

O FINANCIAMENTO A EMPREENDIMENTOS DE BASE TECNOLÓGICA - O CASO FABNS

Matheus Oliveira Azzi (UFMG)

Márcia Siqueira Rapini (Cedeplar/UFMG)

Márcia Diniz (ICEX/UFMG)

Ado Jório de Vasconcelos (ICEX/ UFMG)

Resumo:

Este artigo apresenta a trajetória de financiamento público de uma spin-off acadêmica de bem de capital deste as atividades de pesquisa até alcançar a maturidade tecnológica para inserção do produto no mercado. Os recursos financeiros captados, bem como os recursos humanos envolvidos no desenvolvimento da tecnologia são apresentados na perspectiva temporal da TRL - Escala de Prontidão Tecnológica (TRL) a fim de evidenciar a complexidade do processo de financeiro necessário para lidar com os diferentes níveis de incerteza no desenvolvimento de uma tecnologia. O financiamento público, ainda que na sua maioria para as atividades científicas, abrangeu instrumentos diferenciados que foram importantes para o avanço no desenvolvimento tecnológico. Ademais do financiamento, capital intelectual e infraestrutura de pesquisa foram fundamentais para a criação do empreendimento acadêmico baseado na ciência.

Palavras-chaves: spin-off acadêmica, financiamento, nanotecnologia, Escala de Prontidão Tecnológica.

Abstract:

This article presents the trajectory of public funding of an academic spin-off of a capital good from research activities until reaching technological maturity for product insertion in the market. The financial resources raised, as well as the human resources involved in the development of the technology are presented in the time perspective of the TRL - Technological Readiness Scale (TRL) in order to highlight the complexity of the financial process necessary to deal with the different levels of uncertainty in the development of a technology. Public funding, although mostly for scientific activities, covered differentiated instruments that were important for advancing technological development. In addition to funding, intellectual capital and research infrastructure were fundamental for the creation of the science-based academic enterprise.

Key-words: academic spin-off, funding, nanotechnology, Technology Readiness Level

Classificação JEL: 038

1. Introdução

O Brasil, seguindo a trajetória observada em outros países, desde os anos 2000 vem fomentando e incentivando as atividades de inovação, inclusive com a criação de um marco legal de CT&I à partir da Lei de Inovação (Lei 10.973/2004) e de sua revisão no o Marco Legal de C&T&I (Lei 13.243/2016). Uma das importantes vertentes para a materialização deste objetivo são as inúmeras ações para a promoção da cooperação entre empresas e universidades bem como o fomento ao empreendedorismo nas universidades. Neste escopo as ICTs passaram a ter a obrigatoriedade de terem nas suas estruturas o Nucleo de Inovação Tecnológica (NIT).

O Relatório do Fortec de 2021 aponta que ainda que as ICTs nacionais tenham avançado na implementação dos NITs, bem como nas atividades relacionadas à propriedade intelectual, em relação à criação de spin-offs como mecanismos de transferência de conhecimento e de tecnologia ainda há um longo caminho a ser percorrido. Este artigo se propõe a analisar a trajetória de financiamento de um empreendimento acadêmico de base tecnológica oriundo de uma universidade federal brasileira na área de nanotecnologia.

Algumas spin-offs acadêmicas se caracterizam por serem intensivas em conhecimento científico, oriundas do acúmulo de conhecimento nos pesquisadores e na universidade. Neste contexto de elevada cumulatividade o processo de desenvolvimento da tecnologia, seja como produto ou serviço, irá exigir financiamento paciente, capaz de lidar com diferentes tipos e níveis de incerteza e com o tempo necessário para culminar cada etapa de maturidade tecnológica.

A trajetória do financiamento público da spin-off acadêmica, a FABNs, é apresentada à luz da *Technology Readiness Level* – TRL que identifica a maturidade tecnológica. A TRL pode ser definida como uma escala linear de 9 níveis, sendo 1 o nível inicial de desenvolvimento tecnológico da escala e 9 o nível final de desenvolvimento tecnológico, que consegue avaliar através do conceito de figura de mérito o quão madura é a tecnologia (MANKINS, 2009b; HEDER, 2017; OLIVIERI, 2014). A escala passou a ter mais relevância para as políticas de inovação nacional graças a adesão da mesma por instituições de fomento, como é o caso das Unidades EMBRAPII que foram pioneiras na utilização da escala para a determinação de níveis de desenvolvimento dos projetos apoiados com recursos federais de subvenção econômica (MARTIN *et al.*, 2019).

Ademais desta introdução o artigo possui mais 5 seções. A próxima seção apresenta justificativas para o financiamento a empreendimentos de base tecnológica. A terceira seção apresenta a metodologia ancorada da realização de um estudo de caso em profundidade com atores protagonista no desenvolvimento da tecnologia. A quarta seção apresenta a Escala de Prontidão Tecnológica (TRL) e a quinta seção apresenta os recursos utilizados para a criação da spin-off acadêmica de base tecnológica à partir da ótica da TRL. Por fim algumas considerações finais são realizadas na busca de um diálogo com políticas públicas de fomento à C&T&I no Brasil.

2. Financiamento a empreendimentos de base tecnológica

As empresas de base tecnológica, ou EBTs como tratados na literatura brasileira, se caracterizam por serem empresas cujos bens ou serviços são provenientes de competências raras, se não, exclusivas, em termos de processos ou produtos que incorporam alto grau de conhecimento científico (FERRO, TORKOMIAN, 1988). De acordo com Carvalho *et al.* (1998, p. 462), as EBTs estão “comprometidas com o projeto, desenvolvimento e produção de

novos produtos e/ou processos, caracterizando-se ainda pela aplicação sistemática de conhecimento técnico-científico (ciência aplicada e engenharia)”.

De acordo com Pinho *et al.* (2005) e Côrtes *et al.* (2005) as EBTs em países em desenvolvimento se caracterizam por 1) realizarem esforços tecnológicos significativos e por 2) concentrarem suas atividades na fabricação de “novos” produtos. Mas o conceito de “novo” não necessariamente representa um produto inédito em âmbito global ou ao menos regional, podendo, simplesmente, representar o acesso a novos mercados ou geração de produtos e/ou serviços de maior qualidade e/ou menor preço, ou seja, as empresas podem apenas realizar inovações incrementais à partir da adaptação, imitação ou engenharia reversa.

A Anprotec define a EBT como sendo um “empreendimento que fundamenta sua atividade produtiva no desenvolvimento de novos produtos ou processos, baseado na aplicação sistemática de conhecimentos científicos e tecnológicos e utilização de técnicas avançadas ou pioneiras. As EBTs têm como principal insumo os conhecimentos e as informações técnico-científicas” ANPROTEC (2002, p. 47)

As EBTs são, portanto, empresas baseadas em conhecimento e podem ter como origem spin-offs acadêmicas, sendo neste caso empresas nascentes. Estas últimas são empresas criadas a partir de universidades para explorar conhecimento produzido por atividades acadêmicas através de uma empresa, propiciando a geração de lucros (PIRMAY *et al.* 2003) e a transferência de conhecimento e tecnologia para a sociedade.

As EBTs estão posicionadas na fronteira do conhecimento tecnológico, o que remete à importância do conhecimento técnico e científico e do capital intelectual como o principal diferencial competitivo nestas empresas. De acordo com a Anprotec (2002, pg. 30) a qualificação ser de base tecnológica implica na empresa em atender a duas condições que estão interligadas: 1) “processo ou produto que resulta da pesquisa científica e cujo valor agregado advém das áreas de tecnologia avançada”; (b) “aplicação do conhecimento científico, do domínio de técnicas complexas e do trabalho de alta qualificação técnica”. As EBTs são um canal no qual os conhecimentos científico e tecnológico podem ser convertidos em inovação.

Cabe recordar que o processo de inovação que se inicia em atividades de pesquisa básica envolve um conjunto de etapas interrelacionadas. Cada etapa caracteriza-se por determinadas atividades, agentes envolvidos, bem como por resultados, que são insumos para as etapas subsequentes. No geral, as atividades exigem como insumos conhecimentos incorporados no pessoal técnico, equipamentos especializados, bem como o investimento de tempo para utilizar estes recursos. Mas como o processo de inovação é permeado por uma incerteza real, os resultados não podem ser previstos perfeitamente a partir dos insumos.

A incerteza no processo inovativo não se restringe somente à ausência de informação relevante sobre a ocorrência de eventos conhecidos, mas também em limitações das capacidades computacional e cognitiva do agente para solucionar os problemas. Mesmo que a informação esteja disponível, o indivíduo apresenta limitações para reconhecer e interpretar a informação relevante. Ou seja, há uma incerteza do processo de inovação relacionado à ausência de conhecimento para solucionar um problema (DOSI, 1988). A comercialização de um produto por uma EBT irá exigir, portanto, transpor os diferentes tipos de incerteza.

Ademais, as distintas etapas do processo de inovação requerem diferentes comprometimentos financeiros em vista do investimento necessário e da incerteza presente, por ser um processo que requer um fluxo contínuo de recursos para cada uma das etapas. Nas etapas iniciais a incerteza técnica-tecnológica é maior e talvez o montante de recursos financeiros necessários para avançar seja menos significativo. Mas o avanço na maturidade tecnológica traz outros tipos de incerteza bem como a necessidade de maior montante de recursos financeiros.

Os investimentos em atividades inovativas ainda são caracterizados por uma perspectiva temporal indefinida, pela dificuldade de apropriação privada dos benefícios (FRENKEL, 1993)

e pela indivisibilidade. Além do mais, apresentam uma elevada assimetria de informação entre o ofertante de crédito e o demandante (CHRISTENSEN, 1992). Estas características que tornam impossíveis quantificações *ex-ante* dos custos e da lucratividade potencial, fazem com que seja difícil o financiamento externo (ARROW, 1962) e que os mecanismos de mercados falhem em assegurar um financiamento (*funding*) adequado (GUINET, 1995).

Neste contexto, as EBTs por suas características, muitas vezes, necessitam de instrumentos diferenciados de financiamento para o desenvolvimento de suas atividades, sendo fundamental a existência de fontes externas para o financiamento de atividades de P&D (Brown *et al.*, 2007). Em vista disto, o desenvolvimento de empresas de base tecnológica, em geral, está associado à existência de atores institucionais e de organizações que dão suporte no estágio inicial, através de relações diretas, como a provisão de recursos financeiros de bancos e investidores, ou indiretamente através de cooperação com universidades e centros de pesquisa (GIUDICI & PALEARI, 2000). No início de suas atividades (desenvolvimento de uma idéia inovadora) a empresa requer recursos estatais à fundo perdido -uma das modalidades do seed money-, em um segundo momento necessita de aporte de capital de risco (para implementar o projeto) e em um terceiro, se desejar aumentar a escala de produção, a empresa pode ter a opção de usar o seu próprio capital (PRATES *et al.*, 2000).

No cenário brasileiro, no geral, a maior parte do financiamento a empreendimentos de base tecnológica é realizado através do financiamento público. Mesmo a modalidade do capital de risco, em suas primeiras inciativas foram ancoradas em instituições federais como o BNDES e a FINEP. Segundo Mazzucato (2014) o financiamento público às atividades de pesquisas em seus estágios iniciais, mas não apenas nesta etapa, é um dos papéis desempenhados pelo Estado empreendedor, para a criação de uma base de conhecimento em determinadas áreas que permitem o posterior desenvolvimento tecnológico e de inovação por parte das empresas.

A empresa de base tecnológica FabNS teve sua origem em atividades de pesquisa acadêmica e sua trajetória, do ponto de vista das fontes de financiamento, será apresentada na próxima seção. O financiamento da pesquisa até alcançar a maturidade de uma tecnologia e seu desenvolvimento para a criação da empresa foi majoritariamente com recursos públicos, ainda que de diferentes modalidades.

3. Metodologia

A metodologia utilizada neste artigo foi a de um estudo de caso. De acordo com Yin (2001) o estudo de caso é uma “uma investigação empírica que investiga um fenômeno dentro de seu contexto da vida real, especialmente quando os limites entre o fenômeno e o contexto não estão claramente definidos”. (YIN, 2001, pg 32). A pesquisa realizada aborda um problema contemporâneo de constante mudança, o qual não é possível um controle do ambiente, da mesma forma como não ter o controle não afeta a análise, já que não é possível controlar os agentes no processo de avaliação de liberação de recursos ou controlar a sua liberação.

Para a coletas das informações foram realizadas entrevistas semiestruturadas com os responsáveis pelo desenvolvimento da pesquisa e do produto. As entrevistas foram guiadas por um roteiro estruturado onde a pergunta inicial foi: "narre a trajetória da pesquisa até virar um produto desde a concepção da ideia até o estágio de maturidade atual do produto". Os entrevistados tiveram liberdade para relatar o desenvolvimento da pesquisa, e quando necessário mais informações foram captadas através de novas perguntas. Além das entrevistas, foram coletados outras fontes de informação como a produção acadêmica e científica dos pesquisadores e fontes complementares sobre os recursos. Os nomes dos pesquisadores, produtos e agentes envolvidos foram suprimidos da narrativa do caso analisado, respeitando a confidencialidade das informações das pesquisas.

O estudo de caso analisado neste artigo é o do desenvolvimento do Nanoscópio ótico de alta resolução. O equipamento foi lançado em maio de 2022 como o carro chefe da empresa nascente de base tecnológica que licenciou o produto. A narrativa da trajetória do desenvolvimento tecnológico no grupo começa em 2003, quando o pesquisador vai à uma conferência científica em sua área de especialização e toma conhecimento de uma nova técnica na área de microscopia e espectroscopia óptica.

A técnica em questão unia a técnica de espectroscopia óptica que consegue determinar propriedades físico-químicas de um material através da radiação eletromagnética emitida por uma amostra com a microscopia por varredura de sonda. Tratava-se da TERS, do inglês *Tip-enhanced Raman spectroscopy*, que utiliza de espectroscopia Raman e microscopia de força atômica para conseguir “enxergar” para além das limitações físicas da óptica imprimidas pelo fenômeno de difração (ZHANG, 2016).

Ao deparar-se com a técnica, o pesquisador, aguçado por motivações de expansão do conhecimento científico em sua área de atuação, começa a sua pesquisa na área. Fica claro que a técnica base que dá origem à pesquisa do nanoscópio era fruto não apenas das pesquisas científicas apresentadas no Congresso que o professor havia visto em 2003, mas de uma proposta de solução tecnológica datada de 1928 e de desenvolvimentos tecnológicos em lentes, microprocessadores e outras tecnologias que precisavam ser desenvolvidas para que a TERS fosse uma realidade prática e não apenas teórica, demonstrada no início dos anos 2000.

Com a curiosidade científica aguçada, o pesquisador além de aprofundar seus conhecimentos sobre a técnica, entra em contato com o palestrante que havia apresentado a técnica TERS para aprender mais sobre o assunto. O professor foi bem recebido e introduzido prontamente para a rede de pesquisadores que estavam trabalhando na fronteira do conhecimento da técnica em questão. O processo de desenvolvimento dos primeiros protótipos laboratoriais no mundo capazes de executar TERS também é fruto do desenvolvimento de rede facilitado entre os pesquisadores da área.

No laboratório do professor da Universidade de Rochester (EUA), desenvolvedor do trabalho exposto em 2003, o primeiro protótipo foi construído. Este pesquisador acompanhou o desenvolvimento do protótipo como parte da equipe e teve toda a liberdade para replicá-lo posteriormente no desenvolvimento da sua carreira científica. Esse mesmo professor, não apenas passou os conhecimentos para replicar o protótipo, mas convidou o professor brasileiro para passar alguns dias na Universidade estadunidense em janeiro de 2005 para montar as partes tecnicamente mais complexas e específicas, que envolviam unidades de controle e microeletrônica que foram disponibilizadas gratuitamente para terminar o protótipo. Um discente que terminava o doutorado na área sob orientação do professor brasileiro realizaria um pós-doutorado com o grupo de Rochester, onde ficou por três anos desenvolvendo os trabalhos de pesquisa e aprendendo sobre o equipamento, antes de voltar ao Brasil em 2009 e se tornar docente na mesma universidade.

Até o professor ir para a Universidade de Rochester, no entanto, os caminhos científicos tradicionais foram traçados em paralelo às conversas para montagem do protótipo. O pesquisador aprofundou suas especializações na técnica, orientou discentes da UFMG em estudos sobre TERS e precisou convencer a Instituição de Ciência e Tecnologia (ICT) e órgãos de fomento a financiarem a aquisição das peças que ele precisava para montar as partes antes de ir, em 2005, para a Universidade de Rochester finalizar as partes do protótipo para montagem local do equipamento.

Com o protótipo instalado em território nacional, a técnica passou a ser aplicada para a produção de conhecimento científico, que era o objetivo finalístico da trajetória do pesquisador. Já em 2006, o Laboratório da área de pesquisa havia se instaurado no Departamento de Física da universidade com o objetivo de produzir conhecimento científico relacionado à técnica e ao equipamento recém-instalado. O processo de pesquisa do laboratório, como usualmente ocorre

em uma ICT, caminha lado a lado com ensino. Novos pesquisadores foram sendo formados para TERS. Além disso, pesquisadores de outras áreas começaram a colaborar na produção de conhecimento utilizando a técnica, intrinsecamente ligada a pesquisas em nanomateriais que eclodiam ao mesmo momento em departamentos próximos.

Mesmo com todo o avanço tecnológico que propiciou a proposta de 1928 sair da teoria e chegar na prática, ainda existiam desafios claros para os pesquisadores da área. O principal deles, por consenso, estava relacionado à “nano antena” responsável por captar o sinal eletromagnético para a técnica de espectroscopia Raman. Não existia alternativa tecnológica para tratá-la e todas as pesquisas no mundo evoluíam dentro dessa limitação, o que não era diferente para os pesquisadores no laboratório brasileiro. Todos, de uma forma ou de outra, buscavam resolver esse desafio tecnológico.

O grupo continuou desenvolvendo a pesquisa científica da área, promovendo mais ensino e colaboração iniciando parceria com o INMETRO na área de nanometrologia. Esta parceria foi intensificada com a criação de um Laboratório Associado, o que permitiu o desenvolvimento da tecnologia que é carro-chefe da empresa *spin-off*. Ao longo de 2011 e 2012 foram submetidos no INPI patentes relacionadas a desenhos de nanoantenas para o nanoscópio.

Outras parcerias foram iniciadas com professor de Engenharia de Produção para avanços no protótipo em termos de facilidade do uso, *design* do produto, operacionalização e confiabilidade para a possibilidade de inserção no mercado. Em 2016, com a ideia de construir uma empresa nascente de base tecnológica para explorar e continuar o desenvolvimento das tecnologias, o grupo conseguiu uma fonte de financiamento para a elaboração de um Plano de Negócios, permitindo projetar as necessidades financeiras para a criação da empresa.

O financiamento necessário para avançar na maturidade tecnologia foi viabilizado através de um arranjo entre uma agência de desenvolvimento de Minas Gerais (Codemge), unidades Embrapii da universidade e o SENAI. Outra mudança necessária foi em relação à composição da equipe de pesquisa, visto ser clara a necessidade de profissionais de outras áreas para além da física. Em 2022 a empresa nascente de base tecnológica, já criada, recebe recursos de um fundo de capital de risco da agência de financiamento da universidade. Este financiamento inaugura uma nova fase relacionada às melhorias necessárias para a comercialização do produto em maior escala.

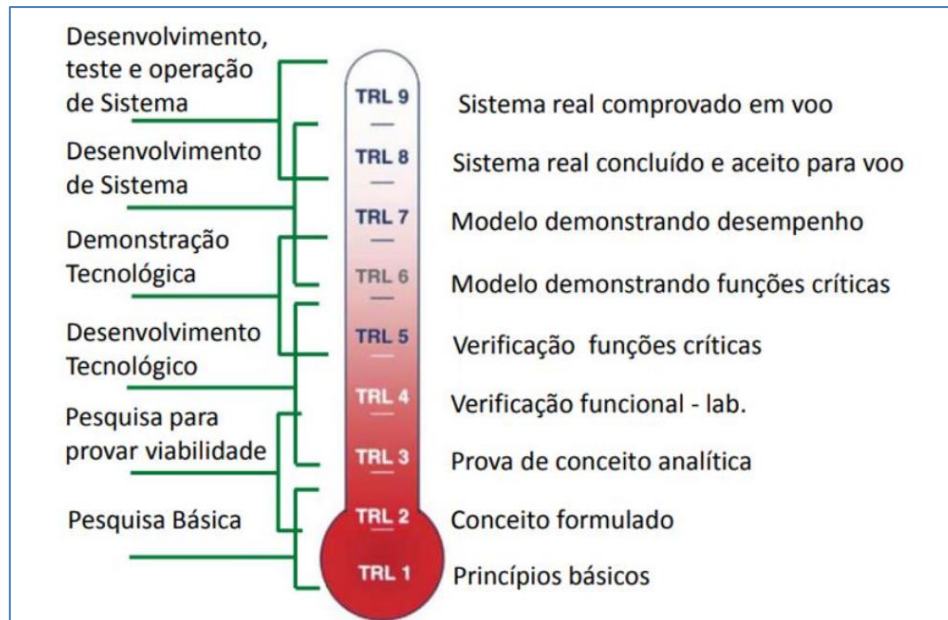
4. A Escala de Prontidão Tecnológica

A Escala de Prontidão Tecnológica, no inglês, *Technology Readiness Levels* (TRL), foi publicada em 1995 por Jonh Mankins, funcionário da *National Aeronautics and Space Administration* – NASA. A instituição já vinha utilizando a escala desde o início da década de 70 para a determinação do estágio de desenvolvimento das tecnologias que vinham sendo produzidas internamente (MANKINS, 1995). Essa ferramenta surgiu através de avanços de conceitos de maturidade tecnológica que estavam sendo desenvolvidos na Agência Espacial durante a década de 1960 para a liberação de equipamentos para decolagem (MANKINS, 2009b) e também para compreender se uma nova tecnologia espacial deveria ser desenvolvida (HEDER, 2017). Com o direcionamento do governo estadunidense do desenvolvimento tecnológico para aplicação para a sociedade civil na década de 1980, a NASA avança ainda mais em suas ferramentas, propondo níveis de prontidão para os estágios de desenvolvimento observados na agência (HEDER, 2017).

Em 1991, a NASA passou a adotar os Níveis de Prontidão em um dos seus planos e incorporou outros dois níveis à escala. Em 1995, John C. Mankins, publica esses níveis e os denomina de Escala de Prontidão Tecnológica. A clássica Figura 1 traz a ilustração da escala

criada por Mankins, adaptada para a língua portuguesa pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

Figura 1: Ilustração da Escala de Prontidão Tecnológica traduzida do original de Mankins



Fonte: Mankins (2009) adaptado, apud INPE (2016).

A TRL utiliza o que é chamado de figura de mérito, do inglês, *figure of merit* (FOM). Olivieri (2014) define a FOM como uma “*quantidade usada para caracterizar a performance de um aparelho, sistema, ou método relativamente às suas alternativas*” (pg 1). Nesse sentido, a TRL traz uma escala linear de 9 níveis, sendo 1 o nível inicial de desenvolvimento tecnológico da escala e 9 o nível final de desenvolvimento tecnológico, que consegue avaliar através do conceito de figura de mérito o quão madura é a tecnologia naquele presente momento.

No Brasil, a ABNT NBR ISO 16290: 2015 é a norma que define quais são as descrições dos níveis da TRL e também os marcos que devem ser documentados e alcançados para classificação do avanço de maturidade tecnológica (MARTIN *et al.*, 2019).

A escala passou a ter mais relevância para as políticas de inovação nacional graças a adesão da mesma por instituições de fomento, como é o caso das Unidades EMBRAPII que foram pioneiras na utilização da escala para a determinação de níveis de desenvolvimento dos projetos apoiados com recursos federais de subvenção econômica (MARTIN *et al.*, 2019). Os resultados dos projetos apoiados pela Embrapii devem necessariamente estar classificados entre 3 e 5 na escala TRL¹.

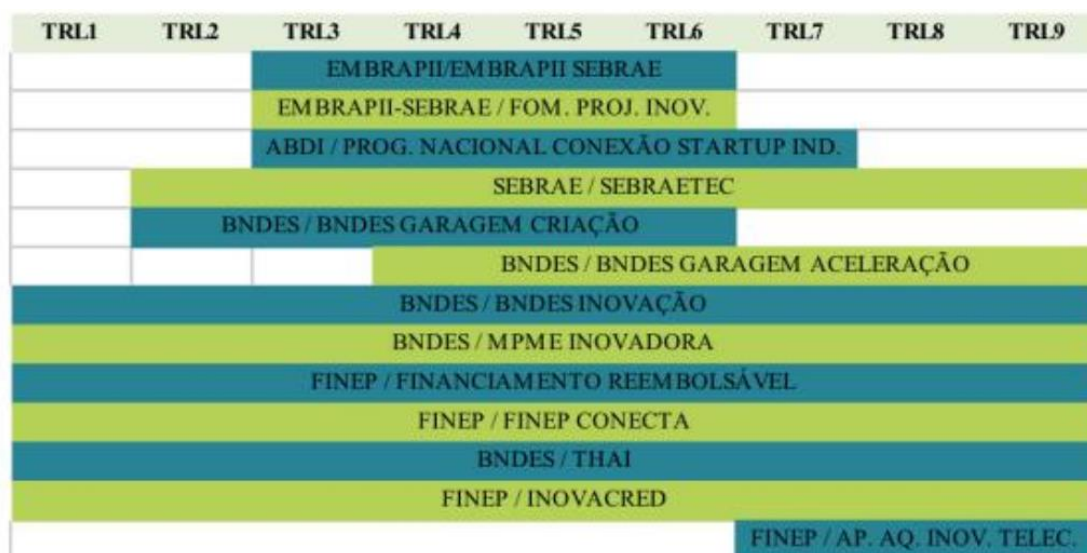
Outras instituições de fomento também utilizaram a TRL como parâmetro de avaliação do estágio de desenvolvimento das pesquisas. Na Figura 2 são apresentados alguns Programas e instrumentos que utilizaram a TRL como base avaliativa, o que justifica a apresentação da trajetória de financiamento da tecnologia à partir desta escala. Na literatura, um dos principais pontos de deficiência da TRL está atrelado a dificuldade de identificação dos recursos

¹ No Manual de Operações da Embrapii apresenta também avaliação dos níveis de maturidade tecnológica específicas para processos industriais (*Manufacturing Readiness Level* - MaRL), para softwares (*Software Technology Readiness Levels* - STRL) e para o desenvolvimento de fármacos e biofármacos de desenvolvimento próprio (EMBRAPII, 2020)

necessários para se alcançar novos desenvolvimentos tecnológicos (MANKINS, 2009; BAKKE, 2017; OLECHOWSKI *et al.*, 2020)².

Os recursos financeiros e humanos que viabilizaram a criação da FabNS serão apresentados de acordo com os estágios de desenvolvimento da tecnológica mapeados através da TRL na próxima seção.

Figura 2: Programas do Governo Federal que utilizam a TRL na definição de critérios de financiamento.



Fonte: Martin *et al.* (2019).

5. Recursos utilizados para a criação da FabNS e o uso da TRL

O desenvolvimento da tecnologia da FabNS aconteceu durante um período de aproximadamente 20 anos, valendo-se de um amplo conjunto de recursos financeiros e humanos durante seus diferentes estágios. O Gráfico 1 apresenta os recursos financeiros utilizados ao longo do período até o desenvolvimento da primeira versão comercializável do nanoscópio. Os valores foram inflacionados de acordo com o INPC de 2022 e somam R\$ 19188.693,79 em todo o período. Conforme pode ser visualizado, o desenvolvimento da tecnologia contou com 2 momentos nos quais o aporte de recurso foi mais expressivo em 2013 e em 2018. As características de cada fase serão explicadas na seção seguinte.

Com exceção do ano de 2007 que se caracterizou pela ausência de recursos financeiros, nos demais houve fluxo de recursos financeiros – ainda que de forma heterogênea em relação ao montante anual. A manutenção de fluxo de recursos financeiros é fundamental para sustentar as diversas atividades de pesquisa, impedindo a interrupção dos fluxos de informação e os processos de aprendizado inerentes às diversas etapas de um processo de inovação que se inicia em atividades de pesquisa básica.

² Algumas das críticas ao uso da TRL estão também sistematizadas em Olechowski *et al.* (2020) e Hasenauer *et al.*, (2016).

Gráfico 1: Recursos financeiros utilizados no desenvolvimento da tecnologia e na criação da empresa, 2002-2019.



Fonte: Elaboração própria, dados LabNS.

A Tabela 1, por sua vez, apresenta a fonte financiadora dos recursos financeiros utilizados no desenvolvimento da tecnologia, bem como o tipo de recurso disponibilizado. Como já amplamente identificado na literatura, as atividades de pesquisa no geral são financiadas com recursos de fontes públicas, visto o elevado grau de incerteza quanto às possíveis aplicações. Em vários anos observa-se o financiamento através de instituições nacionais de fomento como CNPq e CAPES, bem como da FAPEMIG que é instituição estadual de fomento do estado de Minas Gerais. Em 2002 também houve financiamento com recursos da própria universidade. Em 2009, 2015 e 2016 os pesquisadores contaram também com financiamento internacional de agências norte-americanas e do governo suíço para a realização de eventos. Os picos de captação de recursos ilustrados no Gráfico 1 foram de recursos provenientes da FINEP, CODEMGE e EMBRAPIL, instituições que possuem linhas de financiamentos para estágios mais avançados do desenvolvimento da pesquisa, bem como apresentam a possibilidade de realizar maiores aportes de montantes financeiros. Mas mesmo com a diversificação das instituições financiadoras ao longo dos anos, o financiamento de instituições nacionais de apoio à ciência como CNPq e CAPES esteve presente ao longo de todo o processo de desenvolvimento da tecnologia. O desenvolvimento de tecnologias baseadas no conhecimento científico requer constante ampliação e modernização de infraestrutura laboratorial, o que foi possibilitado, neste caso, pelos inúmeros financiamentos direcionados à compra de equipamentos.

Tabela 1: Fontes de financiamento para o desenvolvimento da tecnologia, 2002-2019.

ANO	Recursos financeiros*	Instituição Financiadora	Tipos de Recurso
2002	R\$ 104.972,80	PRPq/Universidade	Equipamentos/consumo
2003	R\$ 37.475,22	Fapemig	Equipamentos/consumo
2004	R\$ 43.695,11	CNPq	Equipamentos/consumo
2005	R\$ 23.439,34	Fapemig	Equipamentos/consumo

2006	R\$ 886.427,62	CNPq; CAPES/DAAD	Equipamentos/consumo e Custeio
2007			
2008	R\$ 557.789,27	Rede Nanotubos	Equipamentos/consumo
2009	R\$ 1.014.946,21	AFOSR/USA; CNPq/MCT	Equipamentos/consumo
2010	R\$ 449.410,90	Pronex/Fapemig; CNPq/MCT	Equipamentos/consumo
2011	R\$ 650.846,18	CNPq; FAPEMIG/PRONEX	Equipamentos/consumo
2012	R\$ 153.372,66	i-Vision/ CNPq/MCT; CNPq Bionanocomp.	Equipamentos/consumo
2013	R\$ 808.411,33	Finep e CNPq/MCT	Equipamentos/consumo
2014	R\$ 1.849.162,52	CNPq/MCT e CAPES	Equipamentos/consumo; Organização de evento
2015	R\$ 10.637,49	CNPq/MCT/ Governo Suíço	Equipamentos/consumo; Networking / divulg. tecnol.
2016	R\$ 1.742.243,52	USArmy Resarch Lab; CNPq/MCT; FAPEMIG; Governo Suíço	Equipamentos/consumo; Organização de evento; Networking / divulgação da tecnologia
2017	R\$ 193.133,84	CNPq/MCT; FAPEMIG	Equipamentos/consumo
2018	R\$ 7.346.617,87	Codemge/Embrapiis; FINEP	Equipamentos; Consumo
2019	R\$ 379.776,20	CNPq; CAPES	Equipamentos/consumo; Custeio; Bolsas
2020	R\$ 4.646,55	CNPq	Custeio/bolsas
2022	R\$ 88.785,8	FAPEMIG	Custeio/bolsas

Fonte: elaboração própria, dados LabNS.

Nota: Valores inflacionados de acordo com o INPC de 2022.

A Tabela 2 apresenta os recursos humanos envolvidos no desenvolvimento da tecnologia entre 2003-2022 de acordo com a categoria de formação das atividades de pesquisa: iniciação científica, mestrado, doutorado e pós-doutorado. Ao longo do período estiveram envolvidos no projeto 117 bolsas de pesquisa, sendo 46% do total, ou seja, 54 bolsas ao nível da graduação de iniciação científica. Ao nível da pós-graduação foram 19 bolsas de mestrado, 25 de doutorado e 19 de pós-doutorado. O tempo de duração das bolsas de pós-graduação é distinto e não se pode observar uma correlação direta com o aumento do financiamento ou com os picos de financiamento ilustrados no Gráfico 1. Contudo, o elevado número de recursos humanos de maior qualificação (doutorado e pós-doutorado) envolvidos no seu desenvolvimento, evidencia a complexidade do desenvolvimento da tecnologia que é intensiva em conhecimento científico de fronteira. Alguns pesquisadores foram contemplados com mais de uma bolsa ao longo do seu período de pesquisa de desenvolvimento da tecnologia, de forma que considerado este aspecto, estiveram envolvidos neste período 85 discentes.

Tabela 2: Recursos humanos de pesquisa envolvidos no desenvolvimento da tecnologia, 2003-2022

Ano	IC	Mestrado	Doutorado	Pos doutorado	Total
2003	2	1			3
2004	1				1
2005	1	1	1		3
2006	1		1		2
2007	2			1	3
2008	1				1
2009	1		1		2
2010	5		1	1	7
2011	1	1	1	3	6
2012	1	2		1	4
2013	6				6
2014	7	1	2	1	11
2015	4	1	1		6
2016	7	1	3	2	13
2017	1	2	6		9
2018	2	3			5
2019	3	2		1	6
2020	2	1	4		7
2021	3		2	4	9
2022	3	3	2	5	13
Total	54	19	25	19	117

Fonte: Elaboração própria, dados LFabNS

5.1 - Os Recursos utilizados de acordo com o estágio de desenvolvimento da tecnologia

A Figura 3 apresenta o desenvolvimento do produto, segundo a Escala de Prontidão Tecnológica ao longo dos anos de maturidade da tecnologia.

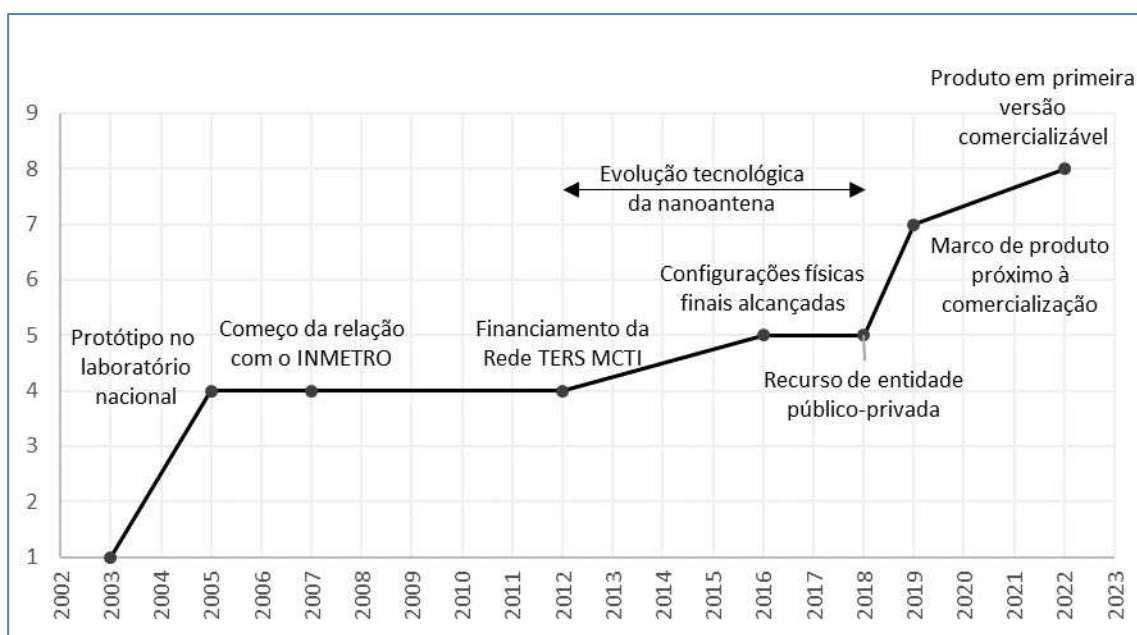
O primeiro ponto notado é que, a partir do momento em que se iniciou o processo de pesquisa do grupo, em 2003, o professor não buscou desenvolver uma pesquisa/produto do zero

no cenário nacional. O movimento, através da gentileza e confiança científica de seus pares, foi o de importar, em 2005, o protótipo no estágio em que estava. Entre 2002 e 2004 o projeto contou na sua totalidade com financiamento público da própria universidade (PRPq da universidade), de uma instituição federal (CNPq) e estadual (FAPEMIG).

Para o começo do desenvolvimento da pesquisa que culminaria no produto, o professor conseguiu junto ao grupo de pesquisa do professor da Universidade de Rochester algumas peças, dimensões, distâncias e especificações de como construir o protótipo do equipamento para aplicação da técnica TERS. Nessa colaboração os princípios da tecnologia foram aprendidos tanto na teoria como na execução. Em conjunto com financiamentos públicos, comprou outras peças e trouxe o desenvolvimento tal como estava no Estado da Arte para o Brasil. Para convencer o grupo de pesquisa do Professor da Universidade de Rochester, foi necessário que o grupo de pesquisa nacional demonstrasse sua competência científica notória. Por ser complementar aos conhecimentos e habilidades do grupo de pesquisa na universidade estadunidense, o professor da Universidade de Rochester acreditou que o grupo pudesse auxiliar o avanço no Estado da Arte de sua pesquisa e, por essa razão, acreditou que a liberação de recursos seria pertinente. Para os órgãos públicos financiadores, o processo de convencimento foi o tradicionalmente realizado, onde submete-se a um edital de pesquisa escrevendo um projeto que demonstra méritos anteriores e agenda de pesquisa.

Na Figura 3 observa-se que o desenvolvimento da pesquisa se manteve no nível quatro de maturidade tecnológica por muitos anos, de 2005 até 2012. Nesse período, o projeto recebeu e acumulou recursos variados como pode ser visualizado na Tabela 1. Neste período o projeto continuou a receber majoritariamente financiamento de instituições nacionais de fomento como o CNPq\ MCT e Capes, bem como da Fapemig, instituição estadual de fomento. Mas conseguiu diversificar suas fontes de recursos com financiamento internacional para aquisição de equipamentos e da empresa I-Vision. A parceria com a empresa I-Vision se iniciou em 2012 através de um aluno de iniciação científica que trabalhava na empresa. Cabe notar que o financiamento internacional representou 10% do montante na escala TRL 4.

Figura 3: Desenvolvimento do produto da empresa FabNS segundo a escala TRL.



Fonte: Elaboração própria.

Portanto, nesta fase o projeto recebeu e acumulou recursos variados, diversos pesquisadores começaram a participar das pesquisas nos laboratórios, agentes de financiamento auxiliaram com recursos financeiros e mais uma ICT começou a participar do desenvolvimento da pesquisa intensivamente. A ampla formação de recursos humanos é uma característica de projetos baseados no avanço do conhecimento científico em diferentes níveis, o que permite também o avanço juntamente com a formação dos discentes que vão se tornando pesquisadores. A atividade de pesquisa possui uma dimensão que é genuinamente tácita e de longo prazo, uma habilidade que é construída em um contexto, no caso em um laboratório e em práticas do grupo de pesquisa. As atividades de pesquisa precisam ser sustentadas por um conjunto de discentes pesquisadores, visto que as exigências de atividades a serem realizadas pelos professores podem comprometer a continuidade das atividades.

Em 2012 foi criada uma rede nacional de pesquisa financiada pelo MCTI, e na sequência a associação do laboratório da universidade ao Inmetro, cedendo recursos de bolsas. I isto permitiu que a pesquisa começasse a avançar até chegar ao TRL 5 no ano de 2016. Este período se caracterizou por desafios para o avanço da maturidade da pesquisa. Com o protótipo em mãos, o desafio tecnológico para avançar o desenvolvimento de produto imposto pelas restrições tecnológicas à época era impeditivo, não permitindo o avanço do produto. Foi necessário que os grupos de pesquisa não só nacionais quanto internacionais desenvolvessem novas técnicas que possibilitaram, ao longo de 2012 a 2018, a evolução das nanoantenas, o que ocasionou o desenvolvimento do produto.

Em 2014, o avanço do desenvolvimento do produto continuou com a liberação dos recursos das entidades público-privadas. O movimento para se alcançar o TRL 5 já estava em andamento, mas a quantidade de recursos necessários para o desenvolvimento nessas etapas exigia uma escala muito maior de recursos financeiros daquela que eles haviam conquistado até o momento.

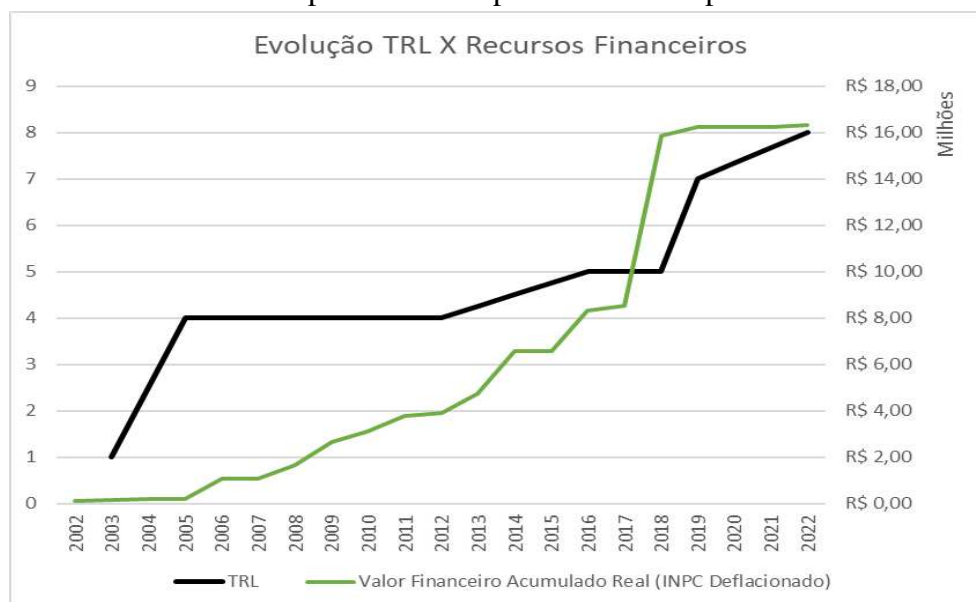
Conforme visualizado no Gráfico 1 neste período é o que se caracteriza pelo primeiro grande pico de aporte de recursos no desenvolvimento da tecnologia, sendo parte considerável dos recursos oriundos do governo federal através da Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP/MCTI). Nesta fase o projeto também obteve financiamento internacional do governo da Suíça para a realização de um evento relacionado à divulgação da tecnologia e para a aquisição de equipamentos do governo norte-americano.

A partir daí o constante desenvolvimento do produto se deu com a interlocução dos grupos de pesquisa nacionais e das entidades responsáveis pelo desenvolvimento do produto, que trabalharam em conjunto sob um cronograma de entregas até avanços consideráveis no desenvolvimento da tecnologia. Em 2019, o desenvolvimento chega em um marco de qualificação entre os pesquisadores e equipe de desenvolvimento, no qual estaria próximo de alcançar o fim da primeira versão possivelmente comercializável do produto, chegando no nível 7 (sete) da escala de prontidão tecnológica. Por fim, a equipe de desenvolvimento termina as entregas do produto e, em 2022, a tecnologia está pronta apta ser comercializada alcançando o nível oito da escala de prontidão tecnológica.

A Figura 4 apresenta em um mesmo gráfico a evolução dos recursos financeiros e os avanços na escala de maturidade tecnológica, o que permite confirmar a necessidade e importância de maiores montantes de recursos financeiros para o avanço de uma tecnologia em termos de prontidão para ser introduzida no mercado. Sem recursos financeiros certamente não seria possível superar as etapas necessárias, que são diferentes em cada Escala Tecnológica. A continuidade dos recursos financeiros disponíveis – na sua maioria públicos de acordo com a Tabela 1 – também é visível e foi fundamental para sustentar as atividades de pesquisa. O único ano sem a captação de recursos foi em 2007. O pico de financiamento em 2018, como já mencionado anteriormente, foi fundamental para a tecnologia conseguisse avançar em maturidade até o TRL 8 ao final de 2022.

O investimento que a tecnologia recebeu para alcançar o mercado - que culminará no desenvolvimento de maturidade até o TRL 9 - foi de uma escala menor de recurso financeiro do que foi necessário para o desenvolvimento do produto (até TRL 8). Para essa etapa, a FabNS que já havia se constituído recebeu investimento de capital de risco de um investidor com perfil de investimento privado³.

Figura 4: Evolução do TRL e dos recursos financeiros acumulados no desenvolvimento do produto da empresa FabNS no período 2002-2022.



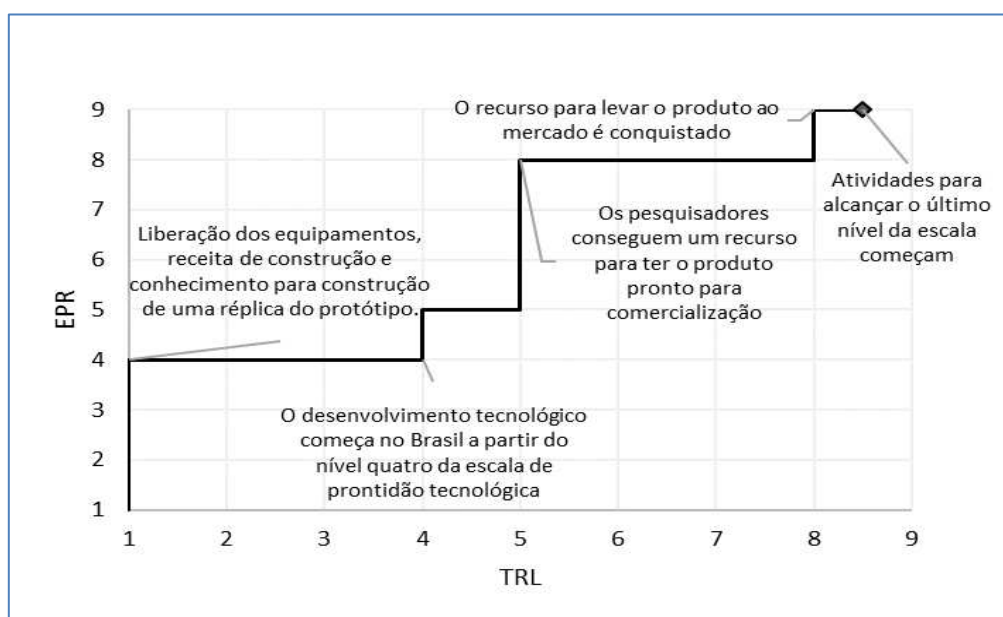
Fonte: Elaboração própria.

O desenvolvimento de tecnologias de alta complexidade requer não apenas o financiamento, mas também o acesso a recursos de diversas naturezas, sendo um deles, os recursos humanos.

A Figura 5 ilustra e sumariza os caminhos percorridos pelos pesquisadores ao longo do período de desenvolvimento da tecnologia, de acordo com o avanço em relação à TRL, apresentando na mesma Figura a Escala de Prontidão de Recursos. A necessidade de recursos financeiros para o avanço de uma pesquisa até alcançar o mercado remete para a importância do financiamento público e para a continuidade dos Programas de fomento à C&T&I. As descontinuidades remetem não somente às possibilidades de interrupção das atividades de pesquisa, mas também à perda do conhecimento científico tácito acumulado nos recursos humanos dedicados às atividades. No desenvolvimento do produto da empresa FABNS 32 pesquisadores estiveram envolvidos durante um período maior de tempo, sendo dois egressos do doutorado os responsáveis pela gestão da empresa, sendo os mesmos sócios. Dois egressos do financiamento da Embrapii em 2022 eram bolsistas na empresa, o que ilustra a importância da continuidade para o avanço de tecnologias de elevada complexidade. Ademais, destaca-se que após 2013 comprovou-se a necessidade de diversificar a formação da equipe de pesquisa, ampliando para a incorporação de pesquisadores não físicos, já caracterizando um estágio de desenvolvimento da tecnologia multidisciplinar no qual o aporte de conhecimentos de áreas distintas é fundamental.

³ Este valor não pode ser mencionado por razões contratuais do Fundo de Capital de Risco.

Figura 5: TRL e Escala de Prontidão de Recursos no desenvolvimento do produto da empresa FabNS no período 2002-2022.



Fonte: Elaboração própria.

6. Considerações finais

O caso analisado neste artigo é peculiar porque investiga o desenvolvimento de um produto baseado em nanotecnologia cujo tempo de maturação – desde a pesquisa até a comercialização do primeiro produto no mercado – foi em torno de 20 anos. Para além da persistência do pesquisador, destaca-se a importância de fontes perenes de financiamento, ainda que isto não tenha sido o caso. Ao longo de muitos anos a principal fonte de financiamento foram recursos tradicionalmente direcionadas para as atividades científicas, mas financiamentos de outra modalidade foram fundamentais para avançar nos estágios de maturação da tecnologia. Para além de uma argumentação lógica sobre o financiamento à C&T&I, se evidencia a complexidade do desenvolvimento tecnológico em áreas baseadas na ciência, cuja inovação ainda está baseada no conhecimento tácito. A descontinuidade do financiamento implica, portanto, em um processo de perda da cumulatividade do conhecimento tácito dos pesquisadores e do grupo de pesquisa.

Ainda que não seja possível extrapolar pelas especificidades do caso apresentado algumas considerações podem ser realizadas no que se refere as Políticas de C&T&I à partir do que foi apresentado. O fluxo contínuo de recursos financeiros para o desenvolvimento das atividades ao longo do processo de inovação é fundamental. Este financiamento precisa esperar o tempo de maturidade da tecnologia que neste caso exigiu 20 anos. A inovação requer um tipo de capital que é paciente (MAZZUCATO, 2014).

As redes de cooperação nacional e internacional de pesquisa são fundamentais para a geração de novidade e foram fundamentais para os avanços em momentos estratégicos. A criação e fortalecimento de redes nacionais e internacionais de pesquisa são objetos importantes a serem considerados no desenho de Programas de fomento e financiamento. Na mesma direção

o estímulo à proposição de projetos de pesquisa multidisciplinares apresenta-se como relevante para o desenvolvimento tecnológico.

Foi necessária a criação de uma base ampla de conhecimento científico de pesquisa básica para avanço na maturidade tecnológica, bem como foram significativos os ganhos de economia de escala e de escopo da infraestrutura de pesquisa. O financiamento às infraestruturas de C&T é fundamental, bem como a iniciativa de criação e fomento a centros de excelência. Visto a existência da cumulatividade das atividades de pesquisa e inovação. E maior a probabilidade de resultados onde há mais capital intelectual e infraestrutura de pesquisa.

E por fim, visto que o processo de inovação é permeado de incerteza também no processo de difusão e na inovação incremental, há 2 importantes aspectos relacionados ao desenho das Políticas de CTI: 1) é importante certa flexibilidade no uso e aplicação dos recursos financeiros para que novas possibilidades possam ser experimentadas; 2) a seleção de áreas e setores não deve ser estreita (ROSENBERG, 1998).

Referências

ANPROTEC. **Glossário dinâmico de termos, na área de Tecnópolis, Parques Tecnológicos e Incubadoras de Empresas**. Brasília: ANPROTEC e SEBRAE, 2002.

BAKKE, Kjersti; HASKINS, Cecilia. **Use of TRL in the systems engineering toolbox**. In: INCOSE International Symposium. 2017. p. 587-601.

CORTES, M. R. et al. Cooperação em empresas de base tecnológica: uma primeira avaliação baseada numa pesquisa abrangente. **São Paulo em Perspectiva**, v. 19, n. 1, p. 85-94, 2005.

EMBRAPII. **Manual de operação das unidades Embrapii**. Brasília: Embrapii, 2020. Disponível em: https://embrapii.org.br/wpcontent/images/2020/04/Manual_EMBRAPII_UE_versa%CC%83o_6.0-de-20.10.20.pdf. Acesso em: 26 de setembro de 2022.

HÉDER, Mihály. **From NASA to EU: the evolution of the TRL scale in Public Sector Innovation**. The Innovation Journal, v. 22, n. 2, p. 1-23, 2017.

FERRO, J. R.; TORKOMIAN, A.L. V, A criação de pequenas empresas de alta tecnologia. **Revista de Administração de Empresas**, v. 28, p. 43-50, 1998.

FRENKEL, J. Sistemas de apoio fiscal-crediticio ao risco tecnológico e à competitividade. Em: **Estudo da Competitividade da Indústria Brasileira**. Campinas: Unicamp, 1993.

GUINET, J. **National systems for financing innovation**, Paris: Head of Publications Service, OCDE, 1995.

MANKINS, J. C. **Technology readiness levels - A White Paper**, April, v. 6, n. 1995.

MARTIN, A.R.; Carvalho, S. M. S., Cunha, J. C., & Lopes, A. C. C. Classificação dos Instrumentos de Captação de Recursos para Apoio à Inovação do Governo Federal na Escala de Prontidão Tecnológica (TRL). **Cadernos de Prospecção**, v. 13, n. 1, p. 78-78, 2019.

MAZZUCATO, M. **O Estado Empreendedor**: desmascarando o mito do setor público vs. setor privado. São Paulo: Portfolio-Penguin, 2014.

OLECHOWSKI, A. L. EPPINGER, S.D.; JOGLEKAR, N.; TOMASCHEK, K. Technology readiness levels: Shortcomings and improvement opportunities. **Systems Engineering**, v. 23, n. 4, p. 395-408, 2020.

OLIVIERI, A. C. Analytical figures of merit: from univariate to multiway calibration. **Chemical Reviews**, v. 114, n. 10, p. 5358-5378, 2014.

PINHO, M. et al. Empresas de base tecnológica. São Carlos: Universidade Federal de São Carlos. FUNDUNESP/ FINEP/DPP, **Relatório de Pesquisa, 2005**.

ROSENBERG, N. **Uncertainty and Technology Change**. In: NEEF, D.; SIESFELD, J C.; The Economic Impact of Knowledge. Butterworth-Heinemann, 1998, Pages 17-34.

ZHANG, Zhenglong et al. **Tip-enhanced Raman spectroscopy**. 2016.

YIN, R. K. **Estudo de caso**: planejamento e métodos. 2 ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.