

ISSN 2318-2377



TEXTO PARA DISCUSSÃO Nº 670

**O FINANCIAMENTO A EMPREENDIMIENTOS DE BASE TECNOLÓGICA:
O CASO FABNS**

**Matheus Oliveira Azzi
Márcia Siqueira Rapini
Márcia Dias Diniz Costa
Hudson Luiz Silva de Miranda
Cassiano Rabelo e Silva
Ado Jório de Vasconcelos**

Julho de 2024

Universidade Federal de Minas Gerais

Sandra Regina Goulart Almeida (Reitora)
Alessandro Fernandes Moreira (Vice-Reitor)

Faculdade de Ciências Econômicas

Kely César Martins de Paiva (Diretora)
Anderson Tadeu Marques Cavalcante (Vice-Diretor)

Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional (Cedeplar)

Frederico Gonzaga Jayme Jr (Diretor)
Bernardo Palhares Campolina Diniz (Vice-Diretor)

Paula de Miranda Ribeiro (Coordenadora do
Programa de Pós-graduação em Demografia)

Rafael Saulo Marques Ribeiro (Coordenador do
Programa de Pós-graduação em Economia)

Bernardo Lanza Queiroz (Chefe do Departamento
de Demografia)

Ulisses Pereira dos Santos (Chefe do Departamento
de Ciências Econômicas)

Editores da série de Textos para Discussão

Aline Souza Magalhães (Economia)
Adriana de Miranda-Ribeiro (Demografia)

Secretaria Geral do Cedeplar

Maristela Dória (Secretária-Geral)

<http://www.cedeplar.ufmg.br>

Textos para Discussão

A série de Textos para Discussão divulga resultados preliminares de estudos desenvolvidos no âmbito do Cedeplar, com o objetivo de compartilhar ideias e obter comentários e críticas da comunidade científica antes de seu envio para publicação final. Os Textos para Discussão do Cedeplar começaram a ser publicados em 1974 e têm se destacado pela diversidade de temas e áreas de pesquisa.

Ficha catalográfica

F491 2024	O financiamento a empreendimentos de base tecnológica: o caso FABNS / Matheus Oliveira Azzi et al. - Belo Horizonte: UFMG / CEDEPLAR, 2024. 25p. - (Texto para discussão, 670) Inclui bibliografia. ISSN 2318-2377 1. Empreendedorismo. 2. Economia. I. Azzi, Matheus Oliveira. II. Rapini, Márcia Siqueira. III. Costa, Márcia Dias Diniz. IV. Miranda, Hudson Luiz Silva de. V. Silva, Cassiano Rabelo e. VI. Vasconcelos, Ado Jório de. VII. Universidade Federal de Minas Gerais. Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional. VIII. Título. IX. Série. CDD: 658.403
--------------	---

Elaborado por Adriana Kelly Rodrigues CRB-6/2572

Biblioteca da FACE/UFMG. – AKR/134/2024

As opiniões contidas nesta publicação são de exclusiva responsabilidade do(s) autor(es), não exprimindo necessariamente o ponto de vista do Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional (Cedeplar), da Faculdade de Ciências Econômicas ou da Universidade Federal de Minas Gerais. É permitida a reprodução parcial deste texto e dos dados nele contidos, desde que citada a fonte. Reproduções do texto completo ou para fins comerciais são expressamente proibidas.

Opinions expressed in this paper are those of the author(s) and do not necessarily reflect views of the publishers. The reproduction of parts of this paper of or data therein is allowed if properly cited. Commercial and full text reproductions are strictly forbidden.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
FACULDADE DE CIÊNCIAS ECONÔMICAS
CENTRO DE DESENVOLVIMENTO E PLANEJAMENTO REGIONAL

O FINANCIAMENTO A EMPREENDIMENTOS DE BASE TECNOLÓGICA:
O CASO FABNS

Matheus Oliveira Azzi¹ (*azzi.matheus@gmail.com*)
Márcia Siqueira Rapini^{1,2} (*msrapini@cedeplar.ufmg.br*)
Márcia Dias Diniz Costa^{1,3,4} (*mdcosta@inmetro.gov.br*)
Hudson Luiz Silva de Miranda⁵ (*hudson@fabns.com.br*)
Cassiano Rabelo e Silva⁵ (*cassiano@fabns.com.br*)
Ado Jório de Vasconcelos^{1,4,6} (*adojorio@fisica.ufmg.br*)

2

CEDEPLAR/FACE/UFMG
BELO HORIZONTE
34562024

¹ Programa de Pós-Graduação em Inovação Tecnológica da UFMG

² Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional - Cedeplar, Faculdade de Economia da UFMG

³ Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia - Inmetro

⁴ Departamento de Física, Instituto de Ciências Exatas UFMG

⁵ Fábrica de Nanosoluções - FabNS

⁶ Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da UFMG

SUMÁRIO

1. Introdução	6
2. Financiamento a empreendimentos de base tecnológica.....	7
3. Metodologia	9
4. A Escala de Prontidão Tecnológica	11
5. Recursos utilizados para a criação da FabNS e o uso da TRL	14
6. Considerações Finais.....	22
Referencias	24

RESUMO

Este artigo apresenta a trajetória de financiamento público de uma spin-off acadêmica de bem de capital desde 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 Escala de Prontidão Tecnológica - TRL (sigla em inglês para Technology Readiness Level) a fim de evidenciar a complexidade do processo financeiro necessário para lidar com os diferentes níveis de incerteza no desenvolvimento de um produto e empreendimento de tal nível tecnológico. 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. Em seus dois anos iniciais de operação, a spin-off recebeu financiamento predominantemente público em forma de projetos de fomento, utilizados, em sua maioria, para a contratação e retenção de recursos humanos.

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

Classificação JEL: O38

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 Level scale 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. In its initial two years of operation, the spin-off received predominantly public financing in the form of development projects, mostly used to hire and retain human resources.

Keywords: academic spin-off, funding, nanotechnology, Technology Readiness Level.

1. INTRODUÇÃO

Seguindo a trajetória observada em outros países, desde os anos 2000 o Brasil vem fomentando e incentivando as atividades de inovação, inclusive com a criação de um marco legal de CT&I a partir da Lei de Inovação (Lei 10.973/2004) e de sua revisão no Marco Legal de CT&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 Instituições Científicas, Tecnológicas e de Inovação - ICTs passaram a ter a obrigatoriedade de terem nas suas estruturas o Núcleo de Inovação Tecnológica (NIT).

O Relatório do Fórum Nacional de Gestores de Inovação e Transferência de Tecnologia - Fortec de 2021 aponta que, ainda que as ICTs nacionais tenham avançado na implementação dos NITs, bem como nas atividades relacionadas à propriedade intelectual, ainda há um longo caminho a ser percorrido em relação à criação de spin-offs como mecanismos de transferência de conhecimento e de tecnologia. Este artigo propõe 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 Fábrica de Nanosoluções - 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 e 9 o nível final de desenvolvimento tecnológico da escala, que permite 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 nacionais graças a sua adoção 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 na realização de um estudo de caso em profundidade com atores protagonistas no desenvolvimento da tecnologia. A quarta seção apresenta a Escala TRL e a quinta seção apresenta os recursos utilizados para a criação da spin-off acadêmica de base tecnológica a partir da ótica da TRL. Por fim, algumas considerações finais são realizadas na busca de um diálogo com políticas públicas de fomento à CT&I no Brasil.

2. FINANCIAMENTO A EMPREENDIMENTOS DE BASE TECNOLÓGICA

As empresas de base tecnológica, ou EBTs como tratadas 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), em países em desenvolvimento as EBTs 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 a partir da adaptação, imitação ou engenharia reversa.

A Associação Nacional de Entidades Promotoras de Empreendimentos Inovadores - Anprotec define a EBT como 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, 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 principais diferenciais competitivos 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 a 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, por suas características, muitas vezes as EBTs 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 ideia inovadora) a empresa requer recursos estatais a 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 iniciativas 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 investigação empírica de “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 em constante mudança, no qual não é possível um controle do ambiente, visto ser analisado um objeto que está em constante transformação. Para a coleta 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 consultadas 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 óptico (Rabelo et al. 2019; Sessa et al., 2020). O equipamento foi lançado em maio de 2022 como o carro chefe da empresa nascente de base tecnológica que licenciou as patentes e registros de software das tecnologias que compõem o produto. A narrativa da trajetória do desenvolvimento tecnológico no grupo começa em 2004, quando o pesquisador vai a uma conferência científica em sua área de especialização e toma conhecimento de uma nova técnica que combina microscopia de varredura por sonda e espectroscopia óptica.

A técnica em questão unia a espectroscopia óptica, que consegue determinar propriedades físico-químicas de uma amostra a partir da radiação eletromagnética por ela emitida, com a microscopia de varredura por sonda capaz de realizar imagens com resolução na escala nanométrica. Tratava-se da TERS, do inglês Tip-enhanced Raman spectroscopy, que utiliza de espectroscopia Raman em conjunto com a microscopia de força atômica para conseguir “enxergar” para além das limitações físicas da óptica imprimidas pelo fenômeno de difração (ZHANG, 2016). O salto tecnológico proporcionado por essa técnica permite a realização de imagens ópticas de materiais na escala nanométrica sem a utilização de marcadores e em

condições ambiente de temperatura e pressão. Tais fatores diferenciam a técnica TERS significativamente da bem estabelecida microscopia eletrônica de varredura que, apesar de trazer informações em escala nanométrica, oferece informações físico-químicas limitadas e que geralmente destrói o material a ser estudado.

Ao deparar-se com a nova técnica óptica, o pesquisador, instigado por motivações de expansão do conhecimento científico em seu campo 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 2004 (HARTSCHUH, 2004), mas de uma proposta de solução tecnológica datada de 1928 (SYNGE, 1928) e de desenvolvimentos tecnológicos em lentes, fontes de luz, detectores ópticos e outras tecnologias necessários para que a TERS fosse uma realidade prática e não apenas teórica, demonstrada no início dos anos 2000 (STÖCKLE, et al, 2000; HAYAZAWA, 2000; ANDERSON, 2000).

Com a curiosidade científica aguçada, além de aprofundar seus conhecimentos sobre a técnica, o pesquisador entra em contato com o palestrante que havia apresentado a técnica TERS para aprender mais sobre o assunto, tendo sido bem recebido e introduzido prontamente à 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 2004, o primeiro protótipo foi construído. O pesquisador brasileiro participou do 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 recebeu o professor brasileiro 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 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 o 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 tempo 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 nanoantena 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 do tema, promovendo mais ensino e colaboração, inclusive a montagem de uma rede nacional de pesquisa no tema, que incluía o Inmetro como parceiro 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 depositados no INPI pedidos de patentes relacionadas a protótipos de nanoantenas para o nanoscópio.

Outras parcerias foram iniciadas com professor de Engenharia de Produção para avanços no protótipo TERS 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 da tecnologia naquele momento foi viabilizado através de um arranjo entre uma agência de desenvolvimento de Minas Gerais - a Codemge - e duas unidades Embrapii, da universidade e do 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.

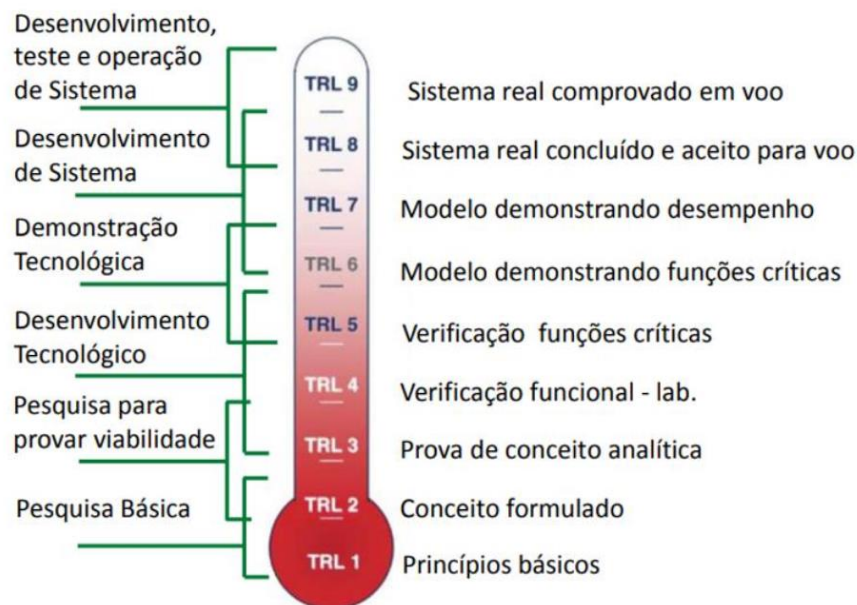
4. A ESCALA DE PRONTIDÃO TECNOLÓGICA

A Escala de Prontidão Tecnológica, do inglês, Technology Readiness Levels (TRL), foi publicada em 1995 por John 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 da pesquisa tecnológica 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, publicou esses níveis e os denominou 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 e 9 o nível final de desenvolvimento tecnológico da escala, 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 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 nacionais graças a sua adoção 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 6 na escala TRL⁷.

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 a partir desta escala. Na literatura, um dos principais pontos de deficiência da TRL está atrelado à dificuldade de identificação dos recursos necessários para se alcançar novos desenvolvimentos tecnológicos (MANKINS, 2009; BAKKE, 2017; OLECHOWSKI et al., 2020)⁸.

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

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

TRL 1	TRL 2	TRL 3	TRL 4	TRL 5	TRL 6	TRL 7	TRL 8	TRL 9
		EMBRAPII/EMBRAPII SEBRAE						
		EMBRAPII-SEBRAE/FOM. PROJ. INOV.						
		ABDI/PROG. NACIONAL CONEXÃO STARTUP IND.						
	SEBRAE/SEBRAETEC							
	BNDES/BNDES GARAGEM CRIAÇÃO							
		BNDES/BNDES GARAGEM ACELERAÇÃO						
BNDES/BNDES INOVAÇÃO								

⁷ 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)

⁸ Algumas das críticas ao uso da TRL estão também sistematizadas em Olechowski *et al.* (2020) e Hasenauer *et al.*, (2016).

BNDES/MPME INOVADORA	
FINEP/FINANCIAMENTO REEMBOLSÁVEL	
FINEP/FINEP CONECTA	
BNDES/THAI	
FINEP/INOVACRED	
	FINEP/AP. AQ. INOV. TELEC.

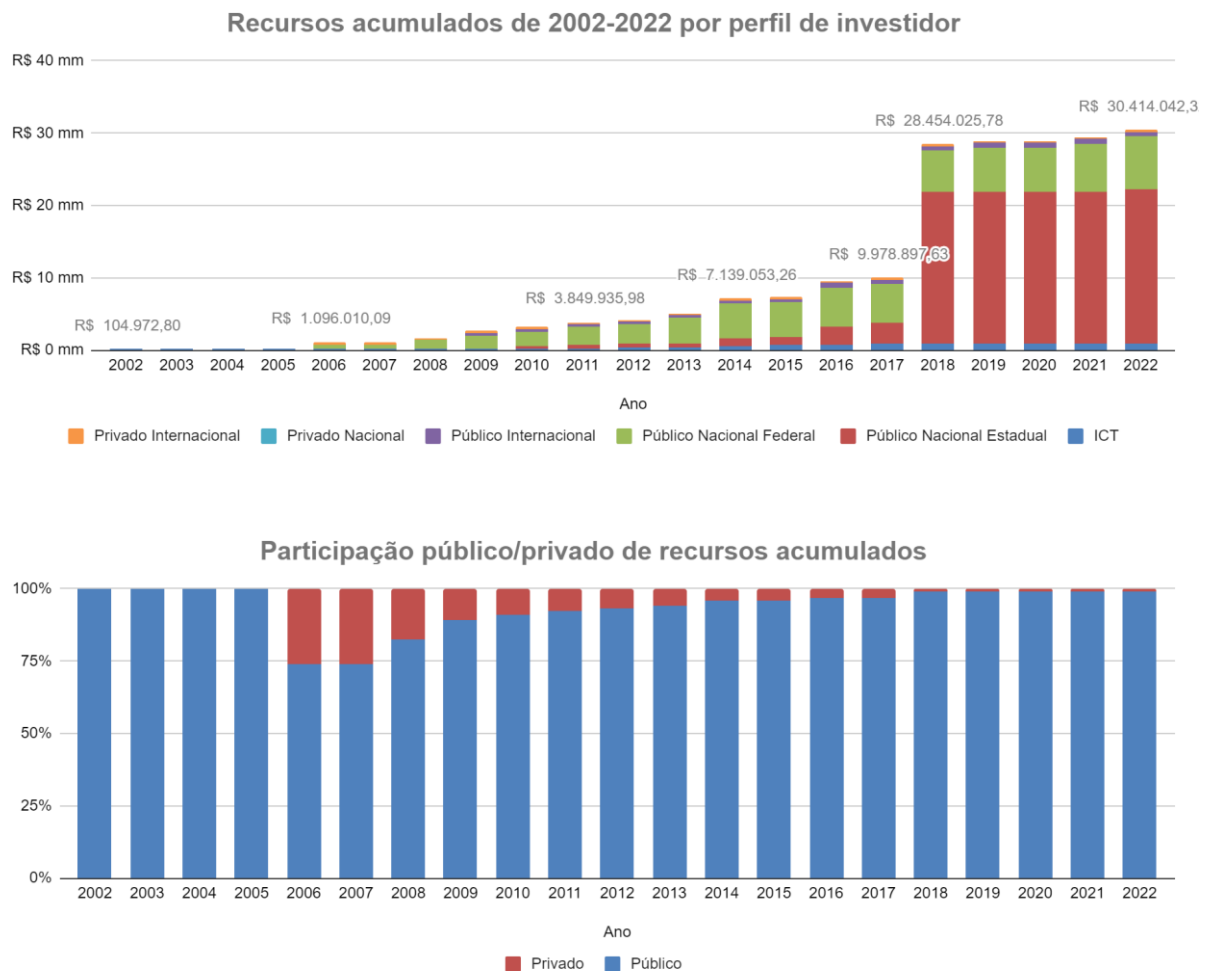
Fonte: Adaptado pelos autores de Martin *et al.* (2019).

5. RECURSOS UTILIZADOS PARA A CRIAÇÃO DA FABNS E O USO DA TRL

O desenvolvimento da tecnologia da FabNS começou há aproximadamente 20 anos e perdura até a atualidade, valendo-se de um amplo conjunto de recursos financeiros e humanos durante seus diferentes estágios. O Gráfico 1 apresenta os recursos financeiros acumulados por perfil de agente liberador do recurso ao longo do período até o desenvolvimento do primeiro protótipo comercializável do nanoscópio, ao final de 2022. Os valores foram deflacionados de acordo com o INPC do período e somam R\$ 30.414.042,32 em todo o período. Conforme pode ser visualizado, o desenvolvimento da tecnologia contou com dois momentos nos quais o aporte de recurso foi mais expressivo: em 2014 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. O Gráfico 1 explicita a relevância do financiamento público de fontes federais e estaduais ao longo de todo o processo de desenvolvimento da tecnologia.

Gráfico 1: Recursos financeiros acumulados utilizados no desenvolvimento da tecnologia classificados por perfil de investidor, 2002-2022.



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 para o mesmo período. 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, bem como o alto risco de insucesso. 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 (2014), CODEMGE e EMBRAPPII (2018), 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, 2002-2022.

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\$ 1.588.785,80	FAPEMIG; Fundo de Capital de Risco - Fundepar	Custeio/bolsas Capital

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 2007-2022 de acordo com a categoria de formação das atividades de pesquisa: iniciação científica, mestrado, doutorado e pós-doutorado. A coluna “total” apresenta o somatório do RH envolvido com vínculo no LabNS. Acrescenta-se à tabela o RH dedicado ao projeto Na@Mo, vigente de 2018 a 2021, separado por unidade Embrapii (DCC-UFMG e Senai-Cimatec), além do RH da empresa, após 2021 (valores não cumulativos nas três últimas colunas). Ao longo do período estiveram envolvidos no projeto 75 bolsas de pesquisa, sendo 52% do total, ou seja, 39 bolsas ao nível da graduação de iniciação científica. Ao nível da pós-graduação foram 9 bolsas de mestrado, 11 de doutorado e 16 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 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 53 discentes, dos quais 20, ou 38%, são de áreas de formação diferentes da Física. Embora o laboratório tenha recebido alunos de IC e de mestrado desde 2003, e doutorado desde 2005, os recursos humanos dedicados ao TERS começaram a ser captados em 2007, com dois alunos de IC (um físico e um engenheiro, o que já aponta a multidisciplinaridade da pesquisa) e um residente pós-doutoral. Destaque para o ano de 2010, que recebeu cinco alunos de IC, dos quais 4 eram não físicos. Este padrão multidisciplinar se manteve por todo o período, ou seja, toda a história do desenvolvimento do TERS no LabNS contou com uma equipe de pesquisa de diferentes áreas de formação. Além dos discentes vinculados ao LabNS, considerando também o RH das unidades Embrapii e FabNS (três últimas colunas da Tabela 2) e docentes, estiveram envolvidos na construção da tecnologia em torno de 120 pessoas.

Tabela 2: Recursos humanos de pesquisa envolvidos no desenvolvimento da tecnologia, 2007-2022 (obs: colunas Embrapiis e FabNS não são cumulativas)

Ano	IC	Mestrado	Doutorado	Pós doutorado	Total	Embrapii DCC UFMG	Embrapii Senai-Cimatec	FabNS
2007	2			1	3			
2008	1				1			
2009	1		1		2			
2010	5		1	1	7			
2011	2	1	1	3	7			

2012	1	2		1	4			
2013	5				5			
2014	5	1	2		8			
2015	4	1	1		6			
2016	3	1		3	7			
2017	1			3	4			
2018	1				1	13	24*	
2019	2	2			4	18	24*	
2020	1	1	3		5	20	24*	
2021	2		1	2	5	9	24*	7
2022	3		1	2	6			17
Total	39	9	11	16	75	20	24	17

Fonte: Elaboração própria, dados LabNS; *estimativa

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 evolução da maturidade da tecnologia.

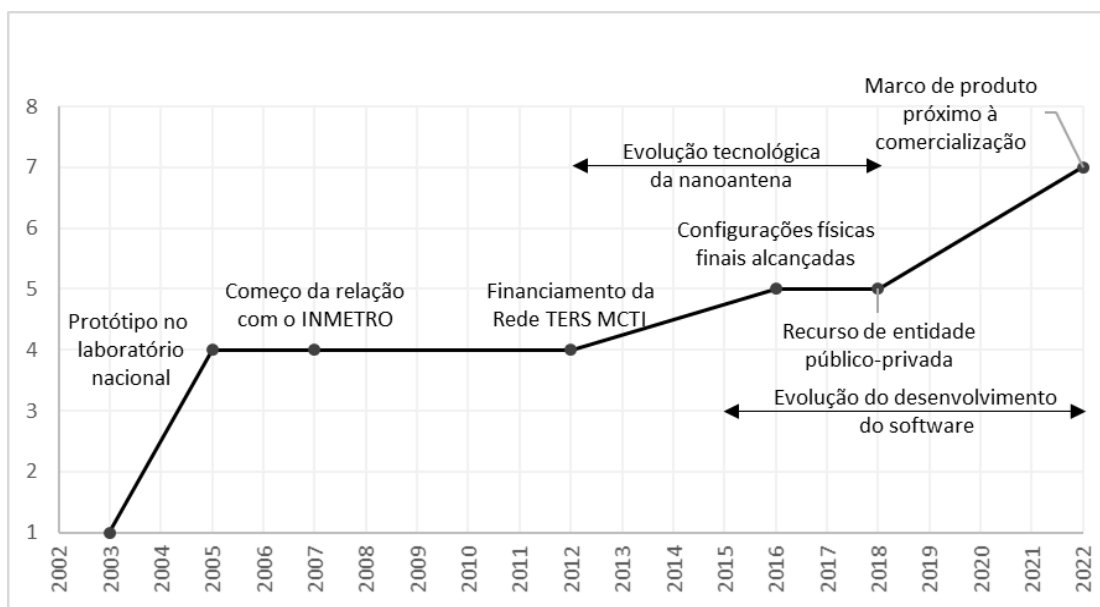
O primeiro ponto notado é que, a partir do momento em que se iniciou o processo de pesquisa do grupo, em 2003, o professor não buscou desenvolver uma pesquisa/produto do zero no cenário nacional. O movimento, através da gentileza e confiança científica de seus pares, foi o de importar, em 2005, o protótipo no estágio da arte 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 no avanço do 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, 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. As atividades de pesquisas científicas ancoradas no avanço do conhecimento são importantes fontes de formação de recursos humanos, seja em nível de graduação ou pós-graduação. 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 dos grupos de pesquisa. As atividades de pesquisa precisam ser sustentadas por um conjunto de discentes pesquisadores, visto que as exigências de atribuições a serem desempenhadas pelos professores podem comprometer a continuidade da pesquisa.

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. 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, causados principalmente por restrições tecnológicas que à época impediam o desenvolvimento do produto." Para este desenvolvimento, 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.

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 isso exigia uma escala muito maior de recursos financeiros daquela que eles haviam conquistado até o momento.

Conforme visualizado no Gráfico 1, este 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 do governo norte-americano para a aquisição de equipamentos.

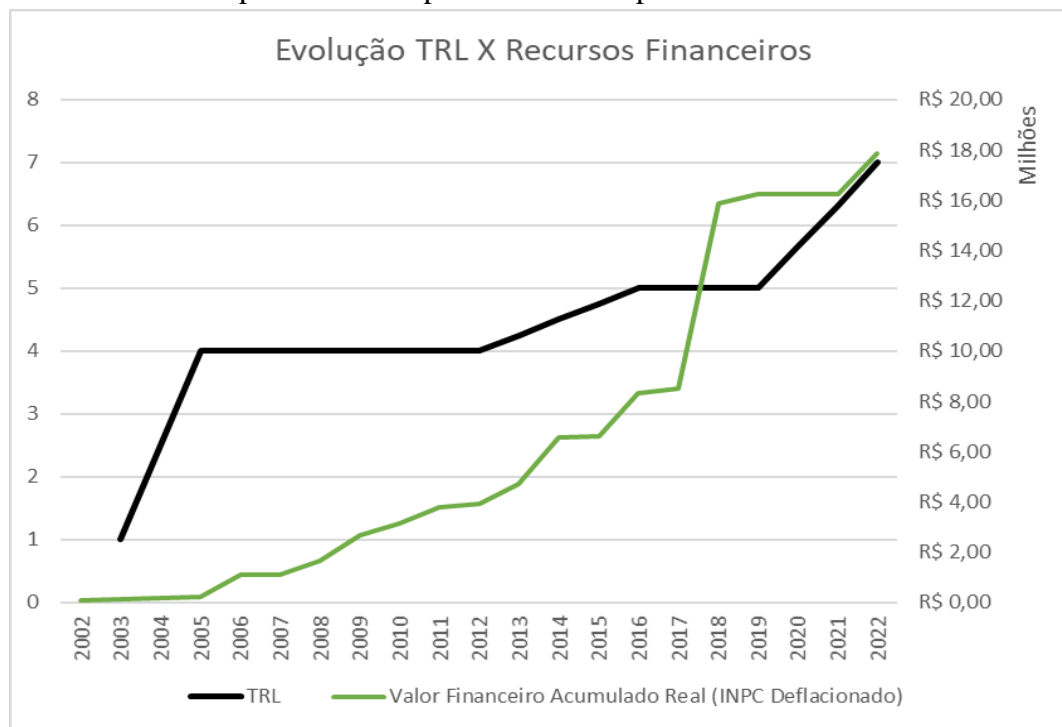
A partir daí o constante desenvolvimento do produto se deu com a interlocução dos grupos de pesquisa nacionais e de outras entidades, que trabalharam em conjunto sob um cronograma de entregas até avanços consideráveis na tecnologia. Em 2019, chega-se a um marco de qualificação entre os pesquisadores e equipe de desenvolvimento, que estariam próximos de alcançar o fim da primeira versão possivelmente comercializável do produto, chegando no nível 6 (seis) da escala de prontidão tecnológica. Por fim, a equipe de desenvolvimento termina as entregas do produto e, em 2022, a tecnologia está apta a ser comercializada alcançando o nível 7 (sete) 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 captação de recursos foi em 2007. O pico de financiamento em 2018, como já mencionado anteriormente, foi fundamental para a tecnologia avançar em maturidade até o TRL 7 ao final de 2022.

O investimento que a tecnologia recebeu para alcançar o mercado - que culminará no desenvolvimento de maturidade até o TRL 8 - foi de uma escala menor de recurso financeiro do que foi necessário para o desenvolvimento do produto (até TRL 7). Para essa etapa, a FabNS que

já havia se constituído recebeu investimento de capital de risco de um investidor com perfil de investimento privado⁹.

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



Fonte: Elaboração própria.

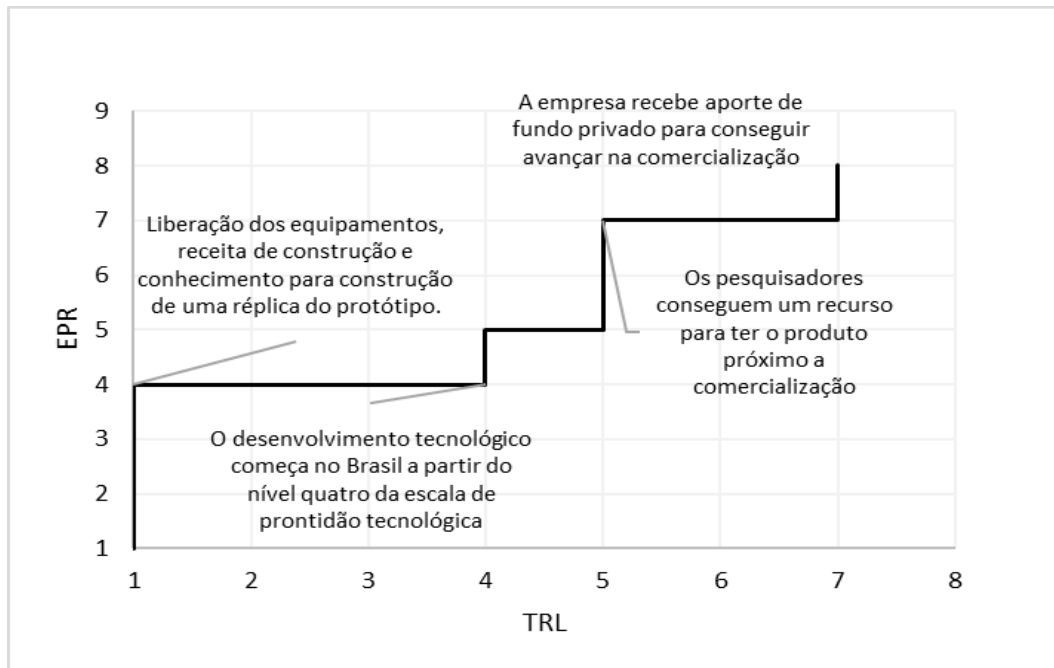
O desenvolvimento de tecnologias de alta complexidade requer não apenas o financiamento, mas também o acesso a recursos de diversas naturezas, dentre eles, os recursos humanos.

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 CT&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 dezenas de pesquisadores estiveram envolvidos durante um período maior de tempo, dos quais dois egressos do doutorado são os responsáveis pela gestão da empresa, hoje 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,

⁹ Este valor não pode ser mencionado por razões contratuais do Fundo de Capital de Risco.

após 2013, comprovou-se a necessidade de diversificar a formação da equipe mais qualificada de pesquisa (pós-graduandos e pós-doutores), 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.

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 e de seu capital social construído ao longo dos anos, destaca-se a importância de fontes perenes de financiamento, ainda que este não tenha sido o caso. Ao longo de muitos anos a principal fonte de financiamento foram recursos tradicionalmente direcionados 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 CT&I, se evidencia a complexidade do desenvolvimento tecnológico em áreas baseadas na ciência, cuja inovação ainda está fundamentada 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 às Políticas de CT&I a 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 novidades 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. Aqui não falamos apenas dos 20 anos da pesquisa em questão, mas de todo o capital intelectual acumulado nas instituições geradas, que vai desde um departamento de física de excelência, até um dos núcleos de inovação tecnológicos mais maduros do país. 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 dois importantes aspectos relacionados ao desenho das Políticas de CTI: 1) ter 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).

REFERENCIAS

- ANDERSON, M.S. **Appl. Phys. Lett.** 2000, v. 76(21), p. 3130-3132.
- 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.
- HARTSCHUH, A. High-resolution near-field Raman and fluorescence spectroscopy of single-walled carbon nanotubes. **APS March Meeting 2004 Scientific Program, Abstracts book.** Montreal, Quebec, Canada, 2004. Disponível em: <https://flux.aps.org/meetings/YR04/MAR04/baps/abs/S5350001.html>. Data de acesso: 10 out 2023.
- HAYAZAWA, N.; INOUE, Y.; SEKKAT, Z.; KAWATA, S. **Opt. Commun.** 2000, v. 183, p. 333.
- 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.
- RABELO, C.; MIRANDA, H.; VASCONCELOS, T.L.; CANCADO, L.G.; JORIO, A. Tip-enhanced Raman Spectroscopy of Graphene. In: 2019 4th International Symposium on Instrumentation Systems, Circuits and Transducers (INSCIT), 2019, Sao Paulo. 2019, p. 1. <https://ieeexplore.ieee.org/document/8868627>
- ROSENBERG, N. **Uncertainty and Technology Change**. In: NEEF, D.; SIESFELD, J C.; The Economic Impact of Knowledge. Butterworth-Heinemann, 1998, Pages 17-34.
- SESSA, C.B.; COSTA, M.D.D.; VASCONCELOS, A.J.; RAPINI, M.S. O Impacto Econômico do Financiamento da Ciência no Brasil: um estudo comparativo entre importação e produção de um bem de capital em nanotecnologia. **Economia Ensaio**, v. 35, p. 332-359, 2020.
- STÖCKLE, R. M.; SUH, Y. D.; DECKERT, V.; ZENOBI, R. **Chem. Phys. Lett.** 2000, v. 318, p. 131.
- SYNGE, E.H. **Philos. Mag.** 1928, v. 6(35), p. 356-362.
- ZHANG, Zhenglong et al. **Tip-enhanced Raman spectroscopy**. 2016.
- YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 2 ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.