

**ABORDAGEM PARA MONITORAMENTO TECNOLÓGICO E
MERCADOLÓGICO EM UM CENTRO DE TECNOLOGIA EM NANOMATERIAIS**

**AN APPROACH TO TECHNOLOGY AND MARKET MONITORING IN A
TECHNOLOGY CENTER OF NANOMATERIALS**

**ABORDAJE PARA EL SEGUIMIENTO TECNOLÓGICO Y DE MERCADO EN UN
CENTRO TECNOLÓGICO DE NANOMATERIALES**

Marina Prass Santos

Pesquisadora da frente de Nanocompósitos Poliméricos do Centro de Tecnologia em Nanomateriais e Grafeno - CTNano/ UFMG

<https://orcid.org/0000-0001-5852-5481>

Glaura Goulart Silva

Professora do Departamento de Química da UFMG e coordenadora geral do Centro de Tecnologia em Nanomateriais e Grafeno - CTNano/ UFMG

<https://orcid.org/0000-0002-0308-0179>

Raoni Barros Bagno

Professor do Departamento de Engenharia de Produção da UFMG e coordenador do Núcleo de Tecnologia da Qualidade e da Inovação - NTQI/ UFMG

<https://orcid.org/0000-0002-3580-1866>

Editor Científico: José Edson Lara
Organização Comitê Científico
Double Blind Review pelo SEER/OJS
Recebido em 22/02/2022
Aprovado em 09/02/2023

This work is licensed under a Creative Commons Attribution – Non-Commercial 3.0 Brazil

Resumo:

Título: Abordagem para monitoramento tecnológico e mercadológico em um centro de tecnologia em nanomateriais.

Objetivo: propor uma abordagem metodológica para o monitoramento da evolução e avaliação do potencial de aplicação mercadológica de novas tecnologias, discutindo sua aplicação em um centro de tecnologia em nanomateriais (CTNano / UFMG) e visando difusão de novas tecnologias para a sociedade e geração de valor para a organização.

Metodologia: informações obtidas nos estudos de patentes e documentos de mercado são combinadas em um mapa inspirado nos modelos de *Roadmapping*, que apresenta possíveis caminhos de atuação do Centro de Tecnologia em nível estratégico. Um teste piloto dessa abordagem é realizado com uma tecnologia de filamentos poliméricos nanoestruturados para impressoras tipo *fused deposition modeling* (FDM).

Originalidade: a abordagem proposta é inovadora por considerar as particularidades de centros de tecnologia e combinar princípios de métodos consolidados distintos como patentometria e *Roadmapping*.

Principais resultados: além da abordagem de monitoramento como proposta metodológica, no caso aplicado são identificados dois focos potenciais de atuação para a organização: (i) busca de licenciamento de patente junto a fabricantes de insumos para impressoras FDM e (ii) prospecção de projetos com empresas envolvidas em manufatura aditiva para produção industrial.

Contribuição metodológica: é oferecido um passo-a-passo para o monitoramento tecnológico e mercadológico replicável em outros centros de tecnologia e/ou empresas intensivas em pesquisa e desenvolvimento.

Palavras-chave: monitoramento tecnológico, filamentos nanoestruturados, manufatura FDM, patentometria, *Roadmapping*.

Abstract:

Objective: to propose a methodological approach to monitor the evolution and assess the potential market fields of new technologies, discussing its implementation in a technology center of nanomaterials (CTNano / UFMG), and aiming at the diffusion of new technologies to the society and value creation for the organization.

Methodology: we combine information obtained from patent databases and other market-like reports in a map inspired from *Roadmapping* models, which presents alternatives for the Technology Center in a strategic level. A pilot test of such an approach is performed by taking the case of nanostructured polymeric filaments for fused deposition modeling (FDM) printers.

Originality: the proposed approach is innovative because it considers the particularities of technology centers as organizations and combine the principles of distinct consolidated methods such as Patentometry and *Roadmapping*.

Main results: besides the monitoring approach as a methodological contribution, for the Technology Center in which we performed the pilot study we found two potential paths: (i) attempting to license the patent to FDM printer manufacturers, and (ii) prospecting opportunities for collaborative projects with industrial companies involved in additive manufacturing.

Methodological contribution: we offer a step-by-step procedure for market and technology monitoring which is replicable in other technology centers and/or R&D-intensive companies.

Keywords: technology scouting, nanostructured filaments, FDM manufacturing, patentometry, Roadmapping.

Resumen:

Objetivo: proponer un procedimiento de seguimiento tecnológico y de mercado para un centro de tecnología (CTNano / UFMG), basado en estudios de patentes y documentos de mercado, con el objetivo de difundir tecnología a la sociedad y generar valor para la organización.

Metodología: las informaciones obtenidas de los estudios de patentes y de documentos de mercado se combinan en un mapa que presenta posibles caminos para que el Centro actúe a nivel estratégico. Se realiza una prueba piloto de este procedimiento con una tecnología de filamentos poliméricos nanoestructurados para impresoras *fused deposition modeling* (FDM).

Originalidad: desarrollo de una herramienta de gestión de la innovación adecuada a la realidad de un centro tecnológico, basada en los principios de dos métodos consolidados y sofisticados: patentometría y *Roadmapping*.

Principales resultados: en el mapa diseñado se identifican dos potenciales focos de acción para el CTNano: (i) intento de licenciamiento del depósito de patente ya realizado con fabricantes de materiales para impresoras FDM que se destacaron en los estudios realizados y (ii) prospección de proyectos que involucren a clientes finales interesados en el uso de materiales para fabricación aditiva en contextos de producción industrial, potencialmente aprovechando el posicionamiento de mercado ganado con la licencia anterior para ganar fuerza en esta iniciativa.

Aporte metodológico: descripción de proceso para el seguimiento tecnológico y de mercado replicable en organizaciones similares a un centro tecnológico.

Palabras clave: estudios de futuro de la tecnología, filamentos nanoestructurados, fabricación FDM, patentometría, *Roadmapping*.

1. INTRODUÇÃO

Em um contexto em que a inovação tecnológica tem sido considerada o principal propulsor do desempenho de organizações e desenvolvimento socioeconômico de regiões e países, identificar rotas de desenvolvimento tecnológico que demonstrem potencial para aplicações futuras no mercado torna-se um problema central no planejamento de nível estratégico de organizações intensivas em pesquisa e desenvolvimento (Porter *et al.*, 2004). A importância desta questão encontra um exemplo arquetípico no contexto de Centros de Tecnologia aplicada.

O Centro de Tecnologia em Nanomateriais e Grafeno da Universidade Federal de Minas Gerais (CTNano/ UFMG) é uma organização de pesquisa aplicada e extensão tecnológica que visa desenvolver e transferir tecnologia a empresas novas ou já estabelecidas. Em destaque no presente estudo estão os esforços em torno da tecnologia de filamentos nanoestruturados para impressoras do tipo *fused deposition modeling* (FDM).

A técnica FDM é uma das muitas que existem no escopo da impressão 3D. Nas impressoras com tecnologia FDM, especificamente, as peças são fabricadas a partir de polímeros termoplásticos admitidos no formato de filamento (Perez *et al.*, 2014). Seu uso em peças funcionais e componentes finais requer características de desempenho superiores às dos polímeros tradicionais, por exemplo maior resistência mecânica ou condutividade elétrica. Para alcançá-las, uma rota de pesquisa e desenvolvimento explorada tem sido a aditivação com nanomateriais (Wang *et al.*, 2017). Os nanocompósitos resultantes desse processo, preparados como insumo para impressoras com tecnologia FDM, recebem o nome de filamentos nanoestruturados.

Após experimentos exploratórios bem-sucedidos no CTNano, uma parceria com empresa externa resultou em um depósito de patente. Até a realização deste estudo, no entanto, a tecnologia de filamentos nanoestruturados somente havia gerado custos para o Centro – embora lateralmente, em contexto alternativo, os contatos abertos com a empresa parceira tenham resultado em benefícios – levantando a questão de qual caminho seguir para capturar valor.

Com o intuito de apoiar a tomada de decisão nesse caso, foram buscados na literatura métodos de prospecção tecnológica e outras possíveis abordagens no campo de estudos de futuro para tecnologia. No âmbito da prospecção tecnológica, a patentometria mostra-se bastante útil ao permitir o tratamento de grandes quantidades de dados de patentes e o refinamento em tópicos de interesse com o emprego de filtros (termos de busca) adequados (Faria, 2015). Já em relação aos estudos de futuro para tecnologia, o *Roadmapping* se destaca por permitir conciliar informações de múltiplas fontes em diferentes formatos com forte apelo gráfico, constituindo objetos com elevado poder de síntese e comunicação (Phaal *et al.*, 2004).

Em retrospectiva, o *Roadmapping* é um método que nasceu em grandes empresas como a Motorola, no final dos anos 1980, tendo sido mais tarde documentado e estudado em profundidade por pesquisadores da Universidade de Cambridge (Phaal *et al.*, 2004). A partir

destes estudos, emergiu uma tradição acadêmica e prática em torno dos modelos de aplicação por eles delineados. A patentometria, por sua vez, surge como técnica relevante no contexto em que avanços tecnológicos contemporâneos cada vez mais rápidos e intensos obrigam as organizações a gerir sistematicamente o conhecimento disperso em múltiplas fontes, sendo as patentes em volume continuamente crescente uma das principais (Abbas *et al.*, 2014).

Tipicamente, o *Roadmapping* é aplicado ao planejamento de plataformas de tecnologias e produtos ou estratégico a nível organizacional ou setorial. Já a patentometria usualmente se presta a análises de tendências tecnológicas, de infringência legal e de competidores. Em relação ao tipo de problema resolvido, o *Roadmapping* se propõe a responder como articular recursos de uma organização ou setor ao longo do tempo para desenvolver produtos que vão de encontro às necessidades e tendências de mercado, sendo em geral aplicado por meio da realização de workshops colaborativos. A patentometria, por sua vez, preocupa-se em como extrair *insights* estratégicos de grandes volumes de dados (Abbas *et al.*, 2014, Freitas *et al.*, 2020, Oliveira *et al.*, 2020).

Inspirado no *Roadmapping* e na patentometria, este estudo propõe uma abordagem de monitoramento tecnológico e mercadológico e sua subsequente aplicação piloto no CTNano/UFMG. As informações obtidas nos estudos realizados são combinadas para composição de um mapa que apresenta potenciais caminhos de atuação estratégica para o Centro. Ao final, apresentam-se as implicações da abordagem (i) considerando sua replicação potencial em outros contextos; (ii) em relação ao impacto sobre a cultura e comportamento na organização; (iii) sobre o transbordamento e difusão dentro da organização; e (iv) quanto a oportunidades de melhoria futura e diálogo com outros métodos.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

A teoria subjacente à proposta de abordagem relatada neste artigo é a de métodos de Estudos (ou análises) de Futuro para Tecnologia (EFT). Porter *et al.* (2004) definem EFT como qualquer processo sistemático de produzir julgamentos sobre as características de tecnologias emergentes, caminhos de desenvolvimento e potenciais impactos no futuro. Nesse contexto, *Foresight* tecnológico é definido como um processo sistemático de identificar

desenvolvimentos tecnológicos futuros e suas interações com a sociedade e o ambiente a fim de guiar ações concebidas para produzir um futuro mais desejável (Porter *et al.*, 2004).

Para Cuhls (2003) o *foresight* tende a ser qualitativo e concentra esforços na comunicação sobre o futuro e suas implicações para o presente. Porter (2010) afirma que a motivação para uso de um método de *foresight* pode ser extrapolativa ou normativa e sua duração pode ocorrer em períodos de dias, meses ou anos conforme o objetivo e nível de detalhamento. O autor também estabelece uma organização em famílias para agrupamento dos métodos de apoio aos EFT, sendo *Roadmapping* uma delas.

Ao abordar métodos para monitoramento e inteligência no campo dos EFT, Ciarli *et al.* (2016) abordam a bibliometria, que inclui, embora não se limite à patentometria. Já no campo de mapas e rotas tecnológicas, os autores destacam quase unicamente o uso do *Roadmapping*. Notam-se no estudo de Ciarli *et al.* (2016) muitas semelhanças e algumas complementariedades em relação aos elementos caracterizadores destas abordagens: ambos lidam com desconhecimento e incerteza em relação aos resultados e probabilidades obtidos ao final, podem ser aplicados dentro de organizações, ajudam a definir cursos de ação e podem envolver uma quantidade intermediária de participantes diversos. A justaposição desses aspectos sugere que a combinação de métodos de tais grupos pode capturar sinergias e potencializar os resultados de um EFT.

2.1. Patentometria

Patentes são mecanismos de proteção de propriedade industrial que concedem ao titular o direito de excluir terceiros de operar, produzir ou comercializar o objeto da proteção nos países em que tal proteção for requerida e concedida; fora deles, há liberdade de operação (INPI, 2021). Para que o objeto seja patenteável, deve atender aos requisitos de novidade (não constar no estado da arte ou da técnica); atividade inventiva (não ser dedutível de maneira óbvia para um técnico da área a partir da combinação de dois ou mais documentos do estado da arte ou da técnica); e aplicação ou aplicabilidade industrial (evidências de redução à prática) (INPI, 2021).

Estrategicamente, a importância das patentes está relacionada ao valor que pode ser capturado desse direito de excluir terceiros, seja com margens elevadas na comercialização de produtos desenvolvidos a partir das tecnologias protegidas pela inibição da concorrência ou

com a negociação do direito por meio de licenciamento a empresas nascentes ou já estabelecidas (Shane, 2004). Tipicamente, patentes são utilizadas na transição de estágios preliminares a intermediários do desenvolvimento científico-tecnológico, tão logo se consegue demonstrar aplicabilidade industrial, por meio de uma prova de conceito, por exemplo, e de modo a dar sustentação aos estágios posteriores.

Patentometria, ou mapeamento patentário, é um método de obtenção de informações sobre tecnologias de interesse a partir de dados de documentos de patentes e contempla minimamente cinco etapas: (i) definição das bases de dados a serem consultadas; (ii) definição do escopo da busca, conforme o objetivo; (iii) extração dos documentos obtidos na busca; (iv) análise preliminar para remoção de redundâncias e inconsistências e (v) preparação das planilhas com os dados dos documentos não rejeitados para posteriores análises quantitativas e qualitativas (Ribeiro, 2018).

Nesse sentido, Khramova *et al.* (2013) trazem uma instrumentalização do método ao analisar comparativamente três aspectos de interesse, elencando potencialidades e limitações: tipos de análises que podem ser feitas (sobre depositantes e inventores, sobre patentes nacionais e estrangeiras, por organização, por país e por período), bases de dados que podem ser consultadas – por exemplo dos escritórios de patentes europeu, estadunidense e japonês – e indicadores que podem ser calculados, como o *Revealed Technological Advantage Index* (RTA) e o *Patent Share* (PS). O RTA mede nível de atividade patentária de um país ou empresa em determinado campo tecnológico comparativamente ao seu nível de atividade patentária em geral, enquanto o PS expressa a fração que o número de patentes de um determinado campo tecnológico representa no total de patentes em um país ou de uma empresa. De modo similar, Abbas *et al.* (2014) se aprofundam no pós-processamento, isto é, nos tipos de análise que podem ser efetuados com as informações ou estruturas extraídas dos dados das patentes, por exemplo análise de tendências e de direção da inovação, de infração de direitos de propriedade intelectual e de competidores.

2.2. Roadmapping

Roadmapping é um método de apoio à gestão da inovação que permite articular recursos organizacionais, produtos e tendências de mercado em rotas de ação a partir de um objeto

gráfico sintético (mapa) no qual tais dimensões constituem camadas e os elementos dessas camadas seguem um ordenamento temporal, a fim de situar onde se está, onde se pode (ou se deseja) chegar e como se chegará lá (Oliveira *et al.*, 2019). Uma característica primordial do *Roadmapping* é a sua flexibilidade, que torna possível adaptá-lo a diferentes contextos de uso, bem como customizá-lo em termos de arquitetura e processo (Phaal *et al.*, 2004a). Desse modo, a composição das camadas e seu preenchimento podem ser ajustados conforme necessário; por exemplo, em muitos casos é conveniente explorar o recurso “tecnologia” de maneira separada e destacada, e não por acaso o método já foi bastante referenciado como *Technology Roadmapping* (Phaal *et al.*, 2004b). A figura 1 apresenta uma ilustração esquemática de *roadmap* tecnológico típico.

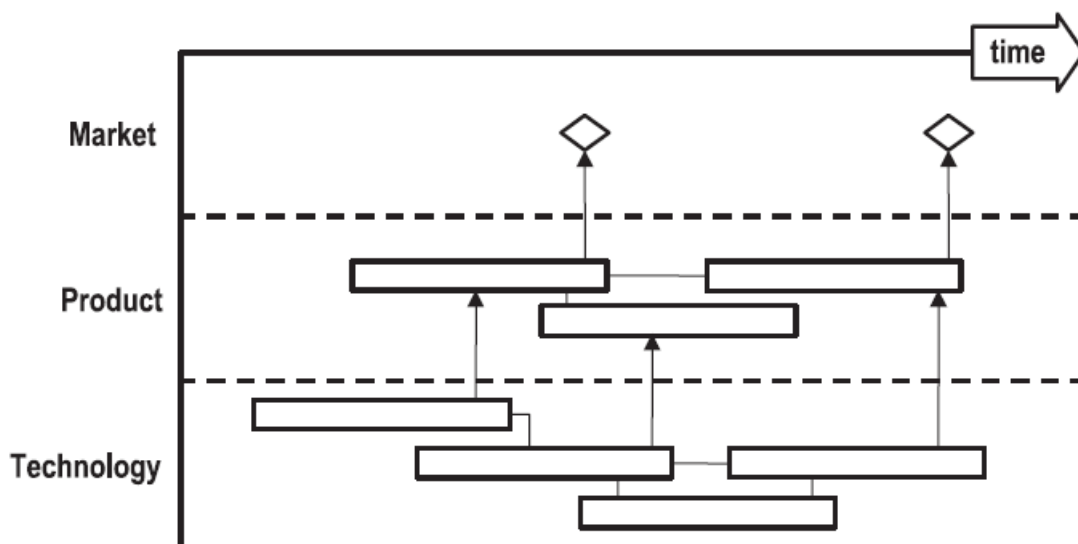


Figura 1. Ilustração esquemática de um *roadmap* tecnológico.
Fonte: Phaal *et al.* (2004b)

A aplicação do *Roadmapping* geralmente se estabelece a partir de workshops colaborativos (Souza *et al.*, 2020) e sua organização segue rituais específicos de acordo com dois tipos de propósitos e unidades de análise principais: planejamento para produto e tecnologia (*T-Plan*) e planejamento estratégico (*S-Plan*) (Phaal *et al.*, 2001).

Segundo Freitas *et al.* (2020), o objetivo do *Roadmapping T-Plan* é oferecer um plano que dê suporte ao desenvolvimento integrado de produtos e tecnologias de acordo com demandas de mercado pré-existentes ou emergentes ou com oportunidades tecnológicas. Por outro lado, o objetivo do *Roadmapping S-Plan* é entregar uma narrativa composta de escolhas

e direcionamentos que a unidade do negócio ou organização deve perseguir para alcançar seus objetivos estratégicos gerais. Em contextos intensivos em tecnologia, essa diferenciação baseada no propósito pode ser difícil, dada a importância estratégica da dimensão de produto e tecnologia. Nesses casos, identificar a unidade de análise ajuda: enquanto no *T-Plan* ela se refere a famílias e plataformas de produtos específicas, o *S-Plan* está interessado em múltiplos produtos e tecnologias do escopo da organização (Freitas *et al.*, 2020).

No contexto da cooperação universidade-empresa, elementos do *Roadmapping* foram empregados por Castilho *et al.* (2015) na proposição de uma metodologia para construção de portfólio inicial de P&D a ser compartilhado entre a indústria e a academia. O trabalho foi desenvolvido a partir de um programa de pesquisa-ação com duração de 18 meses envolvendo uma multinacional do setor automotivo e uma universidade brasileira de ponta e valeu-se de entrevistas com especialistas acadêmicos e representação gráfica típica do *Roadmapping* para apresentar possíveis entregáveis de P&D cooperativo ao longo do tempo, como parte de uma agenda compartilhada.

3. METODOLOGIA

Patentometria e *Roadmapping* são duas ferramentas individualmente úteis e suficientes em muitas situações. Todavia, o *Roadmapping* tradicional, com workshops colaborativos e participação de especialistas (Oliveira *et al.*, 2020), demandaria a coordenação de esforços e consideração de tecnologias em um escopo mais amplo do que seria possível no CTNano no contexto da pandemia de COVID-19, em que esse trabalho foi realizado. Já a patentometria, embora baseada em uma excelente fonte de informação tecnológica, pode não contemplar aspectos mercadológicos importantes de serem considerados na tomada de decisão estratégica que visa à captura de valor. A combinação adaptada desses métodos foi então considerada para se atingir os objetivos traçados para o estudo. O trabalho de Jeong e Yoon (2015) caminha em direção semelhante na medida em que se vale de informações de *roadmaps* e de patentes com o intuito de visualizar tendências futuras para tecnologias.

Nesse contexto, para construção do mapa que inspirasse e representasse possíveis cursos de ação do CTNano para a tecnologia FDM foram realizados inicialmente dois estudos: um de patentes e outro do que se convencionou chamar de “documentos de mercado” – uma coleta

direcionada de dados secundários, em sua maioria relatórios de tendências setoriais e *roadmaps* disponíveis publicamente relacionados ao campo em questão. As informações obtidas a partir desses estudos foram compiladas e conectadas graficamente em camadas distintas para composição do mapa. Este, foi formado ainda por uma terceira camada, localizada na porção central, contendo as possíveis trajetórias identificadas para o CTNano a partir da concatenação de elementos das camadas anteriores com uma reflexão qualitativa sobre sua articulação com o contexto percebido no Centro (em uma primeira fase, ainda somente na percepção dos autores deste artigo). Em seguida, essa primeira versão foi levada para validação junto a duas lideranças do CTNano. As contribuições desses agentes internos foram usadas para aprimoramento, conduzindo paulatinamente à versão apresentada na seção de resultados.

Cabe ressaltar que o mapa proposto converge para a arquitetura de um *roadmap* tradicional na medida em que é constituído de camadas rotuladas e suas informações são organizadas em uma linha temporal. Por outro lado, ele diverge dessa arquitetura ao propor camadas diferentes de “mercado”, “produto” e “tecnologia”; nesse caso há uma camada com informações relativas a panoramas e tendências de mercado, e outra com informações tecnológicas originadas de patentes, porém a camada de produto é substituída pela proposição de rotas de ação que permitam ao CTNano se beneficiar de oportunidades identificadas nas outras camadas. Seu posicionamento intermediário, no mapa, é ainda uma alusão ao papel exercido pelo Centro como organização que conecta o conhecimento acadêmico à sociedade, por meio da contínua transferência de tecnologia.

A seguir são detalhadas as etapas de estudo de patentes e documentos de mercado e de construção do mapa; depois são apresentados os resultados.

3.1. Estudo de patentes

Primeiramente, realizou-se uma coleta de dados no repositório *Espacenet*. Embora esse serviço online e gratuito esteja associado ao Escritório Europeu de Patentes, ele permite obter informações sobre patentes depositadas e concedidas nos principais escritórios nacionais de propriedade intelectual ao redor do mundo e sobre processos iniciados junto à Organização Mundial de Propriedade Intelectual no âmbito do *Patent Cooperation Treaty* (European Patent Office, 2020).

Como critério inicial de seleção, utilizou-se a seguinte equação de busca: ta = “fused” AND ta = “deposition” AND (ta = “composite” OR ta = “filament” OR ta = “polymer”) [idioma: inglês], com o intuito de recuperar desenvolvimentos tecnológicos relacionados a materiais para impressão do tipo FDM a partir da localização desses termos no título ou resumo. Os dados dos documentos retornados como resultado (patentes de invenção e de modelo de utilidade) foram extraídos em formato de planilha, com colunas para título, nomes dos inventores, nomes dos depositantes, número de publicação, data de prioridade mais antiga, código IPC (*international patent classification*), código CPC (*cooperative patent classification*), datas de publicação, data de publicação mais antiga e número da família.

Os documentos foram examinados por leitura do título e, conforme necessário, do resumo, consultado individualmente também na plataforma *Espacenet* e incorporado à planilha originalmente obtida. A partir desse exame foram selecionados 154 documentos aderentes ao espectro tecnológico de interesse, ou seja, cujo objeto de proteção estivesse relacionado ou ao desenvolvimento de materiais avançados para impressoras com tecnologia FDM – por exemplo, compósitos de poli(ácido láctico) (PLA) – ou ao desenvolvimento de aplicações com materiais avançados que podem ser usados como insumo em impressoras com tecnologia FDM (por exemplo, desenvolvimento de próteses com compósitos de PLA). Os dados desses documentos foram compilados para informe do estágio do ciclo de vida do desenvolvimento tecnológico de interesse (iniciação, crescimento ou estabilização) a partir do número acumulado de depósitos ao longo do tempo e identificação (i) de temas recorrentes, (ii) de aspectos relevantes sob a perspectiva do desenvolvimento apoiado em nanomateriais e (iii) de tecnologias concorrentes.

3.2. Estudo de documentos de mercado

Nesta etapa foram realizadas buscas com a ferramenta da *Google*, no site *IDTechEx* e na base de dados *Scopus*. Na ferramenta da *Google*, foram utilizados os seguintes termos de busca: “*global 3d printing market report*”, “*mercado de impressão 3d relatório*” e “*3d printing marketing roadmap*”, com o intuito de recuperar documentos relacionados à exploração de tendências de futuro para a impressão 3D de modo geral e considerando experiências anteriores na busca de documentos desse tipo. Analogamente, na base de dados *Scopus* empregou-se a equação de busca “*3d print**” AND (*foresight* OR *future* OR *roadmap*). Ao todo analisaram-se

19 documentos, sendo 18 textos e um trecho de vídeo. Um dos textos foi admitido em duas versões complementares e outro fazia referência a dois vídeos em hiperlink, que também foram considerados.

Os documentos foram examinados por leitura completa (e transcrição, no caso do trecho do vídeo) para seleção das informações atinentes e relevantes às tendências projetadas para o mercado de impressão 3D em geral e de manufatura FDM, especificamente. Os destaques de cada documento foram compilados em dossiê e a partir da justaposição de suas informações foram definidos nove documentos principais.

3.3. Construção do mapa

Para montagem do mapa em sua versão inicial, as informações selecionadas nas análises das patentes e dos documentos de mercado foram sintetizadas em suas respectivas camadas. Em seguida, concatenando essas camadas, possíveis rotas de ação estratégica que o CTNano pudesse adotar para aproveitar oportunidades identificadas foram inicialmente delineadas a partir de debates internos da equipe de autores.

Essa versão foi levada ao conhecimento de duas lideranças do Centro: (i) um supervisor da frente de Polímeros; e (ii) uma coordenadora da frente de operações, ambos com mais de 5 anos de vivência profissional nas atividades do CTNano. Em reuniões individuais e virtuais com esses líderes os estudos de patentes e de documentos de mercado foram brevemente apresentados, em termos de metodologia e resultados, conduzindo à proposta inicial de mapa, que foi colocada em discussão para coleta de impressões e pontos de melhoria. Esses apontamentos foram registrados em formato de áudio e posteriormente utilizados para consolidação de uma versão aprimorada do mapa.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Estudo de patentes

A Figura 2 apresenta o número de depósitos de patente relacionados a materiais avançados para manufatura FDM acumulados anualmente de 1999 a 2021, totalizando 154 depósitos. O perfil do gráfico sinaliza que o desenvolvimento de materiais avançados para impressoras com tecnologia FDM está na etapa de crescimento, isto é, já superou a fase de

iniciação e ainda não alcançou a de estabilização. Também é interessante notar que o gráfico apresenta uma inflexão por volta de 2013. Quatro anos antes, em 2009, havia expirado a patente de Scott Crump – fundador da fabricante de impressoras e filamentos *Stratasys* – para o método FDM (Impressora Blog, 2013). É razoável considerar que este intervalo de tempo tenha sido suficiente para difusão expressiva da técnica, com a oferta de equipamentos e insumos mais baratos, favorecendo o desenvolvimento de materiais avançados e o consequente depósito de patentes em maior número a partir de 2013.

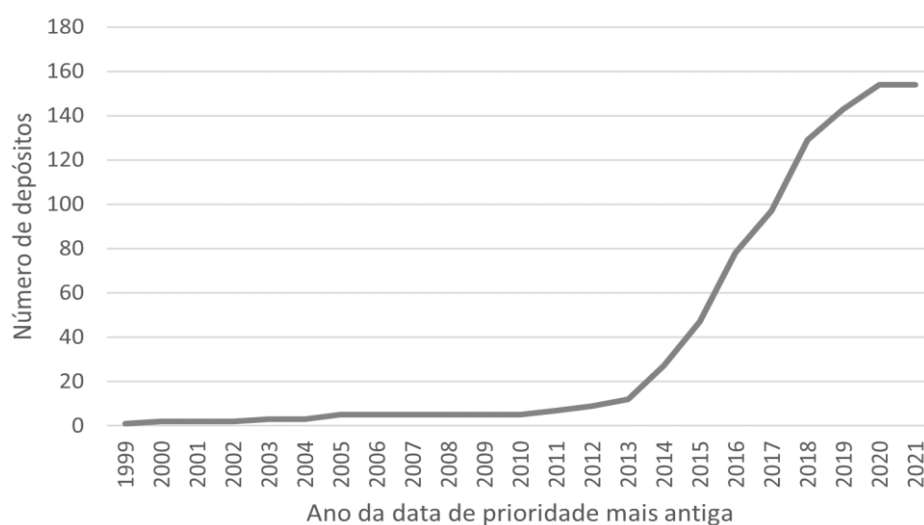


Figura 2. Número de depósitos de patente relacionados a materiais avançados para manufatura FDM acumulados anualmente de 1999 a 2021.

Fonte: dados de pesquisa

Em relação aos temas recorrentes, a frequência das menções a materiais com aplicações na área médica – como em endopróteses extensíveis (estentes) e implantes – foi notável, estando presente em 25 dos 154 documentos selecionados. Alguns tipos de aditivos também apareceram de forma marcante; o uso de partículas metálicas ou cerâmicas foi citado em 22 documentos, enquanto nanomateriais foram mencionados em 15 patentes.

Sobre as patentes relacionadas a nanomateriais, elas foram depositadas por 13 organizações diferentes, sendo 11 chinesas (figura 3), uma japonesa e uma espanhola. Dentre essas organizações estão presentes centros de pesquisa aplicada como o *Shanghai National Engineering Research Center for Nanotechnology*, universidades como o *Beijing Institute of Petrochemical Technology* e empresas privadas como a *Xerox Corporation* - estas concentradas

em polos de desenvolvimento tecnológico como Pequim, Xangai e Foshan. Em relação ao tipo de organização, tratam-se na maior parte de universidades.

Ainda sobre as patentes relacionadas a nanomateriais, elas compreendem desenvolvimentos tecnológicos cuja data de prioridade mais antiga varia de 2015 a 2019. Dentre os 15 documentos, quatro patentes envolvem aplicações na área médica (estentes, implantes); quatro citam o uso de PLA como matriz polimérica; três o uso de poliuretano e quatro fazem referência ao uso de grafeno como aditivo. Outros nanoaditivos mencionados são nanotubos de carbono, nano-hidroxiapatita, nanopartículas de ferro e de prata. Algumas patentes não especificam a matriz polimérica e os aditivos empregados no título ou resumo. A justificativa mais frequente para incorporação de nanomateriais é a melhoria de algum aspecto do desempenho mecânico associada a impressão facilitada.

#	Nome	Tipo
1	Harbin Institute of Technology	Universidade
2	China University of Mining and Technology	Universidade
3	Beijing Institute of Petrochemical Technology	Universidade
4	University of Jinan	Universidade
5	Suzhou Baxia Tech Development Co Ltd	Empresa
6	Tongji University	Universidade
7	Shanghai National Engineering Research Center for Nanotechnology (Shanghai Jiang Tong University)	Centro de pesquisa aplicada
8	South China Agricultural University	Universidade
9	South China University of Technology	Universidade
10	Foshan City Gaoming Distr. Chengruiji Tech Co Ltd	Empresa
11	Foshan Gaoming Distr. Chengruiji Tech Co Ltd	Empresa

Figura 3. Organizações chinesas depositantes de patentes de nanocompósitos para impressora com tecnologia FDM.

Fonte: dados de pesquisa

Finalmente, no âmbito de tecnologias concorrentes tiveram destaque materiais avançados para outros tipos consolidados de manufatura aditiva com polímeros, em particular

a estereolitografia (SLA - *stereolithography*) e a sinterização seletiva a laser (SLS - *selective laser sintering*), citados em 20 documentos, e desenvolvimentos tecnológicos variados para impressão com matrizes metálicas ou cerâmicas, reportados em 22 documentos. Na identificação de tecnologias concorrentes foram considerados todos os documentos recuperados pela equação de busca utilizada no *Espacenet*, e não apenas os documentos selecionados de acordo com os objetos de proteção em foco.

4.2. Estudo de documentos de mercado

A Figura 4 indica os nove documentos analisados e definidos como principais, dos quais extraíram-se informações para composição do mapa.

Nº	Documento	Autores ou organização responsável
1	Sample Report 3D Printing Market Analysis and Forecasts from 2020 to 2027 (Grand View Research, 2020)	Grand View Research
2	Sample 3D Printing Global Market Analysis, Insights and Forecast, 2015 – 2026 (Fortune Business Insights, 2020)	Fortune Business Insights
3	Sample Global 3D Printing Market (2020 - 2025) (Mordor Intelligence, 2020)	Mordor Intelligence
4	Network Based Technology Roadmapping for Future Markets: Case of 3D Printing (Tucker <i>et al.</i> , 2014)	Katherine Tucker, David Tucker, James Eastham, Elizabeth Gibson, Sumir Varma, Tugrul Daim
5	Sample Pages 3D Printing and Additive Manufacturing 2020-2030: COVID Edition (IDTechEx, 2020)	Jonathan Harrop e Richard Collins, IDTechEx Research
6	The Future of 3D Printing: Five Predictions (Jabil, 2020)	Rush LaSelle, Jabil
7	100 3D Printing Experts Predict the Future of 3D Printing in 2030 (3D Printing Industry, 2020)	Michael Petch, 3D Printing Industry
8	[Tendências de mercado] Impressora 3D: O que esperar em 2020? (WishBox, 2021)	WishBox
9	5º Webinar PI - A manufatura aditiva (impressão 3D) como aliada da indústria de plásticos (Aranda Eventos, 2020)	Revista Plástico Industrial

Figura 4. Relação de documentos de mercado analisados e definidos como principais.

Fonte: dados de pesquisa

Estima-se que o mercado global de manufatura FDM em 2021 seja da ordem de 832,5 milhões de dólares e que ele deva crescer a uma taxa anual composta (CAGR, do inglês *compound annual growth rate*) de 15,3% até 2027 (Grand View Research, 2020). A CAGR para o mercado global de impressão 3D em geral, por sua vez, é estimada em 25,7% até 2026 (Fortune Business Insights, 2020), de modo que a tecnologia do tipo FDM deve perder uma fração relativa de mercado (*market share*). Porém, as projeções indicam que ela ainda será

relevante em 2027, com o uso em contextos produtivos tornando-se tão significativo quanto em prototipagem (Fortune Business Insights, 2020). Em termos absolutos, o mercado global de impressão 3D deve atingir o valor de 45 bilhões de dólares em 2030 (IDTechEx, 2020).

Em relação ao cenário base (ano de 2021), destaca-se ainda que avanços na própria tecnologia FDM tem viabilizado o uso de diversos materiais, aumentando assim a adoção generalizada em vários setores (Mordor Intelligence, 2020). Investimentos substanciais têm sido realizados por governos pelo mundo nos Estados Unidos, Canadá, Reino Unido, Alemanha, China, Índia e Coreia do Sul. A Coreia do Sul, em particular, estabeleceu um *roadmap* independente para P&D em impressão 3D e está fornecendo suporte nacional para executá-lo. O governo está introduzindo incentivos fiscais e acelerando acordos regulatórios da indústria para encorajar a adoção da impressão 3D (Fortune Business Insights, 2020). Essas informações são coerentes com o desenvolvimento tecnológico de materiais avançados para manufatura FDM em crescimento observado no estudo de patentes.

Outro fator importante no cenário base é o surgimento de insumos para manufatura SLA com resistência mecânica aprimorada (Aranda Eventos, 2020), sinalizando um aumento da concorrência para filamentos poliméricos nanoestruturados, que também se propõem a aumentar o desempenho mecânico das peças impressas. A Figura 5 apresenta dados que reforçam essa percepção. Retornando ao campo de patentes, foram realizadas buscas no *Espacenet* por documentos relacionados a três tecnologias de manufatura aditiva baseadas em polímeros (FDM, SLS e SLA) e materiais. Os resultados para as tecnologias SLS e SLA são substancialmente mais numerosos, superando aqueles obtidos para FDM por 104% e 87%, respectivamente.

Equação de busca	Nº de resultados encontrados	Percentual em relação ao todo (%)	Percentual em relação a FDM (%)
ctxt any* “fused” AND ctxt any “deposition” AND ctxt any “modeling” AND ctxt any “material”	1036	20,4	100
ctxt any “selective” AND ctxt any “laser” AND ctxt any “sintering” AND ctxt any “material”	2118	41,6	204
ctxt any “stereolithography” AND ctxt any “material”	1937	38,0	187

Figura 5. Resultados obtidos em buscas no *Espacenet* relacionadas a três tecnologias de manufatura aditiva diferentes e materiais. A expressão *ctxt any* refere-se a uma busca por qualquer forma do termo subsequente entre aspas nos campos textuais indexados (título, resumo e reivindicações).

Fonte: dados de pesquisa

Por outro lado, possíveis aliados na exploração comercial da tecnologia de filamentos nanoestruturados também foram identificados: *Ultimaker Material Alliance* e Braskem (Aranda Eventos, 2020). A *Ultimaker Material Alliance* é uma organização que reúne cerca de 80 fornecedores de filamentos e oferece mais de 100 materiais ao mercado, com nível industrial para aplicações industriais e foco em atender às aplicações desejadas pelos clientes finais (desenvolvimento dirigido). Dentre os participantes encontram-se grandes empresas como Basf e Ensinger, desenvolvedora de uma poliamida reforçada com fibra de vidro (WishBox Technologies, 2021). A Braskem, por sua vez, poderia ser considerada uma empresa ativa no desenvolvimento de materiais avançados para FDM, a partir de declarações públicas na rede (Aranda Eventos, 2020).

Em direção ao futuro, diferentes fontes sustentam a ideia de que materiais para manufatura aditiva são tanto um forte direcionador de mercado quanto um atributo de produto principal, pois são novos materiais que habilitam novas aplicações e, portanto, abrem caminho para adoção desse grupo de tecnologias em novos contextos (Tucker *et al.*, 2014; 3D Printing Industry, 2020; Jabil, 2020).

Finalmente, em relação ao horizonte de tempo mais longínquo considerado neste estudo, o ano de 2030, algumas tendências devem ser pontuadas. A extrusão com termoplásticos (TPE), de maneira geral, deve continuar dominante entre consumidores finais, isto é, entre usuários que demandam pequena escala, como os domésticos e pequenos empreendedores que produzem artigos de decoração e colecionáveis (IDTechEx, 2020); cabe ressaltar que atualmente TPE é

sinônimo de FDM, mas no futuro podem existir outros métodos de impressão 3D baseados na extrusão de termoplásticos. Todavia, em relação ao uso da manufatura aditiva como tecnologia de fabricação em contextos industriais, muitos especialistas acreditam que outras tecnologias de impressão 3D de alto desempenho devem sobressair, em particular aquelas baseadas em matrizes metálicas (3D Printing Industry, 2020).

Estima-se que em 2030 10% ou mais de todas as partes produzidas no mundo serão impressas e que a manufatura aditiva será uma grande aliada no estabelecimento de modos de produção e distribuição mais sustentáveis, isto é, que consumam menos energia, emitam menos poluentes e gerem menos lixo. A produção será cada vez mais customizada e próxima do local de consumo, diminuindo a necessidade de estoques ao mesmo tempo em que os tempos de entrega são reduzidos (3D Printing Industry, 2020). Também se projeta que as fábricas tornar-se-ão cada vez mais inteligentes e automatizadas, com a manufatura aditiva sendo integrada aos processos produtivos com o apoio de tecnologias como internet das coisas e inteligência artificial.

4.3. Roadmap

A Figura 6 apresenta na parte A o mapa proposto já em sua versão final, ou seja, após síntese das informações obtidas em cada camada elaborada a partir dos estudos apresentados nos tópicos anteriores e também após a etapa de ajustes e validação com as lideranças do CTNano. A parte B da figura 6 apresenta a camada central com maior nível de detalhamento, sugerindo opções estratégicas para o CTNano em resposta às tendências e cenários levantados. Os marcos temporais foram definidos a partir do cenário base (2021) e dos elementos de maior destaque no estudo de documentos de mercado.

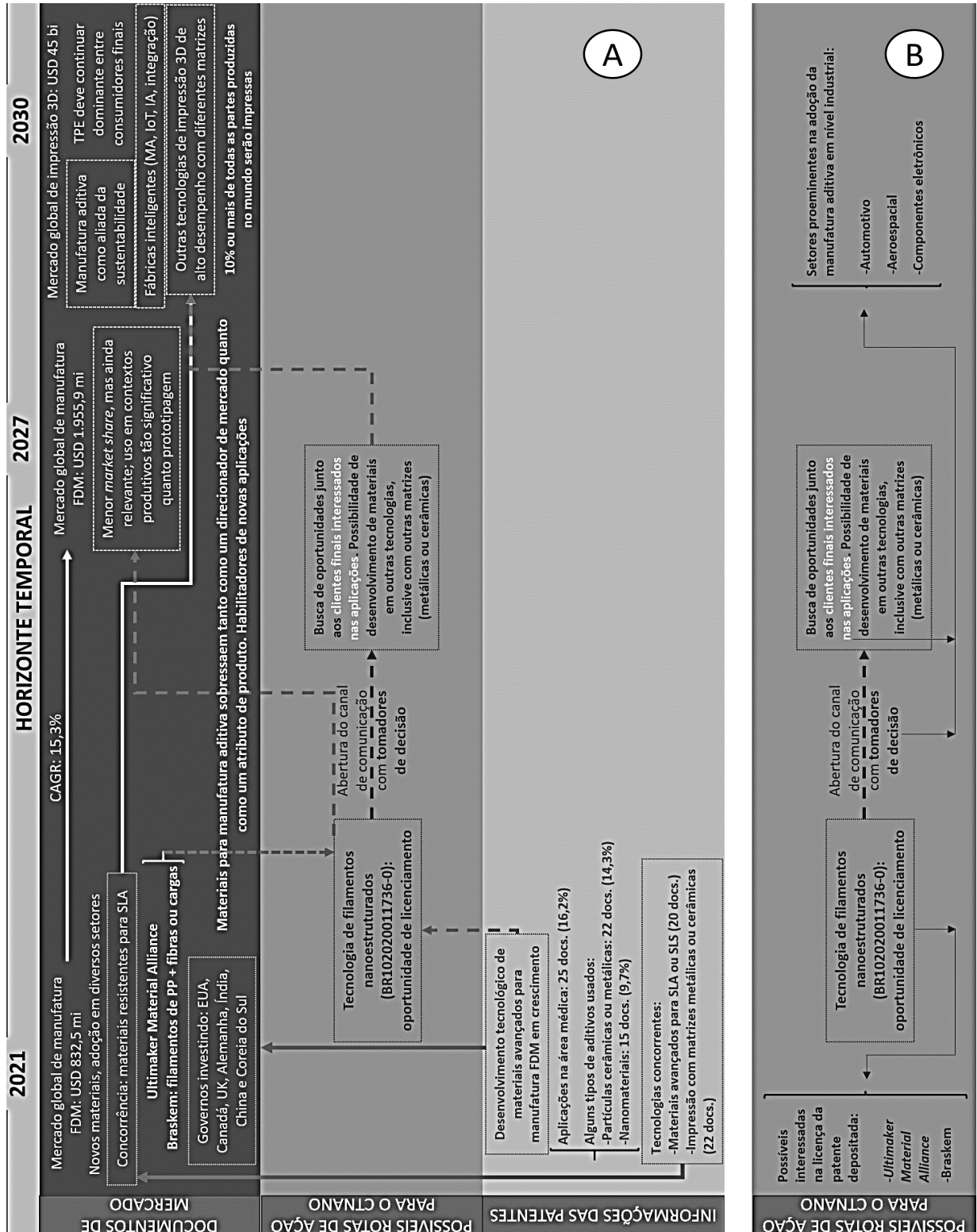


Figura 6. Mapa construído a partir dos estudos de patentes e de documentos de mercado.

Fonte: dados de pesquisa

Considerando os fatores favoráveis e desfavoráveis levantados no presente e projetados para o futuro, o CTNano pode focar seus esforços em dois núcleos sequenciais:

(i) em relação à tecnologia de filamentos nanoestruturados que já possui um depósito de patente: esse recurso pode ser usado como elemento de portfólio para estabelecer diálogo com grandes fabricantes de polímeros com *grades* (variedades) para impressão FDM, como a Braskem, ou, mais especificamente, com fabricantes de filamentos relevantes no cenário internacional, como a Ultimaker. Neste último caso, a *Ultimaker Material Alliance* pode ser um canal efetivo para licenciamento da tecnologia e inserção definitiva do CTNano no mercado da manufatura aditiva, viabilizando a captura de valor dos esforços em P&D já realizados no Centro em um cenário de tempo mais curto, por exemplo um a dois anos, e o aproveitamento de tendências projetadas até 2027. É nesta atividade que o Centro deveria focar de maneira mais imediata.

(ii) em relação à manufatura aditiva de modo mais geral: é importante considerar que a tecnologia FDM pode não ser a vencedora no contexto de produção industrial e das aplicações que requerem elevado desempenho funcional. O desenvolvimento de tecnologias substitutas pode comprometer a relevância do FDM no médio/longo prazos ou aprisioná-lo em algumas aplicações particulares nas quais ele permaneça como solução mais competitiva. Esse é um aspecto que pode ser analisado com maior profundidade, em complemento aos estudos já realizados. Porém, mesmo com as informações já levantadas entende-se que o CTNano deve, tanto quanto possível, buscar oportunidades de desenvolvimento de materiais a partir da interação com clientes finais, isto é, com as empresas que de fato podem vir a usar os materiais de interesse no contexto industrial, e não apenas os fabricantes dos insumos, como indicado no primeiro núcleo de ação. Desse modo, o Centro estará exposto à possibilidade de capturar valor contido em outras tecnologias de manufatura aditiva. Espera-se que a inserção no mercado proposta no item (i) facilite esse envolvimento com clientes finais, na medida em que abra canais de acesso aos tomadores de decisão nas empresas usuárias. Sob essa perspectiva, o CTNano atuaria como originador do desenvolvimento tecnológico que poderia ser compartilhado com ou licenciado para fabricantes de insumo e comercializado para o cliente final – e, a depender do papel estratégico, para outras empresas do mesmo setor. Nesse caso, os esforços necessários poderiam ser iniciados em um horizonte de curto ou médio prazo com a

intenção de se desenrolar no longo prazo, de modo a se aproveitar das tendências projetadas para 2030.

Ilustrando quem podem ser esses clientes finais ou empresas usuárias, alguns dos setores proeminentes para adoção da impressão 3D em nível industrial citados com maior frequência nos documentos analisados são o automotivo, o aeroespacial e o de componentes eletrônicos.

4.4. Síntese e considerações sobre a abordagem proposta para monitoramento tecnológico e mercadológico

A Figura 7 apresenta o desenho processual da abordagem desenvolvida. O processo tem início com o levantamento de informações sobre a tecnologia de interesse por meio de buscas de patentes e documentos de mercado em bases de dados ou buscadores com apoio de palavras-chave adequadas. Em seguida, é feita uma seleção das informações relevantes e atinentes por meio da análise das estruturas extraídas das patentes (e, conforme necessário, dos resumos) e da leitura crítica dos documentos de mercado. Com as informações selecionadas, as camadas do mapa correspondentes às patentes e ao mercado são construídas e justapostas para proposição da camada de rotas de ação que a organização pode seguir. Finalmente, o mapa completo é levado à discussão com membros internos e de papel estratégico para validação e identificação de pontos de retorno no processo, conforme necessário.

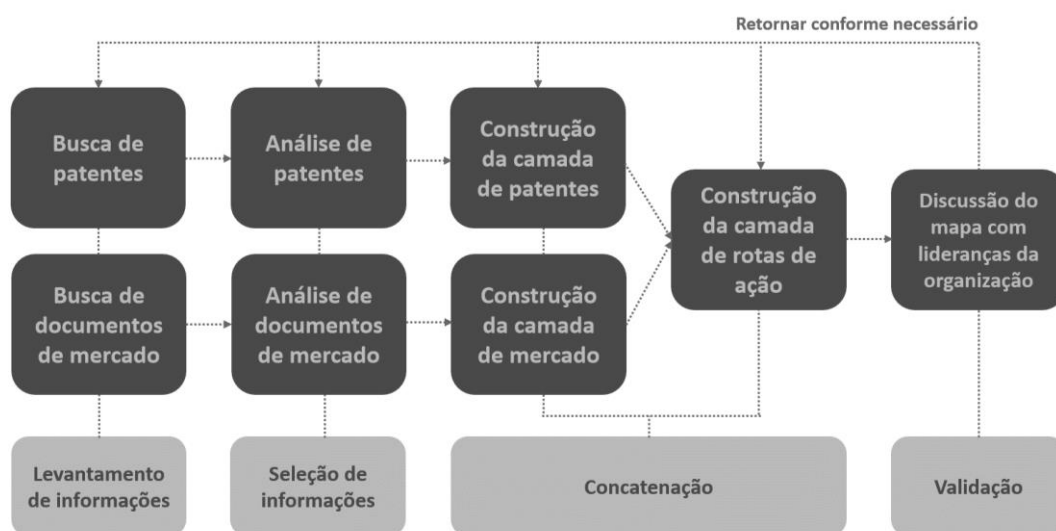


Figura 7. Resumo gráfico da abordagem para monitoramento tecnológico e mercadológico desenvolvida.

Fonte: dados de pesquisa

Em relação à possibilidade de replicação da abordagem proposta em outros contextos, cabe tecer algumas considerações. Em primeiro lugar, os resultados obtidos são altamente dependentes do recorte feito ao se definir a tecnologia de interesse, com quais outras ela é comparável e quais são os elementos relevantes pelos quais ela está envolvida quando empregada na prática. Por esse motivo, o sucesso no uso desta abordagem requer um conhecimento prévio de certa magnitude sobre a tecnologia em foco para operar os estudos propostos, “povoar” as camadas do mapa e articular adequadamente seus elementos. Também é de fundamental importância envolver na etapa de validação do mapa agentes internos com bagagens diversas, que consigam observá-lo de diferentes perspectivas e sem o vício no olhar de quem esteve imerso em sua confecção, a fim de aumentar as chances de se identificar aspectos negligenciados ou superestimados.

Em relação à influência na cultura e comportamento do CTNano, o delineamento e aplicação piloto da abordagem proposta proporcionam um balanceamento da visão mais tecnicista típica de um ambiente de desenvolvimento intensivo em ciência e tecnologia com a ponderação de aspectos de natureza mercadológica e estratégica necessários a uma organização que deseja se orientar cada vez mais ao desenvolvimento de produto. A consideração desses aspectos de maneira sistematizada e estruturada também é benéfica à condução de projetos nos quais alguma captura de valor é complexa e incerta, em particular aqueles desenvolvidos a partir de ideias originadas dentro do Centro, e não a partir de demandas externas, jogando luz sobre caminhos que podem ser trilhados para ativamente perseguir essa captura de valor.

5. CONCLUSÕES

Neste trabalho uma abordagem de monitoramento tecnológico e mercadológico para o CTNano foi delineada a partir de uma aplicação piloto com a tecnologia de filamentos poliméricos nanoestruturados. Como foco de ação mais imediata do Centro em relação à tecnologia, visando à captura de valor, defendeu-se a tentativa de licenciamento da patente depositada junto a fabricantes de insumos para impressoras com tecnologia FDM que se destacaram no estudo de documentos de mercado.

Quanto às suas limitações, a abordagem proposta é fortemente impactada pelo recorte estabelecido na definição dos termos de busca para patentes e documentos de mercado, exigindo

uma reflexão cuidadosa e certo repertório prévio ao aplicá-la. Além disso, como exige a leitura completa dos documentos de mercado priorizados e, em muitos casos, dos resumos das patentes, o número total de documentos avaliados é limitado pela disponibilidade de tempo do recurso humano disponível e substancialmente menor em relação a métodos de mineração de dados com maior grau de automatização. Um terceiro ponto a se considerar é a forma de acesso a documentos. No teste piloto, por questões orçamentárias, limitou-se a busca àqueles disponíveis publicamente; todavia, pode haver informações valiosas restritas a documentos com acesso pago e, conforme disponibilidade, deve-se avaliar a hipótese desse investimento.

Já em termos de contribuições, o estudo tem viés aplicado, buscando-se auxiliar a tomada de decisão organizacional para captura de valor. Elabora-se um passo a passo que pode ser lapidado e ajustado para outros contextos dentro do próprio CTNano ou em outras organizações intensivas em P&D. Do ponto de vista teórico, o objetivo de produzir julgamentos sobre as características de tecnologias emergentes, caminhos de desenvolvimento e potenciais impactos no futuro associado aos EFT foi concretizado por meio da combinação de aspectos de duas perspectivas, patentometria e *Roadmapping*, a fim de sintetizar informações tecnológicas e mercadológicas e indicações de rotas de ação em um objeto gráfico comunicativo. No caso da patentometria, não foi explorado o potencial de mineração de dados mais intensiva e automatizada, e no do *Roadmapping*, não foram envolvidas práticas tradicionais de construção colaborativa; esses aspectos poderiam ser incorporados futuramente para robustecer a proposta metodológica.

REFERÊNCIAS

- 3D Printing Industry. (23 jan. 2020). Disponível em: <https://3dprintingindustry.com/news/100-3d-printing-experts-predict-the-future-of-3d-printing-in-2030-167623/>. Acesso em: 20 jun. 2021.
- Abbas, A., Zhang, L., & Khan, S. U. (2014). A literature review on the state-of-the-art in patent analysis. *World Patent Information*, 37, 3–13. <https://doi.org/10.1016/j.wpi.2013.12.006>.
- ARANDA EVENTOS. (14 out. 2020). 5º Webinar PI - A manufatura aditiva (impressão 3D) como aliada da indústria de plásticos [Arquivo de vídeo]. Disponível em: <https://youtu.be/9NVHgIR2A5s>. Acesso em: 20 jun. 2021.
- Castilho, J., Dias, J., Bagno, R. B., Freitas, J. S., & Cheng, L. C. (2015). A methodology to build an initial R&D portfolio for industry-university cooperation. *2015 Portland International Conference on Management of Engineering and Technology (PICMET)*, 257–269. <https://doi.org/10.1109/picmet.2015.7273184>.

- Ciarli, T., Coad, A., & Rafols, I. (2016). Quantitative analysis of technology futures: A review of techniques, uses and characteristics. *Science and Public Policy*, 43(5), 630–645. <https://doi.org/10.1093/scipol/scv059>.
- Cuhls, K. (2003). From forecasting to foresight processes - New participative foresight activities in Germany. *Journal of Forecasting*, 22(2), 93–111. <https://doi.org/10.1002/for.848>.
- European Patent Office. (2020). Disponível em: <https://www.epo.org/searching-for-patents/technical/espacenet.html>. Acesso em: 08 ago. 2021.
- Faria, L. R. (2015). *Análise do desenvolvimento tecnológico a partir de documentos de patentes: um estudo de caso em processos de biolixiviação*. [Dissertação de Mestrado]. Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto.
- Fortune Business Insight. (2020). Disponível em: <https://www.fortunebusinessinsights.com/industry-reports/3d-printing-market-101902>. Acesso em: 20 jun. 2021.
- Freitas, J. S., Oliveira, M. G., Bagno, R. B., Melo Filho, L. D. R., & Cheng, L. C. (2020). A Bottom-Up Strategic Roadmapping Approach for Multilevel Integration and Communication. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 1–13. <https://doi.org/10.1109/TEM.2020.3037189>.
- IDTechEx. (2020). Disponível em: <https://www.idtechex.com/en/research-report/3d-printing-and-additive-manufacturing-2020-2030-covid-edition/765>. Acesso em: 20 jun. 2021.
- Impressora Blog. (26 ago. 2013). Disponível em: <http://www.impressora.blog.br/fim-das-patentes-impulsiona-mercado-de-impressao-3d/>. Acesso em: 20 jun. 2021.
- INPI. (2021). Manual Básico para Proteção por Patentes de Invenções, Modelos de Utilidade e Certificados de Adição. Ministério Da Economia, 1996. Disponível em: <https://www.gov.br/inpi/pt-br/servicos/patentes/guia-basico/ManualdePatentes20210706.pdf>. Acesso em: 16 ago. 2021.
- Jabil. (2020). Disponível em: <https://www.jabil.com/blog/future-of-3d-printing-additive-manufacturing-looks-bright.html>. Acesso em: 20 jun. 2021.
- Jeong, Y., & Yoon, B. (2015). Development of patent roadmap based on technology roadmap by analyzing patterns of patent development. *Technovation*, 39–40(1), 37–52. <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2014.03.001>.
- Khramova, E., Meissner, D., & Sagieva, G. (2013). Statistical Patent Analysis Indicators as a Means of Determining Country Technological Specialisation. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.2247936>.
- Mordor Intelligence. (2020). Disponível em: <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/3d-printing-market>. Acesso em: 20 jun. 2021.
- Oliveira, M. G., Freitas, J. S., Fleury, A. L., Rozenfeld, H., Phaal, R., Probert, D. (2019). *Roadmapping: uma Abordagem Estratégica para o Gerenciamento da Inovação em Produtos, Serviços e Tecnologias* (1ª ed.). Rio de Janeiro: Alta Books.
- Oliveira, M. G., Freitas, J. S., Pereira, B. S., & Guerra, P. V. (2020). Exploring the Involvement of Experts in Strategic Roadmapping with Large Groups. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 1–11. <https://doi.org/10.1109/TEM.2020.3026936>.
- Perez, A., Roberson, D., & Wicker, R. (2014). Fracture Surface Analysis of 3D-Printed Tensile Specimens of Novel ABS-Based Materials. *Journal of Failure Analysis and Prevention*, 14(3), 343–353. <https://doi.org/10.1007/s11668-014-9803-9>.

- Phaal, R., Farrukh, C., & Probert, D. (2001). *T-plan: The Fast Start to Technology Roadmapping. Planning Your Route to Success* (1^a ed.). Cambridge: University of Cambridge.
- Phaal, R., Farrukh, C. J. P., & Probert, D. R. (2004a). Customizing roadmapping. *Research – Technology Management*, 47(2), 26–37. <https://doi.org/10.1080/08956308.2004.11671616>.
- Phaal, R., Farrukh, C. J. P., & Probert, D. R. (2004b). Technology roadmapping — A planning framework for evolution and revolution. *Technological Forecasting and Social Change*, 71, 5–26. [https://doi.org/10.1016/S0040-1625\(03\)00072-6](https://doi.org/10.1016/S0040-1625(03)00072-6).
- Porter, A. L., Ashton, W. B., Clar, G., Coates, J. F., Cuhls, K., Cunningham, S. W., Ducatel, K., Van Der Duin, P., Georgehiou, L., Gordon, T., Linstione, H., Marchau, V., Massari, G., Miles, I., Mogee, M., Salo, A., Scapolo, F., Smits, R., & Thissen, W. (2004). Technology futures analysis: Toward integration of the field and new methods. *Technological Forecasting and Social Change*, 71(3), 287–303. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2003.11.004>.
- Porter, A. L. (2010). Technology foresight: Types and methods. *International Journal of Foresight and Innovation Policy*, 6(1–3), 36–45. <https://doi.org/10.1504/IJFIP.2010.032664>.
- Ribeiro, N. M. (1^a ed.). (2018). *Prospecção tecnológica, Volume 1*. Salvador: IFBA.
- Souza, M. L. P., Souza Jr., W. C., Freitas, J. S., Melo Filho, L. D. R., & Bagno, R. B. (2020). Agile Roadmapping: A management Tool for Digital Entrepreneurship. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 1–15. <https://doi.org/10.1109/tem.2020.3027918>.
- Shane, S. A. (2004). *Academic entrepreneurship: university spinoffs and wealth creation* (1^a ed.). Northampton: Edward Elgar Publishing, Inc.
- Tucker, K., Tucker, D., Eastham, J., Gibson, E., Varma, S., & Daim, T. (2014). Network Based Technology Roadmapping for Future Markets: Case of 3D Printing. *Technology and Investment*, 5(3), 137–156. <https://doi.org/10.4236/ti.2014.53014>.
- Wang, X., Jiang, M., Zhou, Z., Gou, J., & Hui, D. (2017). 3D printing of polymer matrix composites: A review and prospective. *Composites Part B: Engineering*, 110, 442–458. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2016.11.034>.