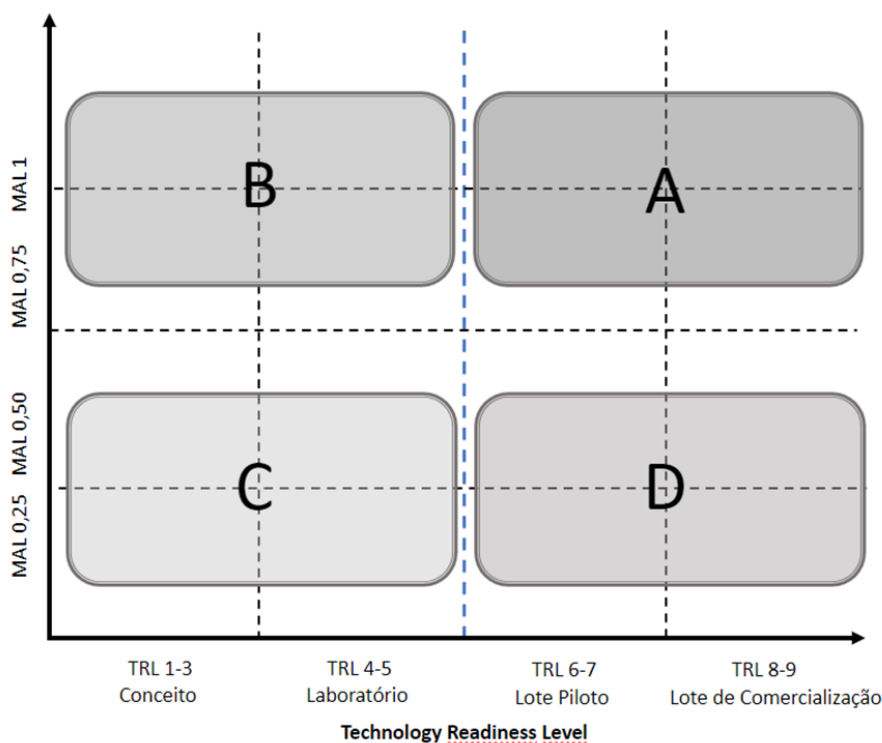


Figura 2. Análise Cruzada TRL vs MAL

A elaboração de um gráfico de quatro quadrantes apresentaria resultados bem próximos ao gráfico da Figura 2, onde o quadrante A indicaria potencial de apropriação para a tecnologia

## EXPLORANDO UMA ABORDAGEM MULTIDIMENSIONAL PARA AVALIAÇÃO DE TECNOLOGIAS PROMISSORAS

no curto prazo, o quadrante B indicaria oportunidade restrita de mercado no curto prazo, o quadrante C uma perspectiva de futuro para a tecnologia mas em um ambiente de limitado crescimento e tamanho e o quadrante D apontaria uma necessidade de ajuste ou reposicionamento da tecnologia para futura adoção pelo mercado. Cabe esclarecer que é necessário o acompanhamento do cenário de mercado para as tecnologias dos quadrantes C e D, dada a dinâmica de preferências e necessidades dos consumidores.

A análise dos níveis de prontidão tecnológica, atratividade de mercado e prontidão do cliente apresenta um potencial significativo na avaliação e no desenvolvimento de tecnologias inovadoras. Essa abordagem sistemática permite uma compreensão mais aprofundada das características e do estágio de uma tecnologia, além de fornecer insights valiosos para orientar estratégias de mercado e investimentos em pesquisa e desenvolvimento.

Um dos principais benefícios dessa análise é a capacidade de identificar a prontidão tecnológica de uma inovação. Ao avaliar o Nível de Prontidão Tecnológica (TRL), é possível determinar se uma tecnologia está em estágios iniciais de pesquisa ou se está pronta para ser adotada e escalada no mercado. Isso auxilia na tomada de decisões estratégicas, permitindo que as empresas direcionem seus recursos e esforços de forma adequada, dependendo do estágio de desenvolvimento da tecnologia.

Além disso, a análise da atratividade do mercado (MAL) permite que as empresas avaliem o potencial de mercado de uma tecnologia. Ao considerar fatores como tamanho e crescimento do mercado, demanda dos consumidores e competição, é possível determinar se uma tecnologia possui um mercado amplo e lucrativo. Isso ajuda as empresas a identificar oportunidades de mercado, desenvolver estratégias de entrada eficazes e antecipar possíveis obstáculos ou desafios.

A análise da prontidão do cliente (CRL) também desempenha um papel fundamental, pois fornece informações sobre o interesse e a aceitação da tecnologia pelos clientes. Ao considerar o nível de interesse do mercado atual e futuro, as empresas podem avaliar o potencial de demanda e adesão dos clientes. Isso permite que elas ajustem suas estratégias de marketing e comunicação, adaptando-as às necessidades e expectativas dos clientes, e desenvolvam estratégias de adoção da tecnologia de forma mais eficiente.

Ao combinar essas três análises, é possível obter uma visão mais abrangente e precisa do potencial de uma tecnologia. A análise cruzada entre TRL, MAL e CRL permite uma avaliação multidimensional, fornecendo insights sobre a viabilidade técnica, comercial e a prontidão do mercado para adoção da tecnologia. Essa compreensão aprofundada é fundamental para orientar decisões estratégicas, como investimentos em P&D, parcerias estratégicas, alocação de recursos e planejamento de entrada no mercado.

No contexto acadêmico, essa abordagem pode contribuir para o avanço do conhecimento nas áreas de inovação e empreendedorismo. Os estudos de caso e pesquisas empíricas que aplicam essa metodologia fornecem insights valiosos sobre as condições necessárias para o sucesso de uma tecnologia no mercado. Além disso, essa análise pode ser útil para a identificação de lacunas na literatura e na compreensão das dinâmicas complexas que envolvem a adoção de tecnologias inovadoras.

Embora a análise dos níveis de prontidão tecnológica, atratividade de mercado e prontidão do cliente seja uma abordagem valiosa, é importante reconhecer suas limitações. Compreender as limitações dessa análise é fundamental para garantir uma interpretação precisa dos resultados e evitar conclusões equivocadas.

Uma das principais limitações está relacionada à subjetividade envolvida na avaliação. Mesmo que especialistas respondam às questões de avaliação, ainda há um certo grau de subjetividade que pode influenciar os resultados. A interpretação individual das perguntas e a aplicação dos critérios de avaliação podem variar entre os avaliadores, o que pode afetar a

consistência dos resultados. É importante reconhecer que diferentes perspectivas e experiências podem levar a diferentes pontuações e classificações.

Além disso, a análise dos níveis de prontidão tecnológica, atratividade de mercado e prontidão do cliente depende da disponibilidade e qualidade dos dados utilizados. A precisão dos resultados está diretamente relacionada à qualidade das informações disponíveis. Se os dados utilizados na avaliação forem limitados, imprecisos ou incompletos, os resultados podem ser comprometidos. É fundamental garantir a confiabilidade e a validade dos dados utilizados na análise.

Outra limitação é que essa abordagem considera os níveis de prontidão de forma sequencial, do mais alto para o mais baixo. Essa abordagem assume que todas as tecnologias promissoras têm o potencial de alcançar o nível máximo de prontidão tecnológica. No entanto, nem todas as tecnologias seguirão uma trajetória linear de desenvolvimento. Algumas tecnologias podem enfrentar desafios imprevistos ou limitações técnicas que as impeçam de atingir o nível máximo de prontidão. Portanto, é importante considerar que o avanço tecnológico nem sempre ocorre de forma previsível ou uniforme.

Cabe destacar que essa análise pode não capturar adequadamente as nuances e complexidades do mercado. Embora o nível de atratividade do mercado (MAL) forneça insights sobre o tamanho, crescimento e demanda potencial do mercado, outros fatores podem influenciar o sucesso ou fracasso de uma tecnologia no mercado. Elementos como a concorrência, as preferências dos consumidores, as tendências de mercado e os fatores econômicos e regulatórios também desempenham um papel significativo na adoção e comercialização de uma tecnologia. Esses fatores podem não ser completamente abordados pela análise proposta.

Ademais, é importante reconhecer que a análise dos níveis de prontidão tecnológica, atratividade de mercado e prontidão do cliente não considera os aspectos éticos, sociais e ambientais relacionados à adoção de uma tecnologia. Embora a análise foque nos aspectos técnicos e comerciais, é crucial considerar os impactos mais amplos que uma tecnologia pode ter na sociedade, no meio ambiente e nas relações humanas. Esses aspectos podem não ser adequadamente abordados pela metodologia proposta, o que limita a abrangência da análise.

Em suma, embora a análise dos níveis de prontidão tecnológica, atratividade de mercado e prontidão do cliente seja uma ferramenta valiosa para avaliar tecnologias inovadoras, é fundamental reconhecer suas limitações. A subjetividade na avaliação, a dependência de dados precisos, a abordagem sequencial, a complexidade do mercado e a exclusão de aspectos éticos e sociais são algumas das limitações que devem ser consideradas ao interpretar os resultados dessa análise. Compreender essas limitações é essencial para uma análise crítica e informada das tecnologias em questão.

## **5 CONCLUSÕES**

Este artigo foi elaborado com o objetivo de propor uma abordagem alternativa para medir a perspectiva de tecnologias promissoras usando não somente a TRL, que apresenta restrições relativas à visão de mercado e dos clientes dessas tecnologias. Assim, propõe-se uma abordagem além da TRL, um modelo híbrido que aborde além do conceito *technology push*, mas que possa contemplar também o conceito *demand pull*, considerando para este fim o uso do Nível de Atratividade do Mercado (MAL) e o Nível de Prontidão do Cliente (CRL).

Modelos híbridos de análise não são novidade. Florin Paun (2011) já apresentava uma proposta de análise cruzada entre o Nível de Maturidade da Demanda (DRL) e o TRL. Contudo, nossa proposta divide a demanda entre potencial de mercado com métricas como tamanho, taxa de crescimento e adequação de políticas em relação ao tamanho (MAL) e as expectativas de clientes (CRL).

## EXPLORANDO UMA ABORDAGEM MULTIDIMENSIONAL PARA AVALIAÇÃO DE TECNOLOGIAS PROMISSORAS

O modelo de análise considera a consulta ao painel de especialistas, sendo esta etapa a grande limitação, dada a subjetividade das respostas. Buscamos então um modelo matemático que proporcionasse subsídios para superação dessa limitação e adotamos a normalização de respostas pela diferença dos limites e eliminação das discrepâncias através do uso de logaritmos.

Vencidas as limitações, é possível realizar as análises e plotar seus resultados de forma gráfica em uma alocação de quatro quadrantes. A análise gráfica por meio de quadrantes nomeados em função da relação entre TRL vs MAL ou MAL vs CRL, permite o entendimento das potencialidades das tecnologias que poderão ser avaliadas pelo modelo. É possível se verificar na análise TRL vs MAL, explicitada na Figura 2, o quadrante A, denominado Apropriação, que traz consigo aquelas tecnologias com elevado MAL e pronta para comercialização/adoção em termos de riscos tecnológicos. A maturidade tecnológica e a grande necessidade de mercado, ensejam uma demanda com menor sensibilidade à preços permitindo auferir elevados ganhos em mercados de menor porte, como aqueles onde pequenas e médias empresas atuam.

Outrossim, entende-se que a proposta ainda é embrionária e pode se desdobrar em muitas outras aplicações. Como sugestão futura apontamos o teste com tecnologias oriundas de projetos de pesquisa em curso assim como o uso do modelo de análise com tecnologias concomitantes de forma que se possa explorar o viés de seleção que a metodologia apresenta.

Este artigo apresentou um modelo de análise tecnológica que combina o Nível de Prontidão Tecnológica (TRL), o nível de atratividade do mercado (MAL) e o Nível de Prontidão do cliente (CRL) para avaliar as perspectivas de tecnologias promissoras. No entanto, existem várias direções futuras que podem ser exploradas para aprimorar ainda mais esse modelo no contexto acadêmico e formal.

Uma perspectiva futura interessante seria a incorporação de técnicas de aprendizado de máquina e análise de dados para automatizar e agilizar o processo de medição dos níveis TRL, MAL e CRL. Isso poderia ser feito coletando dados de várias fontes, como pesquisas de mercado, preferências do consumidor e informações sobre a evolução tecnológica.

Além disso, seria relevante considerar outras dimensões na análise, como sustentabilidade ambiental, aspectos legais e éticos, bem como a competitividade do mercado. Integrar essas dimensões adicionais permitiria uma avaliação mais abrangente da viabilidade e do potencial de sucesso comercial das tecnologias.

Outra perspectiva interessante seria aplicar o modelo proposto em setores específicos, como saúde, energia renovável ou transporte. Isso permitiria adaptar a análise para os desafios e características específicas de cada setor, fornecendo insights valiosos para impulsionar a inovação e o desenvolvimento tecnológico.

No geral, o aprimoramento contínuo do modelo proposto e a exploração de novas direções de pesquisa podem contribuir para uma análise tecnológica mais precisa e abrangente, facilitando a tomada de decisões estratégicas para a comercialização e transferência de tecnologia no âmbito acadêmico e empresarial.

## REFERÊNCIAS

- ABNT ISO 16290 (2015). Sistemas espaciais — Definição dos níveis de maturidade da tecnologia (TRL) e de seus critérios de avaliação. Brasil.
- Anand, S., & Sen, A. (1994). Human Development Index: **Methodology and Measurement**.
- Amaral, L.F.G. & Arnaut, B. M. (2022). Avaliação De Prontidão Tecnológica como Prática de Gestão para Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação de Produtos Estratégicos de Defesa. Trabalho de conclusão de curso apresentado no Curso de Especialização de Altos Estudos em Defesa da Escola Superior de Defesa (ESD).
- Barbalho, S. C. M., Ghesti, G. F., Carvalho, S. M. S., dos Santos, C. D., Martin, A. R., & Eliane, R. (2019). Capítulo 2 A Gestão da Inovação na Universidade de Brasília. In **BOAS PRÁTICAS DE GESTÃO EM NÚCLEOS DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA: Experiências Inovadoras**.
- Brasil, Lei nº 9729, de 14 de maio de 1996. Regula os direitos e obrigações relativos à propriedade industrial. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, p. 8353, 15 mai. 1996.
- 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: seção 1, Brasília, DF, n 232, p. 2-4, 3 dez. 2004.
- 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 e dá outras providências. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, n 07, p 1-5, 11 jan. 2016.
- Brasil, Lei Complementar nº 182, de 1º de junho de 2021. Institui o marco legal das startups e do empreendedorismo inovador e dá outras providências. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, n 07, p 1-4, 1º jan. 2021.
- Catarino, L. C. (2014). **Abordagem dos modelos de TRL, MRL CMMI-DEV aplicada ao desenvolvimento de pequenos e médios fornecedores na cadeia produtiva espacial**. São José dos Campos: INPE.
- Héder, M. (2017). From NASA to EUA: The evolution of the TRL scale in Public Sector Innovation. **The Innovation Journal**, 22(2), 1-23.
- Hicks, N., & Streeten, P. (1979). Indicators of development: The search for a basic needs yardstick. **World development**, 7(6), 567-580.
- Joung, J.; Kim, K. (2017). Monitorando tecnologias emergentes para planejamento de tecnologia usando análise técnica baseada em palavras-chave a partir de dados de patentes. **O Technol. Previsão. Soc. Chang.**, 114, 281-292.
- Kim, G.; Bae, J. (2017). Uma nova abordagem para prever tecnologia promissora através da análise de patentes. **O Technol. Previsão. Soc. Chang.**, 117, 228-237.
- Know & Jong-Ku (2018). Um estudo de caso sobre a seleção promissora de produtos Indicadores para Pequenas e Médias Empresas. **Journal of Open Innovation**.
- Mankins, J. C. (1995). Technology readiness levels. White Paper, April, 6(1995), 1995.
- Paun, F. (2011). "Demand Readiness Level" (DRL), a new tool to hybridize Market Pull and Technology Push approaches. **Springer Encyclopedia JEL** Code O14, O3, O44.

**EXPLORANDO UMA ABORDAGEM MULTIDIMENSIONAL PARA AVALIAÇÃO DE  
TECNOLOGIAS PROMISSORAS**

- Paun, F. (2012). The demand readiness level scale as new proposed tool to hybridise market pull with technology push approaches in technology transfer practices. In **Technology transfer in a global economy** (pp. 353-366). Springer, Boston, MA.
- Sarfaraz, M., Sauser, B. J., & Bauer, E. W. (2012). Using system architecture maturity artifacts to improve technology maturity assessment. **Procedia Computer Science**, 8, 165-170.
- Straub, J. (2015). In Search of Technology Readiness Level (TRL) 10. **Aerospace Science and Technology**, 46, 312-320.
- Tao, L.; Probert, D.; Phaal, R. (2009). Rumo a uma estrutura integrada para a gestão do processo de inovação. **P&D Manag.**, 40, 19-30.
- UNDP (United Nations Development Programme). (2010). Human Development Report 2010: The Real Wealth of Nations: Pathways to Human Development. New York.
- US Department of Defense (2009). **Technology Readiness Assessment (TRA) Deskbook**.
- Young, R., Montgomery, E., & Adams, C. (2007). TRL assessment of solar sail technology development following the 20-meter system ground demonstrator hardware testing. In **48th AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics, and Materials Conference** (p. 2248).
- Yun, J.H.J.; Won, D.; Jeong, E.; Park, K.; Lee, D.; Yigitcanlar, T. (2017). Desmantelamento da Curva Invertida de Inovação Aberta. **Sustentabilidade**, 9, 1423.