



Mapeamento dos depósitos de patentes no Brasil envolvendo Nanotecnologia

2023



Instituto Nacional da Propriedade Industrial - INPI

Presidente: Júlio César Castelo Branco Reis Moreira

Diretoria de Patentes, Programas de Computador e Topografias de Circuitos Integrados – DIRPA

Diretor: Alexandre Dantas Rodrigues

Coordenação Geral de Estudos, Projetos e Disseminação da Informação Tecnológica - CEPIT

Coordenador: Alexandre Gomes Ciancio

Divisão de Estudos e Projetos- DIESP

Chefe: Irene von der Weid

Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas – Sebrae

Presidente: Décio Nery de Lima

Diretoria Técnica - Ditec

Diretor: Bruno Quick

Unidade de Inovação

Gerente: Paulo Renato Macedo Cabral

Coordenação do Núcleo de Base Tecnológica e Propriedade Intelectual

Coordenadora: Hulda Oliveira Giesbrecht



Autores

Irene von der Weid	DIESP/CEPIT/DIRPA
Cristiane Fernandes Gorgulho	DIESP/CEPIT/DIRPA
Cristina d'Urso de Souza Mendes	DIESP/CEPIT/DIRPA
Natalia Cristina Candian Lobato	DIPAT XVII/CGPAT IV/DIRPA
Mariana Coutinho Brum	DIPAT XVII/CGPAT IV/DIRPA
Panmela Pereira Merlo	DIPAT XVII/CGPAT IV/DIRPA

Colaboradores

Adriana Dantas Gonçalves	Unidade Inovação/SEBRAE
Hulda Oliveira Giesbrecht	Unidade Inovação/SEBRAE



Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca de Propriedade Intelectual e Inovação Economista Claudio Treiguer
Bibliotecário Evanildo Vieira dos Santos - CRB7

W417 Weid, Irene von der.

Nanotecnologia: panorama do patenteamento no Brasil e aplicações. / Irene von der Weid, Cristiane Fernandes Gorgulho, Cristina d'Urso de Souza Mendes, Natalia Cristina Candian Lobato, Mariana Coutinho Brum e Panmela Pereira Merlo. [parceria do INPI com o SEBRAE para o projeto "ICT Catalisa"]. Rio de Janeiro: Instituto Nacional da Propriedade Industrial (Brasil) – INPI, Diretoria de Patentes, Programas de Computador e Topografia de Circuitos Integrados - DIRPA, Coordenação Geral de Estudos, Projetos e Disseminação da Informação Tecnológica - CEPIT e Divisão de Estudos e Projetos - DIESP, 2023.

76 p.; figs.; tabs.
Radar Tecnológico – 2023.

1. Informação tecnológica – Patente. 2. Informação tecnológica – Nanotecnologia. 3. Nanomateriais. 4. Aplicações. I. Gorgulho, Cristiane Fernandes. II. Lobato, Natalia Cristina Candian. III. Brum, Mariana Coutinho. IV. Merlo, Panmela Pereira. V. Título.

CDU: 347.771:621.039

Permitida a reprodução, desde que citada a fonte. Todos os direitos reservados aos autores e editores da publicação



RESUMO EXECUTIVO

Este Radar tecnológico foi produzido no âmbito do Acordo de Cooperação Técnica (ACT) firmado entre o INPI e o SEBRAE que prevê o desenvolvimento de estudos de prospecção tecnológica em áreas de interesse dos grupos de pesquisa participantes da jornada Catalisa ICT. O tema “nanotecnologia” se mostrou relacionado a diversos planos de inovação do Catalisa ICT, com aplicações em diferentes setores como saúde, agricultura, agropecuária, cosméticos e sustentabilidade socioambiental.

Objetivo: Apresentar o panorama do patenteamento de tecnologias relacionadas à nanotecnologia no Brasil, através da identificação dos pedidos de patente no setor, depositados no país nos últimos 20 anos em diferentes campos de aplicação.

- Foram identificados 12.054 documentos de patentes depositados no INPI a partir do ano 2000, relacionados à nanotecnologia. Destes, 2.519 pedidos são de depositantes residentes (21%);
- Foi observada tendência de crescimento no número de depósitos no período estudado, principalmente quando analisados os pedidos de residentes;
- Cerca de 36% dos pedidos são de tecnologias de origem norte americana. O Brasil, Alemanha, França e Suíça aparecem ainda entre os 5 principais países de origem das tecnologias depositadas no INPI;
- Entre os principais depositantes, dentre as 5 primeiras posições no *ranking* geral, há 3 universidades brasileiras: a Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), a Universidade de São Paulo (USP) e a Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP);
- Os pedidos de patentes foram agrupados em 19 categorias relacionadas aos diversos campos de aplicação. A categoria “ciências médicas”, abrange quase 50% da amostra e foi, portanto, subdividida em 10 subcategorias, sendo as subcategorias de “Preparações medicinais caracterizadas pelos ingredientes não ativos usados” e “equipamentos, métodos e preparações para diagnóstico ou cirurgia” as que apresentam maior número de documentos identificados;



- Outras categorias relevantes identificadas na amostra foram “Biotecnologia”, “Tecnologias para adaptações às mudanças climáticas” e “métodos de medição e monitoramento”;
- Na categorização de acordo com o tipo de nanomaterial descrito nos documentos de patentes, os nanomateriais orgânicos aparecem como o grupo com maior quantidade de pedidos identificados (39% da amostra), seguidos pelos pedidos referentes a nanocompositos (19%), nanomateriais metálicos (16%), os nanomateriais baseados em carbono (14%), os nanobiomateriais (13%) e os nanomateriais cerâmicos (8%);
- Uma matriz de correlação entre os campos de aplicação e os tipos de nanomateriais indicou que os nanomateriais orgânicos com aplicação em “preparações medicinais caracterizadas pelos ingredientes não ativos utilizados” e em “biotecnologia”, são os que possuem maior quantitativo de pedidos de patente depositados do Brasil;
- Dentre os depositantes residentes 85% são “pessoas jurídicas”, principalmente da administração pública, em especial as instituições públicas voltadas ao ensino e à pesquisa;
- As entidades empresariais correspondem a cerca de 22% dos depositantes de pedidos de residentes, sendo 85,7% empresas de médio e grande porte, 15,7% “microempresas” e 8% dos pedidos de “empresas de pequeno porte”;
- Foram identificadas 14 *startups* entre os depositantes residentes, com 16 pedidos de patente na área de nanotecnologia, depositados no INPI no período estudado, sendo cerca de 44% dos pedidos relacionados ao setor de “biotecnologia”;
- Foi realizado um diagnóstico de gênero entre os inventores residentes da amostra tendo sido identificado que 45% dos inventores na área de nanotecnologia são mulheres;
- Os resultados apresentados podem ser acessados de forma interativa através de um *dashboard*, onde é possível selecionar diferentes parâmetros e baixar os dados bibliográficos dos pedidos de patente no campo de interesse [[link para o dashboard](#)]



Sumário

Resumo Executivo.....	5
Lista de Abreviaturas.....	10
1 Introdução.....	12
1.1 Contextualização.....	12
1.2 Definições e Histórico.....	13
1.3 Critérios de categorização dos nanomateriais.....	15
1.3.1 Técnicas de manipulação e síntese de nanopartículas.....	17
1.4 Propriedades da nanotecnologia e possíveis aplicações.....	19
1.4.1 Nanotecnologia e meio ambiente.....	21
1.4.2 Nanotecnologia na Saúde.....	21
1.4.2.1 Riscos da nanotecnologia: a nanotoxicidade.....	23
1.5 Políticas para o desenvolvimento da nanotecnologia.....	24
1.5.1 Políticas públicas no Brasil.....	25
1.6 O mercado de nanotecnologia e indicadores.....	26
1.6.1 O mercado da nanotecnologia no Brasil: investimentos, oportunidades e desafios.....	28
1.7 Nanotecnologia e a propriedade industrial (PI).....	29
2 Objetivos do estudo.....	31
3 Resultados.....	32
3.1 Panorama do conjunto total de pedidos de patente depositados do Brasil envolvendo Nanotecnologia.....	32
3.1.1 Distribuição anual dos pedidos de patente depositados do Brasil envolvendo Nanotecnologia.....	32
3.1.2 Origem dos pedidos relacionados à nanotecnologia depositados no Brasil.....	33
3.1.3 Principais depositantes de pedidos de patentes relacionados à nanotecnologia depositados no Brasil.....	34
3.1.4 Categorização dos pedidos de patentes em nanotecnologia.....	36



3.1.4.1	Categorização de acordo com os campos de aplicação relacionados a estes pedidos	36
3.1.4.2	Categorização dos pedidos de patentes relacionados à nanotecnologia de acordo com o tipo de nanomaterial descrito nos pedidos.....	40
3.1.4.3	Perfil de correlação entre as categorias de aplicação da nanotecnologia nos pedidos e as categorias relativas aos tipos de nanomateriais descritos nos mesmos	41
3.1.5	Situação legal dos pedidos de nanotecnologia depositados no Brasil	43
3.2	Análise do perfil dos depositantes residentes e das tecnologias desenvolvidas e depositadas por este grupo no Brasil ..	44
3.2.1	Análise da natureza jurídica dos depositantes residentes.....	44
3.2.2	Principais depositantes residentes de pedidos de patentes relacionados à nanotecnologia e geolocalização dos depositantes.....	46
3.2.3	Identificação das principais Empresas residentes com pedidos relacionados à nanotecnologia	49
3.2.4	Análise de gênero dos inventores brasileiros na área de Nanotecnologia	52
3.2.5	Perfil de correlação entre os nanomateriais utilizados em pedidos de patentes de residentes e os campos de aplicação dos pedidos.....	53
4	Discussão	55
4.1	Principais campos de aplicação da nanotecnologia e nanomateriais empregados descritos nos pedidos de patentes depositados no Brasil	55
4.2	Pedidos de patente de residentes envolvendo nanotecnologia.....	58
4.3	Disponibilização dos dados apresentados	61
4.4	Problemas e Desafios	61
5	Referências	65



Nanotecnologia

6	Apêndice – Metodologia	71
6.1	Levantamento dos pedidos de patentes depositados no INPI relacionados à Nanotecnologia	71
6.2	Categorização dos documentos de patentes relacionados à nanotecnologia	73
6.2.1	Categorização dos documentos de acordo com o campo de aplicação (Classificação IPC e CPC).....	73
6.2.2	Categorização dos documentos de acordo com o tipo de nanomaterial (Classificação IPC, CPC, <i>manual-codes</i> e palavras-chave).....	73
6.2.3	Construção de um <i>dashboard</i> com os dados do Radar Tecnológico.....	76



Lista de Abreviaturas

- ABDI - Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas
- ACT - Acordo de Cooperação Técnica
- ANVISA - Agência Nacional de Vigilância Sanitária
- ATS - Agenda Tecnológica Setorial
- BINTEC - Base de Informação Tecnológica
- BNDES - Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
- CAGR - *Compound Annual Growth Rate* (Taxa de Crescimento Anual Composta)
- CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
- CIP - Classificação Internacional de Patentes (ou IPC - *International Patent Classification*)
- CNI - Confederação Nacional da Indústria
- CNPJ - Cadastro Nacional de Pessoa Jurídica
- CPC - *Cooperative Patent Classification* (Classificação Cooperativa de Patente)
- CT&I - Ciência Tecnologia & Inovação
- DNA - Ácido Desoxirribonucleico
- DWPI - *Derwent World Patents Index*
- EAD - Ensino à Distância
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
- EMHO - Equipamentos e suprimentos Médicos, Hospitalares e Odontológicos
- ENCTI - Estratégia Nacional de Ciência e Tecnologia
- EPO - *European Patent Office* (Escritório Europeu de Patente)
- EUA - Estados Unidos da América
- FINEP - Financiadora de Estudos e Projetos
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- IBN - Iniciativa Brasileira de Nanotecnologia
- ICT - Instituto de Ciência e Tecnologia
- INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
- INPI - Instituto Nacional da Propriedade Industrial
- IoT - *Internet of Things* (Internet das Coisas)



ISO - *International Standards Organization* (Organização de Padronização Internacional)

ITP - Instituto de Tecnologia e Pesquisa

LCNCs – Lignocelulose

MCTI - Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação

MCTIC - Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovação e Comunicação

MRI - *Magnetic Resonance Imaging* (Imagem de Ressonância Magnética)

MRS - *Magnetic Resonance Spectroscopy* (Espectroscopia de Ressonância Magnética)

NNI - *National Nanotechnology Initiative* (Iniciativa Nacional de Nanotecnologia)

NPD - *Nanotechnology Products Database*

NPs - Nanopartículas

NSF - *National Science Foundation* (Fundação Nacional de Ciência)

OCDE - Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OECD)

P&D - Pesquisa e Desenvolvimento

PET - *Positron Emission Tomography* (Tomografia por Emissão de Pósitrons)

PNI - Política Nacional de Inovação

POP - Procedimentos Operacionais Padrão

RNA - Ácido Ribonucleico

SARS-CoV-2 - Coronavírus 2 da Síndrome Respiratória Aguda Grave

SEBRAE - Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas

SPECT - *Single Photon Emission Computed Tomography* (Tomografia Computadorizada por Emissão de Fóton Único)

UFMG - Universidade Federal de Minas Gerais

UFPE - Universidade Federal de Pernambuco

UNICAMP - Universidade Estadual de Campinas

USP - Universidade de São Paulo

USPTO - *United States Patent Trademark Office*

WIPO - *World Intellectual Property Organization* (Organização Mundial da Propriedade Intelectual - OMPI)



1 Introdução

1.1 Contextualização

O SEBRAE (Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas)¹ tem um papel relevante no ecossistema de inovação². Uma das iniciativas importantes nesse contexto é o "Catalisa ICT"³, com a parceria de entidades do ecossistema de inovação, como o INPI, que visa acelerar e fomentar negócios inovadores de base tecnológica no país, para alavancar geração de riqueza e bem-estar para a sociedade por meio do incentivo à aproximação entre a academia (pesquisadores empreendedores) e o mercado, oferecendo aos pesquisadores capacitação em gestão, mentorias, fomento a projetos e acesso ao universo empresarial. Desta forma, o Catalisa ICT fomenta a implementação de planos de inovação e projetos de PD&I que resultem na criação de negócios inovadores e na transferência de tecnologia, promovendo o crescimento socioeconômico no país.

Desde 2020, a jornada "Catalisa ICT" promove a aceleração de pesquisa científicas em negócios inovadores. Na etapa "Aprender e estruturar" foram selecionadas em edital 1.000 pesquisas brasileiras com potencial de inovação e capacitados cerca de 2.800 pesquisadores em empreendedorismo inovador. Na etapa atual "Desenvolver e Testar" a jornada contou com 270 planos de inovação selecionados, sendo capacitados, mentorados, fomentados com auxílio e com 1.049 bolsas pesquisador empreendedor.

Um Acordo de Cooperação Técnica (ACT) firmado entre o INPI e o SEBRAE prevê o desenvolvimento de estudos de prospecção tecnológica com base nos depósitos de pedidos de patente, em áreas de interesse dos grupos de pesquisa participantes da "jornada Catalisa ICT".

Neste contexto, uma planilha contendo os títulos e resumos dos 270 planos de inovação selecionados nessa jornada foi analisada, tendo

¹ O Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (Sebrae) é uma entidade privada que promove a competitividade e o desenvolvimento sustentável dos empreendimentos de micro pequenas empresas- aqueles com faturamento bruto anual de até R\$ 4,8 milhões.

² Ecossistema de inovação é um ambiente onde estão presentes empresas, empreendedores e agentes que podem atuar de forma harmônica e colaborativa.

³ <https://sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/catalisa/ictedital>



sidio identificado que o tema “Nanotecnologia” estava relacionado a cerca de 16% dos planos de inovação do Catalisa ICT, com aplicações em diferentes setores como saúde, agricultura, agropecuária, cosméticos e sustentabilidade socioambiental.

Considerando a relevância e transversalidade do tema, este estudo visa identificar tecnologias relacionadas à nanotecnologia depositadas no Brasil, a fim de disseminar o conhecimento não somente aos pesquisadores do projeto Catalisa ICT, mas aos diferentes atores do ecossistema de inovação dos setores interessados, visando estimular o surgimento de novas tecnologias de produção e aplicações para a nanotecnologia no país, favorecendo assim o sistema de inovação.

1.2 Definições e Histórico

A nanotecnologia trata do entendimento e controle dos fenômenos físicos e químicos, além da produção, caracterização e manipulação de materiais em nível atômico, molecular e supramolecular, com dimensões nanométricas (aproximadamente entre 1 e 100 nanômetros)⁴. Assim, os nanomateriais são aqueles constituídos de pelo menos uma dimensão inferior a 100 nm, enquanto os nano-objetos possuem duas dimensões inferiores a 100 nm e as nanopartículas têm três dimensões inferiores a 100 nm (Stone *et al.*, 2010; Savolainen *et al.*, 2010; Aqel *et al.*, 2012).

A nanotecnologia é considerada uma tecnologia emergente, transversal, pervasiva, revolucionária, inovadora e convergente. Por ser uma tecnologia multidisciplinar e multisetorial, a nanotecnologia oferece inúmeras oportunidades, mas também grandes desafios. Uma matéria em nanoescala tem comportamento muito diferente do que o mesmo material na escala macro. Ao empregar materiais nanométricos, que apresentam propriedades físicas, químicas e biológicas diferenciadas, em produtos já existentes no mercado, é possível aperfeiçoar o desempenho destes produtos. Segundo Miles & Leite (2010), ao incorporar esses materiais nanométricos sem modificar de modo significativo o processo de fabricação do produto, é possível obter um ganho significativo, com menos risco e menores investimentos em P&D do que se optasse por desenvolver inovações radicais. Por isso, muitos

⁴ Ou 1 a 100 bilionésimos de metro.



consideram que a nanotecnologia terá um papel de destaque na economia do futuro, assim como a inteligência artificial, a ciência da informação quântica e a manufatura avançada.

De acordo com a *International Standards Organization (ISO)*⁵, a definição da nanotecnologia contemplaria no mínimo um dos seguintes aspectos: (i) entendimento e controle da matéria e processos em nanoescala, tipicamente, mas não exclusivamente, abaixo de 100 nanômetros em uma ou mais dimensões, onde o aparecimento de fenômenos dependentes de tamanho permite novas aplicações; e (ii) utilização das propriedades dos materiais em nanoescala que são diferentes das propriedades dos átomos individuais, moléculas, ou dos materiais macroscópicos, criando materiais, dispositivos e sistemas melhores, que exploram essas novas propriedades (ISO, 2015). A norma internacional ISO também apresenta diversas definições associadas a nanotecnologias, como os nanotubos, a nanofibra, o nanofio, o fulereno etc. As definições dos diversos termos associados à nanotecnologia podem ser vistas no Glossário disponível em Anexo. Assim, o conceito de nanotecnologia não se resume apenas ao tamanho ou escala, mas engloba também propriedades físicas, químicas, biológicas e ópticas únicas, que emergem naturalmente na escala nanométrica, bem como a capacidade de manipulação e controle desses efeitos.

A manipulação de átomos e moléculas em escala nanométrica foi divulgada em 1959 pelo físico norte-americano Feynmann, que apresentou o conceito em um encontro da “*Sociedade Americana de Física*” referindo-se à possibilidade de manipulação direta de átomos individuais que poderiam resultar na produção de dispositivos úteis para todos os campos do conhecimento. O termo “nanotecnologia” começou a ser utilizado 15 anos depois, entretanto, foi apenas em 1981, que o primeiro artigo científico sobre nanotecnologia foi publicado. (Allianz Center of Technology (ACT), 2005).

A partir da década de 1980, houve grandes avanços da nanotecnologia, devido ao desenvolvimento dos equipamentos de

⁵ A ISO é uma organização independente e não-governamental que conta com a participação de entidades membros de 162 países, atuando nas áreas de padronização e normalização em todos os campos técnicos. Até 2016, 36 países participavam dos grupos de discussão relacionados a ISO/TC 229 *Nanotechnologies*, além de 14 países observadores.



síntese, caracterização e manipulação destes materiais em nanoescala. Além disso, fatos como a publicação do livro “*Engines of Creation: The Coming Era of Nanotechnology*”, de Eric Drexler (1986), a descoberta dos fulerenos⁶ (1985) e dos nanotubos⁷ (1991) e a síntese do grafeno⁸ (2004), colaboraram para que a nanotecnologia se tornasse mais conhecida. Segundo especialistas, uma das vantagens de se trabalhar com nanomateriais é a capacidade de miniaturização de componentes e dispositivos aplicáveis e a diferenciação em características físicas e químicas intrínseca a nanoestruturas (Aqel *et al.*, 2012).

Nas últimas décadas, a nanotecnologia tornou-se fundamental para áreas como biomedicina, telecomunicações, energia, computação, indústria aeronáutica, entre outras. A descoberta de materiais como o grafeno e o nióbio geraram um importante avanço na nanociência com significativos impactos nas inovações tecnológicas deste milênio. Recentemente foram produzidos Radares tecnológicos contendo o panorama de patenteamento de produtos e/ou processos envolvendo Grafeno (Gorgulho *et al.*, 2022) e Nióbio (Santos *et al.*, 2023) no Brasil.

1.3 Critérios de categorização dos nanomateriais

Os nanomateriais podem ser categorizados de acordo com diversos critérios diferentes, como: métodos de síntese; forma (estrutura); composição ou propriedades (Zarbin, 2007).

De acordo com os **métodos de síntese**, as nanopartículas podem ser classificadas de duas formas distintas. A primeira forma, chamada de *top-down*, consiste na cominuição do material em tamanho macroscópico até dimensões nanométricas, normalmente realizada via moagem a úmido através do moinho de bolas. A segunda rota, conhecida por *bottom-up*, surgiu como uma proposta mais econômica e

⁶ Fulerenos foram descobertos em 1985 na “*Rice University*” (USA) por Robert Curl, Harold Kroto e Richard Smalley, que receberam o Prêmio Nobel em Química por esta descoberta.

⁷ A descoberta de nanotubos de carbono é frequentemente atribuída ao físico acadêmico japonês Sumio Iijima em 1991, embora os cientistas soviéticos L.V. Radushkevich e V.M. Lukyanovich tenham publicado uma imagem TEM de um nanotubo de carbono de 50 nanômetros de diâmetro, em 1952.

⁸ O Grafeno foi descrito teoricamente, em 1947, por P.R. Wallace, mas seu isolamento físico só foi descrito em 2004, quando Geim e colaboradores mostraram que poderiam usar fita adesiva para extrair folhas de grafeno individuais de cristais de grafite. Por suas relevantes pesquisas sobre o grafeno e suas propriedades, Geim e Novoselov ganharam o Prêmio Nobel, em 2010.



eficaz de produção de nanopartículas, na qual o material é sintetizado através de reações químicas de nucleação e crescimento (Cao & Wang, 2004).

A classificação das nanopartículas através da **estrutura** pode ser, por exemplo, como nanopontos, que são nanopartículas com dimensão zero, ou seja, as três dimensões estão na escala nano; nanofios ou nanotubos, que são nanopartículas com dimensão um e neste caso duas dimensões estão na escala nano; e os nanofilmes que são nanopartículas com dimensão dois (Cao & Wang, 2004).

As nanopartículas também podem ser classificadas por suas **propriedades** como as propriedades ótica, elétrica, magnética catalítica, condutora etc. Essas propriedades as tornam importantes nas **aplicações** em indústrias de diferentes ramos, por exemplo, a automotiva, têxtil, de alimentos, de eletrônica e outras (Zarbin, 2007).

E por último, há a classificação de acordo com a sua **composição**, ou seja, o tipo de material de que são constituídos (Sajid, 2022; Jelinek, 2015), a saber; nanomateriais inorgânicos, que podem ser metálicos ou cerâmicos; nanomateriais baseados em Carbono (como o grafeno e o fullereno); nanomateriais orgânicos, incluindo os polímeros, dendrímeros, ciclodextrinas e micelas; nanobiomateriais, como anticorpos, proteínas e ácidos nucleicos; e os nanocompósitos, conforme apresentado na Tabela 1. Estes nanomateriais podem ainda ser categorizados de acordo com a sua estrutura, como as nanopartículas, nanotubos, nanocapsulas, nanofios, nanoplacas, nanoemulsões, nanogel, micelas, dendrímeros, *quantum dots*, entre outras estruturas em escala nanométrica.

TABELA 1. DEFINIÇÃO DOS NANOMATERIAIS DE ACORDO COM A SUA COMPOSIÇÃO

	NANOMATERIAIS	DESCRIÇÃO
I	Nanomateriais inorgânicos: Metálicos	Nanomateriais metálicos compreendem a forma pura de nanopartículas à base de metal, que também são chamadas de nanopartículas metálicas (por exemplo, prata, cobre, ouro, platina, paládio, ferro e nióbio). (Yaqoob <i>et al.</i> , 2020)
II	Nanomateriais inorgânicos: Cerâmicos	Nanomateriais cerâmicos são constituídos principalmente por óxidos, carbonetos, fosfatos e carbonatos de metais e silício, etc. (Thomas <i>et al.</i> , 2015)
III	Nanomateriais baseados em Carbono	Nanomateriais baseados em carbono incluem nanopartículas de carbono amorfo (partículas de carbono ultrafinas, nanopartículas de carbono e pontos de carbono), fulereno, nanotubos de carbono, grafeno, pontos quânticos de grafeno e nanodiamantes. (Holmannova <i>et al.</i> , 2022)
IV	Nanomateriais orgânicos: Polímeros, dendrímeros e ciclodextrinas e micelas	Nanomateriais orgânicos incluem nanomateriais feitos principalmente de matéria orgânica, excluindo os baseados em carbono ou inorgânicos. (Horn & Rieger, 2001)
V	Nanobiomateriais: anticorpos, proteínas e ácidos nucleicos	Nanobiomateriais são biomateriais em nanoescala, sintéticos ou naturais, que interagem com sistemas biológicos para realizar uma função específica. (Stanley, 2014)
VI	Nanocompósitos	Os Nanocompósitos podem ser quaisquer combinações de nanomateriais à base de carbono, à base de metal ou de base orgânica com qualquer forma de metal, cerâmica ou materiais a granel de polímero. (Jeevanandam <i>et al.</i> , 2018; Calandra <i>et al.</i> , 2013)

1.3.1 Técnicas de manipulação e síntese de nanopartículas

Como descrito acima, uma das formas de categorização pode ser através dos métodos de síntese. De acordo com especialistas, diversos métodos de preparação podem ser empregados para a síntese de nanopartículas (NPs), sendo estes divididos em duas principais abordagens: uma abordagem chamada *top-down* e uma segunda abordagem chamada *bottom-up*. Estas abordagens, por sua vez, são divididas em várias subclasses baseadas em operação, condição de reação e protocolos adotados, conforme esquematizado na Figura 1.

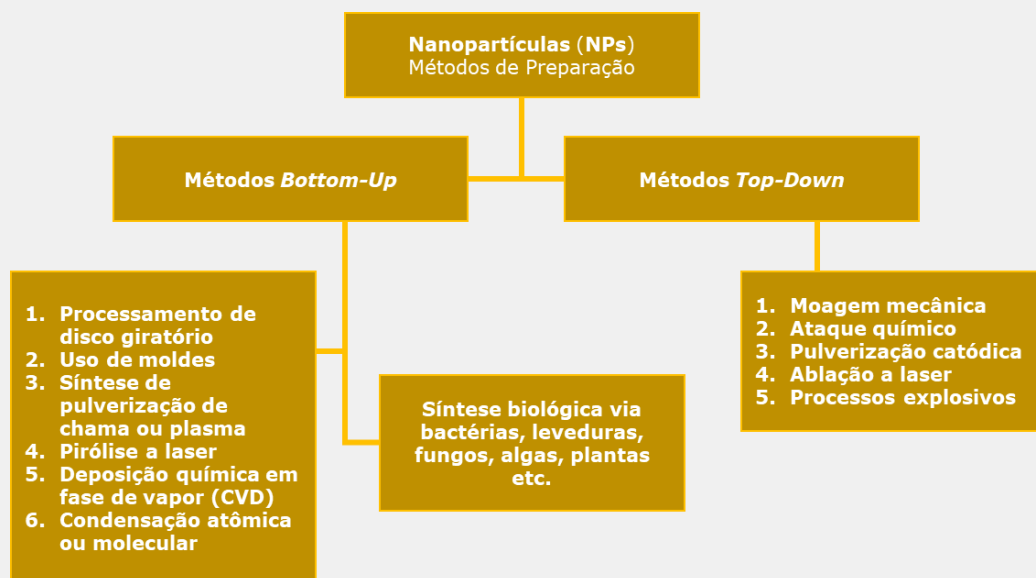


FIGURA 1. ESQUEMA REPRESENTATIVO DOS MÉTODOS DE PREPARAÇÃO DE NANOPARTÍCULAS E SUAS RESPECTIVAS SUBCLASSES, ADAPTADO DE KHAN ET AL. (2019)

Em 2004, a *National Science Foundation* (NSF)⁹ apresentou um importante relatório, onde indicou que o avanço da nanotecnologia poderia ser dividido em quatro estágios básicos de desenvolvimento, ligados à complexidade e evolução temporal de técnicas de manipulação e controle de processos na escala nanométrica. Os quatro estágios de desenvolvimento estão apresentados na Tabela 2, a seguir. Vale destacar que estas quatro fases de desenvolvimento da nanotecnologia indicadas pela NSF possuem características cumulativas e dariam origem a um amplo grupo de novos materiais e tecnologias com diferentes níveis de complexidade, de acordo com Amaral (2016).

⁹ A "*National Science Foundation*" (NSF) é uma agência governamental dos Estados Unidos com forte atuação no que se refere a nanotecnologia, tendo sido responsável pelas primeiras iniciativas governamentais de fomento a esse campo tecnológico (<https://www.nano.gov/about-nanotechnology> e <https://www.nsf.gov/crssprgm/nano/>)

TABELA 2. ESTÁGIOS DE DESENVOLVIMENTO PARA TÉCNICAS DE MANIPULAÇÃO E CONTROLE DE PROCESSOS NA ESCALA NANOMÉTRICA (ADAPTADO DE AMARAL, 2016)

ESTÁGIOS	DEFINIÇÕES	EXEMPLOS
Nanoestruturas passivas	Materiais com estruturas e funções bem definidas, que apresentam novas propriedades na escala nanométrica e são utilizadas como componentes em outros produtos.	A adição de nanopartículas de óxido de zinco em filtros solares, que permitem potencializar a ação refletora da radiação ultravioleta.
Nanoestruturas ativas	Materiais que, na escala nano, alteram seu tamanho, forma, ou outra propriedade durante seu uso de forma inteligente.	Sistemas de liberação de fármacos nanoestruturados, que circulam pelo organismo, atuando apenas no local do tecido lesionado.
Nanosistemas integrados	Materiais com controle em escala nano de sua estrutura, que apresentam ganho ou mudança de função, agindo, analogamente, a um tecido especializado.	A construção de filmes-finos autolimpantes.
Nanosistemas moleculares	Sistemas complexos formados a partir da montagem de outras nanoestruturas, capazes de se organizar e construir nanodispositivos ou máquinas moleculares.	Semelhante à auto-organização de proteínas no funcionamento celular.

1.4 Propriedades da nanotecnologia e possíveis aplicações

As nanoestruturas possuem propriedades únicas e inovadoras, que são potencializadas na escala nanométrica, quando comparadas com uma mesma estrutura, de mesma composição, em uma maior escala. Assim, nas últimas décadas, tem se intensificado expectativas positivas em relação ao potencial de aplicação da nanotecnologia em diversas áreas tecnológicas e em todos os setores econômicos, na medida em que novas propriedades têm sido descobertas quando utilizada a escala nano (ABDI, 2010b).

As propriedades mecânicas das nanoestruturas apresentam diversas aplicações, principalmente visando aprimorar o desempenho de diferentes materiais. Podemos destacar as propriedades catalíticas, resistência e rigidez mecânica, leveza, adesão, fricção, capacidade



térmica e elasticidade (Rosa *et al.*, 2020). Um exemplo de aplicações mecânicas das nanoestruturas é sua utilização no desenvolvimento de materiais mais resistentes e mais leves, como por exemplo, no esporte, onde no tênis já se utiliza bolas com borracha menos permeável e raquetes nanoestruturadas mais leves.

Na área de materiais, podem ser criados materiais mais robustos, mais leves e mais finos do que os existentes, que podem ser de grande interesse no campo da aeronáutica e da tecnologia espacial, da construção, das embalagens e vestuário. Os novos materiais, como por exemplo, o grafeno, apresentam alta intensidade de desenvolvimento tecnológico e oportunidades na fronteira do conhecimento, com aplicações em diversos setores (Belluci *et al.*, 2021).

Na indústria automobilística, a diminuição do peso das estruturas e componentes de carros e máquinas, pode significar a diminuição do consumo de combustível. Tintas mais resistentes a abrasão e ao atrito também já estão sendo desenvolvidas na área automobilística (Rosa *et al.*, 2020).

Na eletrônica, óptica e fotônica destacam-se os filmes finos para eletrônica e fotônica; lasers; LEDs orgânicos e inorgânicos; além de sensores fotônicos. Nestes campos a nanotecnologia permite que sejam desenvolvidos componentes eletrônicos extremamente pequenos, que permitem dispositivos eletrônicos miniaturizados e muito mais potentes.

No setor de construção, a nanotecnologia pode ser usada em materiais de construção como o concreto e agregados, ou ainda em revestimentos, como tintas e tecidos, enquanto na indústria têxtil, as nanoestruturas podem ser aplicadas em tecidos, alterando a permeabilidade ou gerando tecidos mais flexíveis, leves e até mesmo autoajustáveis ao corpo (Vlasov, 2015).



1.4.1 Nanotecnologia e meio ambiente

A pesquisa em nanotecnologia tem um impacto direto em uma sociedade sustentável por apresentar novas soluções (novos processos, materiais, dispositivos e sistemas em nanoescala), além de permitir a redução de utilização de insumos e recursos (como energia e água) na manufatura de produtos em escala nano, podendo gerar menos resíduos.

No Brasil, recentemente, pesquisadores da EMBRAPA transformaram a palha da cana, um resíduo abundante da produção de açúcar e álcool, em nanocristais de lignocelulose (LCNCs), também conhecidos como *whiskers*. Este material, além de biodegradável, apresenta resistência mecânica similar à do aço e possui grande potencial de aplicação nas indústrias petroquímica, farmacêutica e eletrônica. Assim, os nanocristais de cana são potenciais candidatos a futuro combustível para a produção de energia menos poluente, podendo ser usados em biorrefinarias, que utilizam matérias-primas renováveis (Penante, 2021).

No setor de nanoenergia, destacam-se as células solares à base de semicondutores orgânicos e inorgânicos, células combustíveis, além dos nanotubos de carbono para uso na cadeia/ciclo de biocombustíveis e da energia nuclear. Outras aplicações na área ambiental incluem nanossensores para detecção e/ou qualificação de substâncias nocivas; filtros nanoestruturados para permitir o transporte seletivo de uma mistura; etc (Villa Verde *et al.*, 2017a). Em termos de proteção do meio ambiente e salvaguarda energética, os micromateriais e elementos podem permitir um uso muito mais eficiente e poderoso de fontes alternativas de energia, como o desenvolvimento de painéis de energia solar.

1.4.2 Nanotecnologia na Saúde

Os recentes avanços no desenvolvimento de nanomateriais na área da saúde, têm gerado novas e promissoras oportunidades para suas aplicações na medicina, tanto como ferramentas de diagnóstico como terapêuticas. Recentes avanços nessa área incluem a melhoria da



sensibilidade na terapia e no diagnóstico precoce, além dos estudos sobre a possível toxicidade dos nanomateriais na medicina.

Algumas das mais importantes aplicações da nanotecnologia na área da medicina são os dispositivos de diagnóstico como nanobiossensores e *microarrays*, além do desenvolvimento de novos agentes de contraste para a imagiologia médica, incluindo a bioluminescência e fluorescência ótica, ultrassons dirigidos, ressonância magnética molecular (MRI), espectroscopia de ressonância magnética (MRS), tomografia de emissão de fóton único (SPECT), tomografia de emissão de pósitrons (PET) (Cai & Chen, 2007) e tecnologia de *nano-harvesting* de Biomarcadores (Luchini *et al.*, 2008).

Outra área de grande interesse da nanomedicina é a de nanofármacos, onde o uso da nanotecnologia busca evitar os efeitos colaterais e melhorar algumas das características dos fármacos tradicionais, como biocompatibilidade, solubilidade ou estabilidade. Um dos principais tópicos de desenvolvimento são os sistemas de entrega de fármacos (*drug-delivery*), que permitem a liberação controlada dos princípios ativos.

Outras áreas de interesse na nanomedicina são os nanoteranósticos definidos como a integração e combinação das modalidades de terapêutica e diagnóstico num único sistema, utilizando para isso os benefícios da nanotecnologia. Um sistema de teranósticos utilizado em pacientes que sofram de câncer, por exemplo, consistiria em diagnosticar, em primeiro lugar, o tipo e classe de câncer, fazer imagiologia e perceber a heterogeneidade do tumor, aplicar um tratamento adaptado baseado no diagnóstico e resultados da imagiologia e, por fim, monitorizar a eficácia do tratamento (Kim *et al.*, 2013).

Adicionalmente a medicina regenerativa é também uma área muito importante da nanomedicina, e tem sido regida pelo conceito genérico de combinar propriedades celulares com diversas abordagens tecnológicas no *design* e fabricação de novos tecidos/órgãos (Mura & Couvreur, 2012).

Assim, a utilização de técnicas de diagnóstico baseadas em nanopartículas oferece uma alta sensibilidade, por exemplo, no



diagnóstico de cânceres em estágios iniciais. Além disso, a possibilidade de incorporação de vários tipos de moléculas na superfície de uma única nanopartícula permite a adição de propriedades adicionais ao nanomaterial¹⁰.

1.4.2.1 Riscos da nanotecnologia: a nanotoxicidade

Apesar de reconhecida a eficiência dos nanomateriais para o diagnóstico e tratamento em nanomedicina, há, contudo, dificuldades em se estimar quanto tempo será necessário para a padronização e regulamentação desses ativos. É essencial que reguladores e agências saúde e proteção ao meio ambiente tenham sistemas de medição confiáveis disponíveis e protocolos de avaliação suportados por padrões robustos e bem fundamentados.

De acordo com Silva *et al.* (2014), “nanotoxicologia” se refere ao “*estudo da interação entre as nanoestruturas e os sistemas biológicos, com ênfase especial na elucidação da relação entre as propriedades físicas e químicas das nanopartículas frente ao nosso organismo*”.

Apesar dos avanços da nanomedicina em sistemas diagnósticos e terapêuticos, o potencial efeito na saúde humana devido à exposição prolongada ainda não foi estabelecido. Devido à limitada quantidade de informações acerca dos efeitos tóxicos desses nanomateriais, a nanomedicina enfrenta várias questões regulatórias em um processo bastante complexo. Uma das principais preocupações diz respeito a como as nanopartículas conseguem penetrar em membranas celulares mais facilmente, quando comparado a diversas outras moléculas ou fármacos. Para isso, metodologias analíticas e biológicas clássicas estão sendo adaptadas para investigações toxicológicas entre nanomateriais e sistemas biológicos. No entanto, as informações hoje disponíveis ainda são contraditórias e pouco precisas. Para auxiliar a busca de resultados nessa área, diversas ferramentas têm sido propostas como modelos, simulações computacionais ou instrumentações no nível atômico e/ou molecular.

¹⁰ O acúmulo de nanomateriais em tecidos tumorais também pode ser realizado por meio da funcionalização de sua superfície com biomoléculas (como proteínas, peptídeos, aptâmeros e anticorpos específicos), que reconheçam especificamente células ou tecidos de interesse.



Assim, observa-se no debate científico, um paradoxo na nanotecnologia: se por um lado seus benefícios podem trazer avanços em diversos campos, por outro há uma lacuna de conhecimento sobre os potenciais riscos dos nanomateriais para a saúde e o meio ambiente (Hess, 2010; Grieger *et al.*, 2009).

No caso do Brasil, a regulação, normalização e certificação da nanotecnologia tem o suporte técnico de diversas instituições nacionais, como a ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), o INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia) e ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária). O INMETRO tem um papel relevante neste cenário, avaliando e certificando os produtos com nanotecnologias disponíveis no mercado brasileiro. Uma das ações do INMETRO, nos últimos anos, foi o lançamento do “Portal Nanotecnologia” com o objetivo de dar visibilidade às principais normas, guias e procedimentos operacionais padrão (POP) para a caracterização dos nanomateriais, facilitando, desta forma, a disseminação deste conhecimento junto aos diversos atores interessados (comunidade, academia, reguladores e indústria), a fim de auxiliá-los no desenvolvimento, análise ou registro de produtos de nanotecnologia¹¹.

1.5 Políticas para o desenvolvimento da nanotecnologia

Instituições como a Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) tiveram papel central na disseminação de políticas de nanotecnologia (OCDE, 2009). A organização estimulou a convergência de políticas entre os seus países-membros e influenciou países periféricos, entre eles o Brasil. Quevedo & Invernizzi (2021) observam a importância do papel das instituições internacionais, já que os diversos países estão cada vez mais submetidos às mesmas pressões econômicas globais, além do caráter fortemente internacionalizado das atividades científicas.

No caso dos EUA, um ato fundamental para inserção da nanotecnologia como política de Estado aconteceu em 2000, quando o país lançou a “*National Nanotechnology Initiative*” (NNI)¹², cujo investimento inicial foi de 270 milhões de dólares em 2000, atingindo

¹¹ Portal da Nanotecnologia: <https://ead.inmetro.gov.br/mod/page/view.php?id=447>

¹² <https://www.nsf.gov/crssprgm/nano/>



495 milhões de dólares em 2001. Ao longo de duas décadas, este investimento em pesquisa, desenvolvimento e comercialização de nanotecnologia chegou a mais de 25 bilhões de dólares. O grande destaque da NNI se deve ao enquadramento a uma nova competição global por meio de um projeto político, econômico e científico de uma das maiores potências do mundo. Este cenário fez com que a influência dos EUA se alastrasse, incluindo nações da Ásia, União Europeia e América Latina, que alinharam suas agendas nessa direção (NAEPR, 2004).

1.5.1 Políticas públicas no Brasil

As políticas públicas nacionais relativas à nanotecnologia vêm se consolidando nos últimos anos, tendo ocorrido avanços sistêmicos nas políticas relacionadas aos materiais avançados. No Brasil, essas políticas são orquestradas por diversos atores, dentre eles: o Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI); a Financiadora de Estudos e Projetos (Finep); a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) e a Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI).

De acordo com Amaral (2016), a partir de meados dos anos 2000, a nanotecnologia passou a ganhar importância no âmbito das políticas públicas no Brasil. Neste contexto, em 2013, foi lançada a “*Iniciativa Brasileira de Nanotecnologia*” (IBN), a qual representou um importante marco no país, pois buscava promover a criação de políticas mais articuladas e coesas com o contexto nacional, dando uma relevância muito maior para o programa de nanotecnologia brasileiro. Em 2016, a ABDI elaborou uma “*Agenda Tecnológica Setorial*” (ATS) sobre o complexo industrial da saúde focado na nanotecnologia, apresentando um panorama da nanomedicina de forma a obter um mapeamento no Brasil de tecnologias e conhecimentos relativos a este setor (ABDI, 2016). O BNDES também atuou na identificação do mercado para oferecer apoio às atividades desse conjunto de indústrias, em particular a de equipamentos e materiais para saúde (Pieroni *et al.*, 2010).

Segundo Invernizzi (2019), visando desenvolver sua competitividade global, o Brasil emulou sua política de nanotecnologia inspirada em partes dos modelos de políticas de nanotecnologia dos



países mais industrializados (por exemplo, EUA e União Europeia)¹³ adaptando alguns de seus aspectos.

Mais recentemente, especialmente a partir de 2020, novas políticas públicas (incluindo programas, planos e estratégias) sobre materiais avançados e tecnologias convergentes e habilitadoras foram lançadas pelo governo, sendo que as normas mais recentes procuram abordar também aspectos como o risco dos nanomateriais para a saúde e o impacto no meio ambiente.

Quanto aos instrumentos normativos do governo federal e do MCTI, Bellucci *et al.* (2021) citam: o Planejamento Estratégico do MCTI (2020-2030) aliado à atualização da “Política Nacional de Inovação” (PNI)¹⁴; a Portaria MCTIC nº 1.122, de 19/03/2020 (atualizada pela Portaria MCTIC nº 1.329, de 27 de março de 2020)¹⁵; e, a “Estratégia Nacional de Ciência e Tecnologia” (ENCTI), que destaca os materiais avançados no âmbito das “Tecnologias Convergentes e Habilitadoras”¹⁶. Segundo os autores, no Brasil, as políticas públicas têm como objetivo fortalecer o foco estratégico, governança e ampliação do volume e regularidade do fluxo de investimentos de “Materiais Avançados”.

1.6 O mercado de nanotecnologia e indicadores

O vasto potencial da nanotecnologia se traduz no desenvolvimento de inúmeros nanoproductos e aplicações em todas as áreas de ciência, tecnologia e negócios. Para acompanhar esse desenvolvimento, em 2016, foi criada uma base de dados denominada *Nanotechnology Products Database* (NPD), que abriga, no sítio StatNano, informações confiáveis sobre produtos nanotecnológicos

¹³ Segundo os autores, a política brasileira de NT foi influenciada pela NNI estadunidense quanto a investimentos em grandes centros de pesquisa, por exemplo, e posteriormente na “Iniciativa Brasileira de Nanotecnologia” (IBN), quando adere a um projeto europeu de ciência regulatória, o NanoREG.

¹⁴ Este planejamento estratégico estabeleceu, conforme missão e diretrizes institucionais, uma orientação superior de gestão tempestiva das prioridades, implementação e impactos da política nacional em CT&I nos níveis estratégico, tático e operacional destacando-se os Materiais Avançados, o desenvolvimento de aplicações e inovações de mercado.

¹⁵ Esta portaria estabeleceu as linhas e tecnologias prioritárias de ação do Ministério, no período 2020 a 2023, para os projetos de pesquisa, desenvolvimento tecnológico e inovações (PD&I) e destacou a prioridade da área de Materiais Avançados.

¹⁶ A Convergência Tecnológica refere-se à combinação sinérgica de quatro grandes áreas do conhecimento: a Nanotecnologia, a Biotecnologia, as Tecnologias da Informação e da Comunicação e as Ciências Cognitivas – Neurociência (MCTI, 2012).



disponíveis no mercado, patentes, publicações científicas, eventos e outras questões relevantes sobre essa tecnologia inovadora. Em dezembro de 2022, a StatNano contabilizava a existência de 10.416 produtos (de 1.419 tipos) com nanotecnologia, produzidos por 3.420 empresas, instaladas em 65 diferentes países. As principais categorias de produtos disponibilizados no mercado, segundo a StatNano (2022) são: eletrônicos, medicina, construção e cosméticos.

De acordo com Ouellette (2015), muitas vezes é difícil aferir o valor que a nanotecnologia agrega a um determinado produto ou processo. Métricas para estimar o impacto dos investimentos governamentais em nanotecnologia incluem resultados diretos (como publicações científicas e patentes), resultados de curto prazo (como graduados com diplomas focados em nanotecnologia e transferência de tecnologia para pequenas empresas) e resultados de longo prazo, tais como, empresas de nanotecnologia, empregos no setor, produtos e vendas.

Algumas projeções para o mercado global de nanotecnologia indicam uma taxa de crescimento anual composta (CAGR) de 35,5% para o período entre 2021 e 2026, saindo de US\$ 5,2 bilhões (em 2021) até atingir US\$ 23,6 bilhões, em 2026. No caso da nanotecnologia em aplicações médicas, estima-se que o mercado global deve crescer de US\$ 242,6 bilhões, em 2021, a US\$493,5 bilhões em 2026, a uma CAGR de 15,3% neste mesmo período. Já o mercado global de tecnologias para nanofibras deve crescer de US\$2,2 bilhões (2021) a US\$6,7 bilhões em 2026, com CAGR de 25,1% no período (BCC Research, 2021).

Gharailou (2018) estimou que, dispositivos nanoeletrônicos, grafeno e pontos quânticos terão a maior taxa de crescimento. Entre os nanomateriais, as nanopartículas de prata e ouro serão responsáveis pelo maior mercado, especialmente nos setores de saúde, biomedicina e eletrônica, devido às suas propriedades e aplicações específicas.

Os indicadores da OCDE mostram que, em 2020, os países com maior número de empresas com P&D em nanotecnologia são os EUA, a Coreia do Sul e a França. Segundo este indicador, em 2017, o Brasil tinha 162 empresas atuando neste setor (OCDE, 2022).



1.6.1 O mercado da nanotecnologia no Brasil: investimentos, oportunidades e desafios

Em 2010, a Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI) disponibilizou documentos com uma ampla discussão sobre o mercado e a dimensão da nanotecnologia no Brasil, investimento, infraestrutura e uma visão sobre o marco regulatório, aspectos éticos e a aceitação pela sociedade (ABDI, 1010 a; ABDI 2010 b). De acordo com pesquisas realizadas pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), na época, as oportunidades de negócio em nanotecnologia estavam mais direcionadas ao mercado de cosméticos, produtos provenientes da indústria química (catalisadores, tintas, revestimentos) e petroquímica, plásticos, borrachas e ligas metálicas.¹⁷

Segundo Cancino *et al.*, (2014), o Brasil possui grandes oportunidades para o desenvolvimento e comercialização de produtos nanoestruturados, sejam aplicados à medicina humana, veterinária, ou mesmo para setores agroindustriais, farmacêuticos, químicos e de cosméticos. Milanez & Guimarães (2018) apontam a nanotecnologia (além da biotecnologia) como uma das novas tecnologias, que podem ter um papel importante na ampliação do complexo agroalimentar brasileiro e, conseqüentemente, no maior desenvolvimento do agronegócio: não apenas no aprimoramento e desenvolvimento de novos produtos e embalagens (por exemplo, com características funcionais e/ou com maior facilidade de preparo), mas também na adequação aos padrões sanitários cada vez mais restritos.

Na indústria cosmética, a nanotecnologia possibilita produzir mais utilizando menos matéria-prima, por exemplo, o dióxido de titânio utilizado em protetores solares, quando transformado em nanoescala, utiliza-se menos insumo, aumentando a proteção contra os raios UV (ABDI, 2018).

No entanto, apesar de rentável, a nanotecnologia ainda é uma inovação relativamente pouco utilizada pelas indústrias brasileiras. A Pesquisa de Inovação Tecnológica de 2014 (PINTEC 2014), realizada

¹⁷ Em 2010 estavam listadas algumas empresas que atuavam no desenvolvimento de produtos nanoestruturados, como Embrapa, Bunge, Faber Castell, Nanox, Nanocore, Braskem, entre outras.



pelo IBGE, observou que, na época, apenas 1,8% das empresas inovadoras brasileiras usavam nanotecnologia (IBGE, 2016).

Na primeira década do século XXI, o Brasil investiu R\$70 milhões na área de nanotecnologia entre 2000 e 2007, e entre 2007 e 2010 mais R\$70 milhões, enquanto apenas no período de 2001 a 2006, os EUA aplicaram US\$5,461 bilhões (Dalcomuni, 2006).

Para incentivar a capilarização da nanotecnologia no Brasil, a ABDI e a Confederação Nacional da Indústria (CNI) iniciaram um projeto piloto em 2017, realizando rodadas tecnológicas setoriais e eventos de sensibilização com a realização de seminários em todo o país. O objetivo foi conhecer as necessidades da indústria, que poderiam ser resolvidas com nanotecnologia, e identificar quais as oportunidades de mercado envolvendo a tecnologia (ABDI, 2018).

1.7 Nanotecnologia e a propriedade industrial (PI)

Um indicador da atratividade da inovação técnico-científica pode ser representado pelos investimentos governamentais e privados em “Pesquisa e Desenvolvimento” (P&D), faturamento ou expectativa de faturamento pelo mercado, número de patentes concedidas e/ou pelo número de publicações científicas.

Segundo informações disponibilizadas pela OCDE, em 2022, os países com maior quantidade de patentes relativas à nanotecnologia no mundo são os EUA, o Japão e a Coreia do Sul.

Considerando os depósitos dos pedidos de patentes como uma forma de avaliar o desenvolvimento tecnológico de um país, o estudo feito por Amaral (2016), mostrou uma baixa expressividade dos depósitos de residentes no campo da nanotecnologia no Brasil, onde as universidades brasileiras foram responsáveis pela maior parte destes depósitos (aproximadamente 46%) no período estudado (2004-2013). O bom desempenho das universidades brasileiras nos elos de nanoinsumos, nanointermediários e nanoprodutos indica um domínio tecnológico amplo, não restrito a pesquisa básica, ao englobar também as aplicações da nanotecnologia para solução de problemas concretos.



Nanotecnologia

O INPI publicou, em 2017, três estudos de mapeamento tecnológicos através de pedidos de patente, que versam sobre nanotecnologias com distintas aplicações: os radares tecnológicos nº 13 sobre nanotecnologia aplicada a equipamentos e suprimentos médicos, hospitalares e odontológicos (EMHO) (Villa Verde *et al.*, 2017a); nº 14, voltado aos nanocosméticos (Villa Verde *et al.*, 2017b); e nº 15, focado nos nanofármacos (Villa Verde *et al.*, 2017c). Os três radares levantaram pedidos de patente depositados no mundo no período de 2008 a 2015. O radar nº 13 concluiu que os pedidos depositados no Brasil sobre nanotecnologias voltadas à indústria EMHO (subdividida neste estudo em equipamentos médicos, odontologia e órteses e próteses) representavam menos de 5% da amostra mundial encontrada no período estudado. Ao analisar os principais depositantes mundiais de pedidos sobre estas tecnologias, verificou-se que as universidades tinham importante participação no setor de EMHO. Já o radar nº 14 concluiu que dentre os pedidos de patente relativos a nanocosméticos que foram depositados no mundo, no período estudado, pouco mais de 10% do total havia sido depositado no Brasil. Por outro lado, o radar sobre nanofármacos concluiu que mais de 25% da amostra analisada refere-se a agentes antineoplásicos. Durante a análise dos nanofármacos quanto à sua forma física, observou-se que os nanofármacos podem estar preferencialmente na forma de partículas, cápsulas, emulsões ou dispersões. No período estudado, as principais origens das tecnologias relacionadas aos nanofármacos foram os EUA, a Suíça, a Coreia do Sul, o Canadá e o Japão.



2 Objetivos do estudo

Este radar tecnológico tem como objetivo identificar os pedidos de patente depositados no Brasil, que descrevem invenções relacionadas a nanotecnologia, apresentando um panorama atualizado e ampliado, envolvendo qualquer setor tecnológico, dos depósitos realizados no país. São, portanto, apresentadas distribuição anual dos pedidos de acordo com o ano de depósito, os principais depositantes no país, identificando os países e regiões de origem das tecnologias depositadas no Brasil, além de categorizar os principais tipos de tecnologias presentes nesses documentos, tanto quanto ao tipo de nanomaterial envolvido, como em relação ao campo de aplicação da tecnologia descrita. O estudo apresenta adicionalmente a situação legal dos pedidos de patente no INPI, permitindo identificar aqueles que ainda estão pendentes de análise no instituto, assim como as patentes vigentes e extintas no Brasil.

Os resultados são divididos entre os pedidos “totais” depositados no INPI relacionados a nanotecnologia (item 3.1), e um recorte dos pedidos depositados por residentes¹⁸ (item 3.2).

Os resultados obtidos são apresentados graficamente neste relatório, indicando o cenário de patenteamento no Brasil em relação a nanotecnologia, bem como através de um *dashboard* interativo, onde é possível selecionar diferentes parâmetros e baixar os dados bibliográficos dos pedidos de patente no campo de interesse.

¹⁸ Entende-se por depositante “residente” uma pessoa ou entidade que deposita um pedido de patente em um país específico e atende aos requisitos de residência estabelecidos pelas leis desse país.



3 Resultados

Os resultados apresentados a seguir apresentam uma análise dos pedidos de patente envolvendo nanotecnologia, depositados no Brasil a partir do ano 2000, visando mostrar o interesse por estas tecnologias, no mercado brasileiro. Em seguida, foi realizado um recorte onde são analisados pedidos depositados por residentes no Brasil, com o objetivo de mostrar o desenvolvimento tecnológico deste setor no país e as principais instituições que têm realizado pesquisa e desenvolvimento nesta área.

Assim, utilizando a metodologia descrita no Apêndice, foram identificados na base de dados da Derwent Innovation® um total de 12.054 documentos de patentes depositados no Brasil a partir do ano 2000 relacionados a nanotecnologia.

3.1 Panorama do conjunto total de pedidos de patente depositados do Brasil envolvendo Nanotecnologia

3.1.1 Distribuição anual dos pedidos de patente depositados do Brasil envolvendo Nanotecnologia

A Figura 2 apresenta a distribuição anual dos pedidos relacionados a nanotecnologia depositados no Brasil entre 2000 e 2020¹⁹. Observa-se uma tendência de crescimento no número total de depósitos em nanotecnologia até 2010, e relativa estabilidade na quantidade total de pedidos relacionados a nanotecnologia depositados no país a partir deste ano, com uma pequena queda em 2015, voltando a subir em 2016. Por outro lado, quando observados os números de pedidos de residentes (barra escura) o número de depósitos de pedidos de patente na área vem crescendo a cada ano, tendo este número triplicado em 2020 em relação ao número de depósitos feitos 10 anos antes.

¹⁹ Os anos de depósito de 2021 e 2022 não estão representados no gráfico em função do período de sigilo (18 meses desde a data de depósito do pedido de patente até a 1ª publicação) previsto na legislação, de forma que os números deste período não podem ser considerados como dado consolidado.

Cabe ressaltar que, foram considerados pedidos de “residentes” aqueles em que pelo menos um dos depositantes é brasileiro.

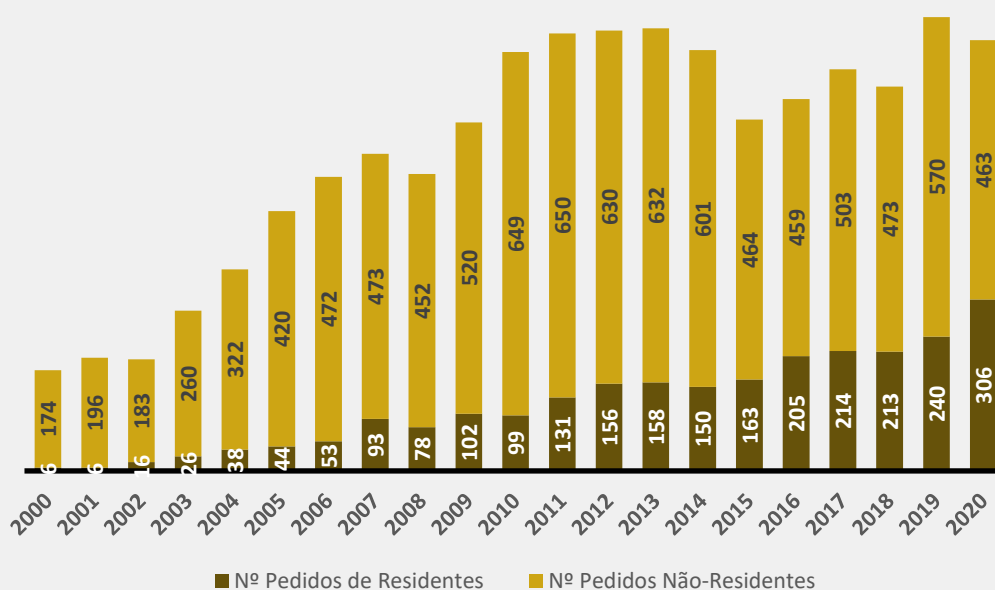


FIGURA 2. DISTRIBUIÇÃO DOS PEDIDOS DE PATENTES RELACIONADOS À NANOTECNOLOGIA DEPOSITADOS NO BRASIL NOS ÚLTIMOS 20 ANOS POR RESIDENTES (BARRAS ESCURAS) E NÃO-RESIDENTES (BARRAS CLARAS).

3.1.2 Origem dos pedidos relacionados à nanotecnologia depositados no Brasil

O país de residência dos depositantes permite avaliar a origem das tecnologias que estão sendo depositadas no Brasil. Desta forma, verifica-se que as tecnologias que estão pleiteando proteção por patentes, na área de nanotecnologia no Brasil, são desenvolvidas principalmente por não residentes, representando 79,1% do total de pedidos encontrados (Figura 3).

O *ranking* dos países de origem dos depositantes é liderado pelos Estados Unidos com 36,2% do total de pedidos. Em segundo lugar, está o Brasil com 20,9% dos pedidos depositados no INPI. Outro país de destaque é a Alemanha, cujos depositantes figuram em 8,1% dos

pedidos de patente. Juntos, esses três principais locais de origem dos depositantes reúnem aproximadamente 65% dos pedidos relacionados à nanotecnologia depositados no Brasil. A Figura 3 mostra a distribuição dos pedidos depositados no Brasil em relação ao país de origem do depositante.

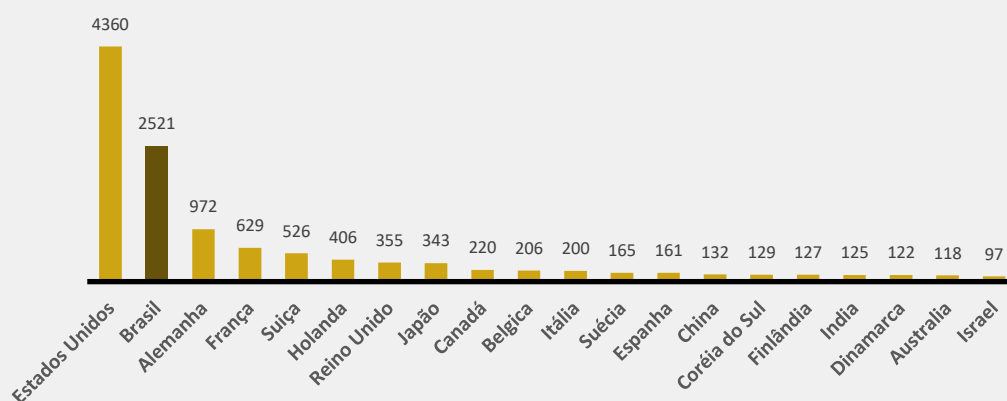


FIGURA 3. PRINCIPAIS PAÍSES DE ORIGEM DOS DEPOSITANTES DOS PEDIDOS DE PATENTES RELACIONADOS À NANOTECNOLOGIA DEPOSITADOS NO BRASIL NOS ÚLTIMOS 20 ANOS

3.1.3 Principais depositantes de pedidos de patentes relacionados à nanotecnologia depositados no Brasil

A Figura 4 mostra os depositantes no Brasil com mais de 50 pedidos envolvendo nanotecnologia depositados no período estudado. Observa-se nas 5 primeiras posições do *ranking* geral, há 3 universidades brasileiras: a Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), a Universidade de São Paulo (USP) e a Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Vale destacar, que, os dois maiores depositantes são residentes. Já as empresas estrangeiras com maior número de pedidos depositados no Brasil são a empresa química alemã Basf, e a 3M Innovate Properties Company (terceira e quarta posições no *ranking*, respectivamente).

Além disso, cabe observar que no grupo de depositantes apresentado neste gráfico, há 25 organizações não residentes no Brasil e 12 instituições brasileiras do setor público, incluindo 10 universidades.

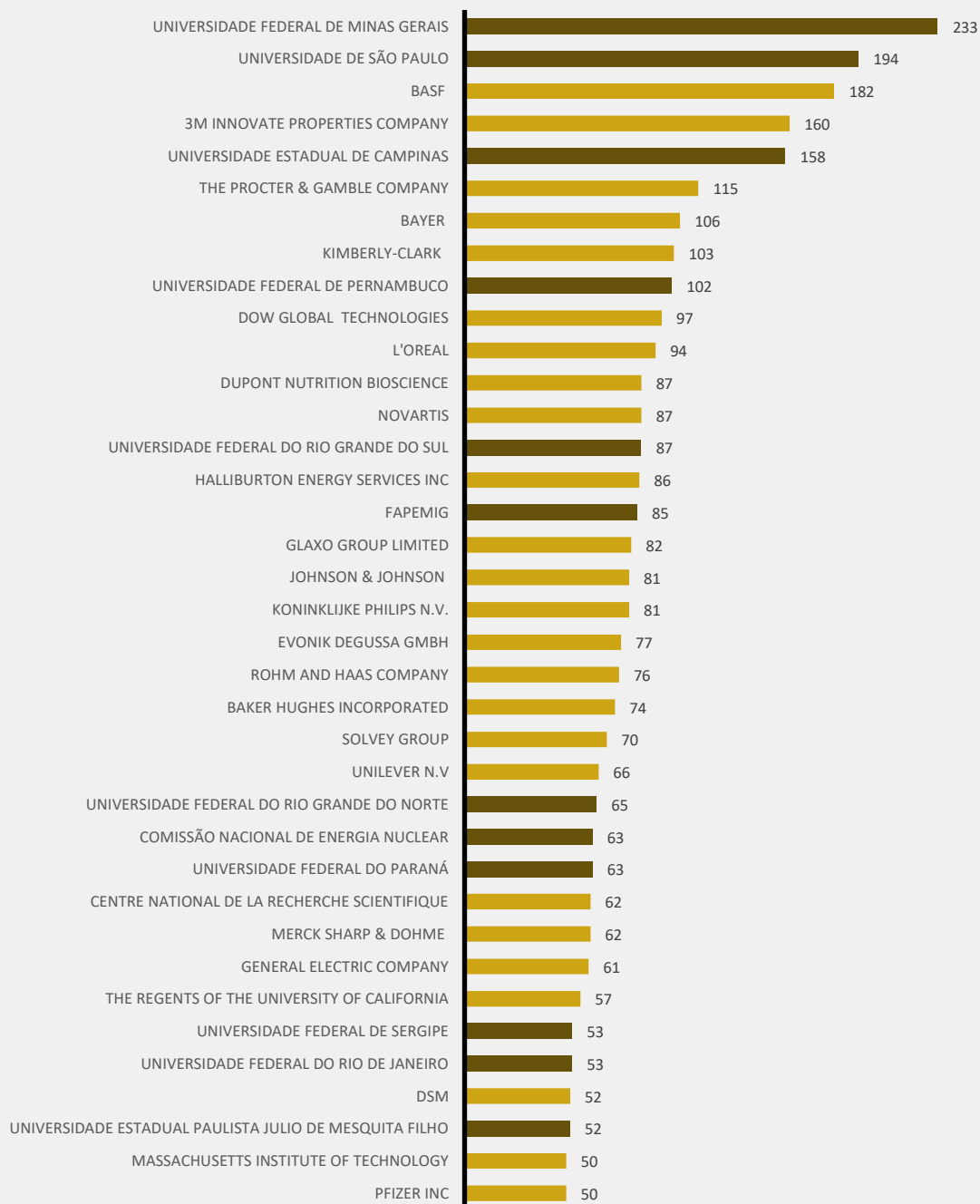


FIGURA 4. PRINCIPAIS DEPOSITANTES DE PEDIDOS DE PATENTE EM NANOTECNOLOGIA NO BRASIL NOS ÚLTIMOS 20 ANOS.



Vale destacar que, no caso de empresas depositantes que são conglomerados multinacionais (*holdings*), os pedidos de patente depositados pelas respectivas subsidiárias foram agrupados para a elaboração da Figura 4. No entanto, para fins de análise da origem da tecnologia (Figura 3), o país de depositante das subsidiárias foi considerado. Os pedidos com mais de um depositante foram contabilizados para cada um dos depositantes, de forma que o somatório dos pedidos por depositante pode ser maior que o número total de pedidos.

3.1.4 Categorização dos pedidos de patentes em nanotecnologia

3.1.4.1 Categorização de acordo com os campos de aplicação relacionados a estes pedidos

Os pedidos de patente depositados no Brasil foram categorizados em função da tecnologia descrita, a partir das classificações dos pedidos de patentes (IPC e CPC) associadas a cada documento, como descrito na metodologia (ver Apêndice e Tabela 3, abaixo).

Os documentos foram agrupados em 19 categorias, relativas aos diversos campos de aplicação da nanotecnologia, apresentadas conforme a Tabela 3, tendo sido possível, através destas classificações propostas, categorizar cerca de 87% da amostra (geral) e 80% dos pedidos de residentes de acordo com o campo de aplicação da tecnologia descrita nos pedidos de patente. Os pedidos que não puderam ser categorizados através das estratégias desenhadas (ver metodologia) não estão contabilizados na Tabela 3, ainda que possam estar relacionados às categorias criadas, tendo em vista que seria necessária a leitura dos mesmos para viabilizar a identificação da categoria.

A categoria “ciências médicas”, por ser muito abrangente, correspondendo a 47,9% da amostra geral e 43,5% dos pedidos de residentes, foi subdividida em 10 subcategorias, que melhor especificam o campo de aplicação. Foi observado também que esta categoria representa 50% dos planos de inovação relacionados à nanotecnologia do Catalisa ICT (Tabela 3).

Cabe ressaltar que um mesmo pedido pode ter diversas classificações, e, conseqüentemente, pode ter sido categorizado em mais de um campo de aplicação, de modo que o somatório dos pedidos nas diferentes categorias não representa necessariamente o somatório dos pedidos.

TABELA 3. DISTRIBUIÇÃO DOS PEDIDOS DE PATENTES EM NANOTECNOLOGIA (GERAL E RESIDENTES) EM RELAÇÃO AOS CAMPOS DE APLICAÇÃO E NÚMEROS DE PLANOS DE INOVAÇÃO DO CATALISA ICT RELACIONADOS AOS MESMOS CAMPOS.

CATEGORIA	CLASSIFICAÇÃO IPC/CPC	Nº PEDIDOS GERAL	Nº PEDIDOS RESIDENTES	Nº PLANOS DE INOVAÇÃO CATALISA ICT
Ciências Médicas	A61* (exceto A61K8 ou A61Q), B82Y5*, G01N33/15*, G01N33/48*, G01N33/49*, G01N33/5*, G01N33/6*, G01N33/7*, G01N33/8*, G01N33/9*	5.776	1.096	22
<i>Ciência médica: equipamentos, métodos e preparações para diagnóstico ou cirurgia</i>	A61B, A61C, A61J0015, A61K0049, A6L2123, G01N33/48*, G01N33/49*, G01N33/5*, G01N33/6*, G01N33/7*, G01N33/8*, G01N33/9*	984	137	
<i>Ciência médica: implantes, próteses, ataduras</i>	A61F*	238	17	
<i>Preparações medicinais contendo derivados de mamíferos ou microrganismos</i>	A61K35* (exceto A61K35/02 – A61K35/10), A61K2035*	236	31	
<i>Preparações medicinais contendo algas, líquens, fungos ou plantas</i>	A61K36*, A61K2236*	229	145	
<i>Preparações medicinais contendo peptídeos</i>	A61K38*	823	83	
<i>Preparações medicinais contendo antígenos ou anticorpos</i>	A61K39*, A61K2039*	930	32	
<i>Preparações medicinais caracterizadas pelos ingredientes não ativos usados</i>	A61K47*	1.980	300	



CATEGORIA	CLASSIFICAÇÃO IPC/CPC	Nº PEDIDOS GERAL	Nº PEDIDOS RESIDENTES	Nº PLANOS DE INOVAÇÃO CATALISA ICT
<i>Preparações medicinais contendo material genético; gene terapia</i>	A61K48*	280	10	
<i>Preparações medicinais contendo ingredientes ativos inorgânicos</i>	A61K33*	291	82	
<i>Preparações contendo substâncias radioativas para terapia ou diagnóstico in vivo</i>	A61K51*	116	5	
Cosméticos e higiene	A61K8*, A61Q*, A61K2800*	878	177	4
Agricultura, Pecuária e veterinária	A01*, C05*, A61D*, Y02A40*	607	133	11
Indústria de alimentos	A21*, A22*, A23*, C12C*, C12F*, C12G*, C12H*, C12J*, C13*, G01N33/02*, G01N33/03, G01N33/04, G01N33/06, G01N33/08*, G01N33/10, G01N33/12, G01N33/14*	425	56	7
Têxteis e Papel; Vestuário, chapéus, calçados	D*, A41*, A42*, A43*, B31*, G01N33/34 G01N33/6	689	114	1
Metalurgia	C21*, C22*, C23*, C25*, C30*, B22*	729	140	
Semicondutores	H01L*	409	40	8
Processos eletroquímicos de produção de energia	H01M*	312	53	
Biotecnologia	C07K*, C12M*, C12N*, C12P*, C12Q*, B82Y5*	2.594	296	7
Corantes, tintas, polidores e resinas naturais	C09B*, C09C*, C09D*, C09F*, C09G*	860	82	
Petróleo/ gás e perfuração	C10*, E21B*, C09k8*, C09k2208*	461	51	
Química macromolecular e polímeros	C08B*, C08C*, C08F*, C08G*, C08H*, C08L*	1.840	302	
Tecnologia para adaptações às mudanças climáticas	Y02*	1.310	206	18
Química Orgânica Fina	C07B*, C07C*, C07D*, C07F*, C07H*, C07J*	902	127	
Optica	B82Y20*, G01B9*, G01N21*, G02*, G03B*, G03C*, G03D*, G03F*, G03G*, G03H*, H01S*	550	70	

CATEGORIA	CLASSIFICAÇÃO IPC/CPC	Nº PEDIDOS GERAL	Nº PEDIDOS RESIDENTES	Nº PLANOS DE INOVAÇÃO CATALISA ICT
Processos de separação - filtros e membranas	B01D24*, B01D25*, B01D27*, B01D29*, B01D33*, B01D35*, B01D36*, B01D37*, B01D39*, B01D41*, B01D46*, B01D61*, B01D63*, B01D65*, B01D67*, B01D69*, B01D71*, B01D2101*, B01D2201*, B01D2239*, B01D2267*, B01D2271 até 79, B01D2311 até 2325	275	43	
Embalagens e recipientes	B65D*, A61J000103*, A61J000105*, A61J000106*, A61J000110*, A61J0009*, A01F25/14, A23B7/0056, A23B7/012, A61B50/3*, A61B2050/3*, B65B9*, B65B25*, B65B29*, B65B31*, B65B33*, B65B55*	153	25	7
Medição/monitoramento	G01*, G05*	1.052	204	16
Métodos e aparelhos de esterilização, desinfecção e desodorização	A61L*	543	112	

Dentro da categoria de “ciências médicas”, as subcategorias de “Preparações medicinais caracterizadas pelos ingredientes não ativos usados” e “equipamentos, métodos e preparações para diagnóstico ou cirurgia” são as que apresentam maior número de documentos identificados, com 16,4% e 8,2% da amostra total. Não foi possível identificar as subcategorias de “ciências médicas” através das descrições dos planos de inovação do “catalisa ICT”.

A segunda categoria com maior quantitativo de pedidos de patente relacionados a nanotecnologia depositados no Brasil é a “Biotecnologia” com 21,5% dos pedidos gerais, sendo 11,7% dos pedidos de residentes. Por outro lado, uma das categorias de aplicação da nanotecnologia com menos pedidos encontrados (1,3%) no estudo é “Embalagens e recipientes”, no entanto observa-se que 7 planos de



inovação do “Catalisa ICT” relacionados à nanotecnologia (16%) foram enquadrados nesta categoria.

A categoria “Tecnologia para adaptações às mudanças climáticas” mostrou-se também relevante tanto em relação ao total de pedidos (11%), como dos pedidos de residentes (8,2%), e mais relevante ainda em relação aos projetos do Catalisa ICT relacionados à nanotecnologia, onde cerca de 41% foram enquadrados nesta categoria. A categoria de “Medição e monitoramento” apresentou perfil parecido, com 8,7% dos pedidos gerais, 8,1% dos pedidos de residentes e 36,4% dos projetos do Catalisa ICT.

3.1.4.2 Categorização dos pedidos de patentes relacionados à nanotecnologia de acordo com o tipo de nanomaterial descrito nos pedidos

Uma outra forma de categorização dos pedidos foi realizada, levando em consideração o tipo de nanomaterial descrito da invenção. Os pedidos foram separados em 6 categorias com base em classificações de patentes (IPC, CPC e *manual-codes*) e/ ou palavras-chave, conforme apresentado na metodologia (Apêndice, item 6.2.2 e Tabela 8).

Utilizando a estratégia descrita na metodologia para esta etapa do estudo (Tabela 8) foi possível categorizar de forma automática 80% da amostra. A Figura 5 apresenta a distribuição dos pedidos de patente de acordo com o tipo de nanomaterial envolvido. Os nanomateriais orgânicos aparecem como o grupo com maior quantidade de pedidos identificados, representando cerca de 39% da amostra, seguidos pelos pedidos referentes a nanocompositos (19%), nanomateriais metálicos (16%), os nanomateriais baseados em carbono (14%), os nanobiomateriais (13%) e os nanomateriais cerâmicos (8%).

Os pedidos podem estar contidos em mais de uma das categorias sugeridas, caso façam referência a mais de um tipo de nanomaterial, a não ser no caso dos nanocompósitos, uma vez que, sempre que o pedido foi categorizado como nanocompósito ele foi automaticamente excluído dos demais grupos.

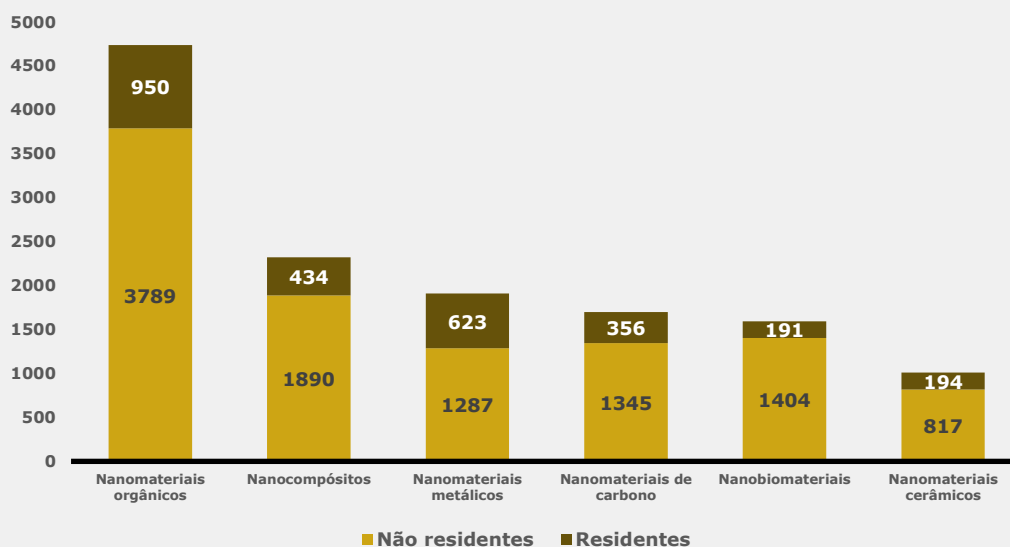


FIGURA 5. DISTRIBUIÇÃO DOS PEDIDOS DE PATENTE ENVOLVENDO NANOTECNOLOGIA DE ACORDO COM O TIPO DE NANOMATERIAL DESCRITO NA INVENÇÃO. AS BARRAS CLARAS IDENTIFICAM O NÚMERO DE PEDIDOS DE DEPOSITANTES NÃO RESIDENTES E AS BARRAS ESCURAS OS PEDIDOS DE RESIDENTES. O EIXO Y IDENTIFICA O NÚMERO DE PEDIDOS TOTAIS NA CATEGORIA

3.1.4.3 Perfil de correlação entre as categorias de aplicação da nanotecnologia nos pedidos e as categorias relativas aos tipos de nanomateriais descritos nos mesmos

A matriz apresentada na Tabela 4 correlaciona as categorias relacionadas aos campos de aplicação da nanotecnologia descritos nos pedidos de patente com as categorias relacionadas ao tipo de nanomaterial descrito ou utilizado na invenção. A intensidade de cor nas células da tabela está correlacionada à quantidade de documentos identificados na amostra, onde se observa que os nanomateriais orgânicos com aplicação em preparações medicinais caracterizadas pelos ingredientes não ativos utilizados e em biotecnologia, são os que possuem maior quantitativo de pedidos de patente depositados do Brasil (1.384 e 1.344 pedidos, respectivamente).

TABELA 4. MATRIZ DE CORRELAÇÃO ENTRE OS CAMPOS DE APLICAÇÃO E OS TIPOS DE NANOMATERIAIS DESCRITOS NOS PEDIDOS DE PATENTES EM NANOTECNOLOGIA DEPOSITADOS NO BRASIL

	Total de pedidos	4725	2315	1900	1695	1589	1005
Total de pedidos	CATEGORIAS	Nanomateriais orgânicos	Nanocompósitos	Nanomateriais metálicos	Nanomateriais baseados em carbono	Nanobiomateriais	Nanomateriais cerâmicos
2594	Biotecnologia	1344	169	338	108	1189	93
1980	Preparações medicinais caracterizadas pelos ingredientes não ativos usados	1383	52	155	40	664	53
1840	Química macromolecular e polímeros	805	610	178	321	147	206
1310	Tecnologias para adaptações às mudanças climáticas	398	317	242	375	122	117
1052	Medição e monitoramento	242	120	256	147	216	53
984	Equipamentos médicos e preparações para Diagnóstico; cirurgia	284	110	251	80	282	58
930	Preparações medicinais contendo antígenos ou anticorpos	613	9	76	12	355	14
902	Química orgânica fina	503	71	96	81	139	31
878	Cosméticos e Higiene	422	80	86	34	165	46
860	Corantes, tintas, polidores e resinas naturais	223	422	154	158	42	180
823	Preparações medicinais contendo peptídeos	508	14	59	11	259	19
729	Metalurgia	95	294	260	175	31	128
689	Têxteis e papel; vestuário, calçados	276	232	99	113	22	70
607	Agricultura e Pecuária	299	79	112	38	87	28
550	Optica, fotografia e cinematografia	102	116	104	67	26	51
543	Métodos e aparelhos para esterilização, desinfecção ou desodorização	226	106	97	45	46	51
461	Petróleo e gás	99	112	105	150	5	83
425	Indústria de alimentos	277	29	23	10	47	15
409	Semicondutores	40	100	91	136	5	41
312	Processos eletroquímicos de produção de energia	37	125	56	163	4	23
291	Preparações medicinais contendo ingredientes ativos inorgânicos	120	36	107	13	89	19
280	Preparações medicinais contendo material genético; geneterapia	203	4	25	5	115	7
275	Filtros e membranas; processos de separação	77	105	38	39	8	22
238	Implantes, próteses e ataduras	100	32	33	22	16	15
236	Preparações medicinais contendo materiais derivados de mamíferos ou microrganismos	129	3	25	7	77	11
229	Preparações medicinais contendo materiais de constituição indeterminadas derivados de algas, líquens, fungos ou plantas, ou derivados dos mesmos	159	4	21	1	21	4
153	Embalagens	56	35	14	11	1	15
116	Preparações contendo substancias radioativas para terapia ou diagnostico in vivo	48	6	29	10	60	11

3.1.5 Situação legal dos pedidos de nanotecnologia depositados no Brasil

Observa-se, na Figura 6, que cerca de 18% do total de documentos encontrados neste estudo são **patentes vigentes**, enquanto cerca de 30% dos pedidos são considerados pedidos **pendentes**²⁰, pois estão aguardando decisão final do INPI. Apesar de quase metade destes documentos de patente (48,5%) serem considerados **não válidos**²¹ por diferentes motivos, isso não significa que as nanotecnologias descritas nestes documentos estão necessariamente livres. Afinal, se o pedido foi indeferido por já existir uma patente vigente, que protege uma tecnologia semelhante, esta não está livre. Por fim, uma pequena parte (3,2%) do total se refere a patentes relacionadas à nanotecnologia consideradas livres no Brasil, porque, nestes casos, são patentes **extintas**²².

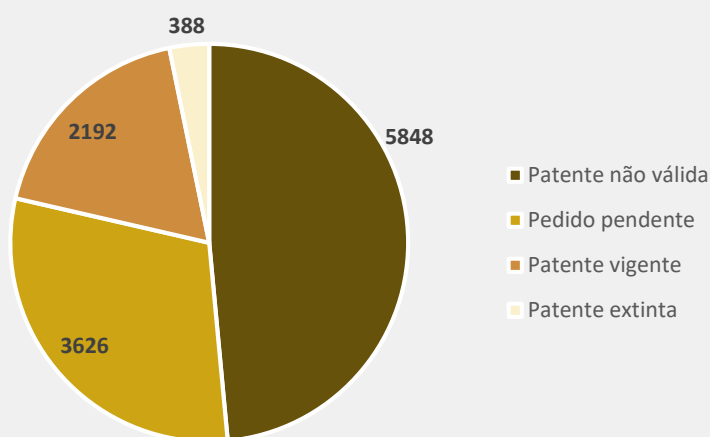


FIGURA 6. SITUAÇÃO LEGAL (SETEMBRO DE 2022) DOS PEDIDOS DE PATENTE RELACIONADOS A NANOTECNOLOGIA DEPOSITADOS NO BRASIL

²⁰ Os pedidos podem estar pendentes por alguns motivos, tais como: está aguardando a solicitação de exame técnico ou porque se encontra em exame técnico, ou ainda, pode estar em fase de recurso contra o indeferimento do pedido.

²¹ Os motivos de os pedidos não estarem válidos(as) incluem as seguintes possibilidades: o pedido de patente foi indeferido após o exame ou foi arquivado definitivamente (por não cumprir exigência ou por falta de pagamento de alguma taxa, por exemplo) ou houve desistência do pedido por parte do requerente.

²² A patente é considerada extinta quando, após a concessão, o requerente não paga a taxa (mesmo no prazo extraordinário) prevista por lei (anuidade), ou ainda, quando expira o prazo de vigência da patente (20 anos para uma PI e 15 anos para um MU).



No caso dos *pedidos pendentes*, há apenas uma expectativa de direito, sendo necessário acompanhar o andamento destes processos no INPI (Brasil). É importante destacar que o levantamento da situação legal destes pedidos foi realizado em março de 2023. Portanto, como o *status* legal de alguns pedidos pode mudar com o tempo, recomenda-se consultar a base de patentes do INPI, quando for necessário tomar alguma decisão.

3.2 Análise do perfil dos depositantes residentes e das tecnologias desenvolvidas e depositadas por este grupo no Brasil

Foi realizado um recorte da amostra para analisar o perfil dos depósitos no Brasil, de pedidos de patente de residentes, no setor estudado. Foram identificados 2.521 pedidos de patentes envolvendo nanotecnologia, depositados no INPI por residentes no Brasil (20,9% do total), entre os anos 2000-2022. Assim, procurou-se analisar algumas características destes pedidos como os principais depositantes residentes e a natureza destes, o porte dos depositantes empresariais, a origem destes residentes (os estados brasileiros onde a tecnologia está sendo desenvolvida) e o gênero dos inventores residentes.

3.2.1 Análise da natureza jurídica dos depositantes residentes

Os depositantes residentes identificados no estudo foram divididos entre pessoas jurídicas dos setores público e privado, além de pessoas físicas. Figura 7 mostra a quantidade de pedidos de cada grupo. Observa-se que a maior parte dos depositantes residentes (85%) é constituída por “pessoas jurídicas”, principalmente da “administração pública” (ver Figura 8).

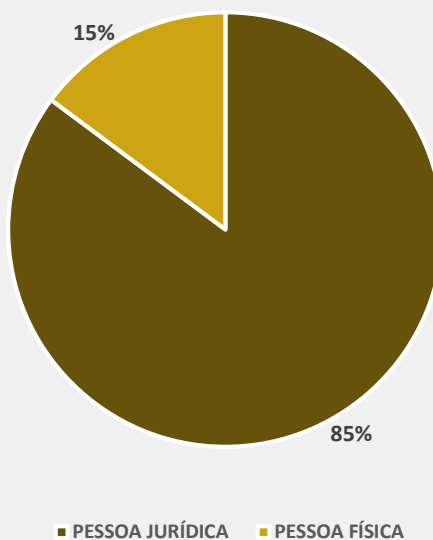


FIGURA 7. DISTRIBUIÇÃO DOS DEPOSITANTES RESIDENTES, NO CAMPO DA NANOTECNOLOGIA, DE ACORDO COM A NATUREZA JURÍDICA DOS MESMOS

A Figura 8 apresenta o número de pedidos de acordo com o tipo de pessoa jurídica dos depositantes residentes. A maior parte dos pedidos de residentes tem como depositante identificados como “administração pública”, onde verificou-se que cerca de 65% dos 2.521 pedidos depositados por residentes no INPI relacionados à nanotecnologia entre 2000 e 2022 tem como titulares “*instituições públicas voltadas ao ensino e à pesquisa*” (dados não mostrados). O setor educacional e de pesquisa inclui as universidades, faculdades, centros de educação, fundações, institutos de pesquisa ou agência de fomento e desenvolvimento científico e tecnológico, sendo que a maioria destas instituições são vinculadas ao setor público no âmbito federal. Os pedidos cujos depositantes residentes são entidades empresariais correspondem a cerca de 22% e as entidades sem fins lucrativos figuram entre os depositantes de cerca de 6% dos pedidos de residentes. Cabe lembrar que um mesmo pedido pode ter co-titularidade de diferentes tipos de pessoa jurídica.

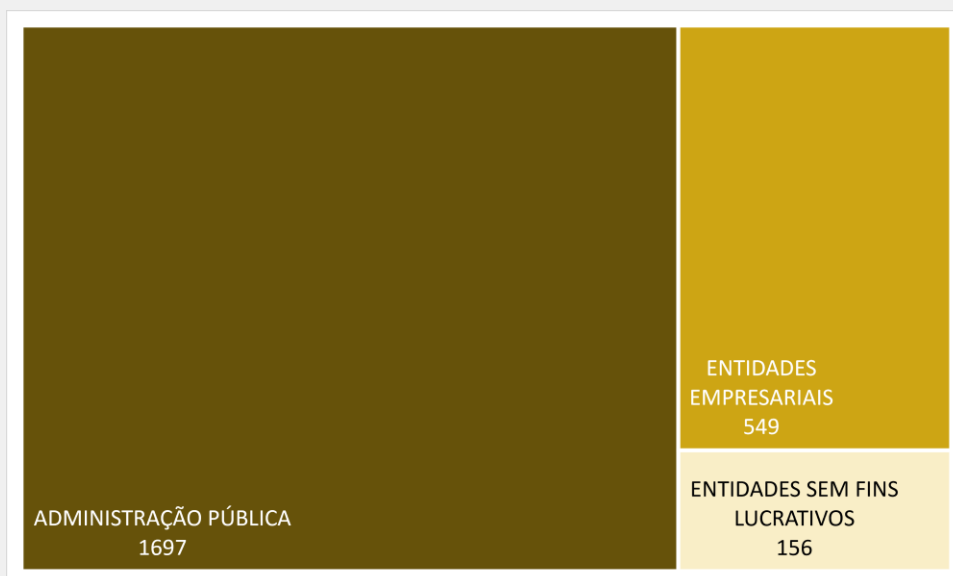


FIGURA 8. TIPOS DE PESSOA JURÍDICA DOS DEPOSITANTES RESIDENTES NO CAMPO DA NANOTECNOLOGIA

3.2.2 Principais depositantes residentes de pedidos de patentes relacionados à nanotecnologia e geolocalização dos depositantes

Os principais depositantes residentes identificados na amostra deste estudo estão apresentados na Figura 9. É possível observar que, dentre os depositantes residentes, as universidades públicas são as que mais depositam pedidos de patentes envolvendo nanotecnologia no Brasil: a Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) encontra-se em primeiro lugar com 9,3% dos pedidos de residentes; em segundo lugar está a Universidade de São Paulo (USP) com 7,7%; observa-se na terceira e quarta posições respectivamente, a Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) com 6,3%, e a Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) com 4 %. Com mais de 100 pedidos depositados no Brasil cada, as quatro principais depositantes juntas reúnem, desta forma, quase 26,8% dos pedidos de residentes (677 pedidos de patentes relacionados a nanotecnologia depositados a partir do ano 2000).

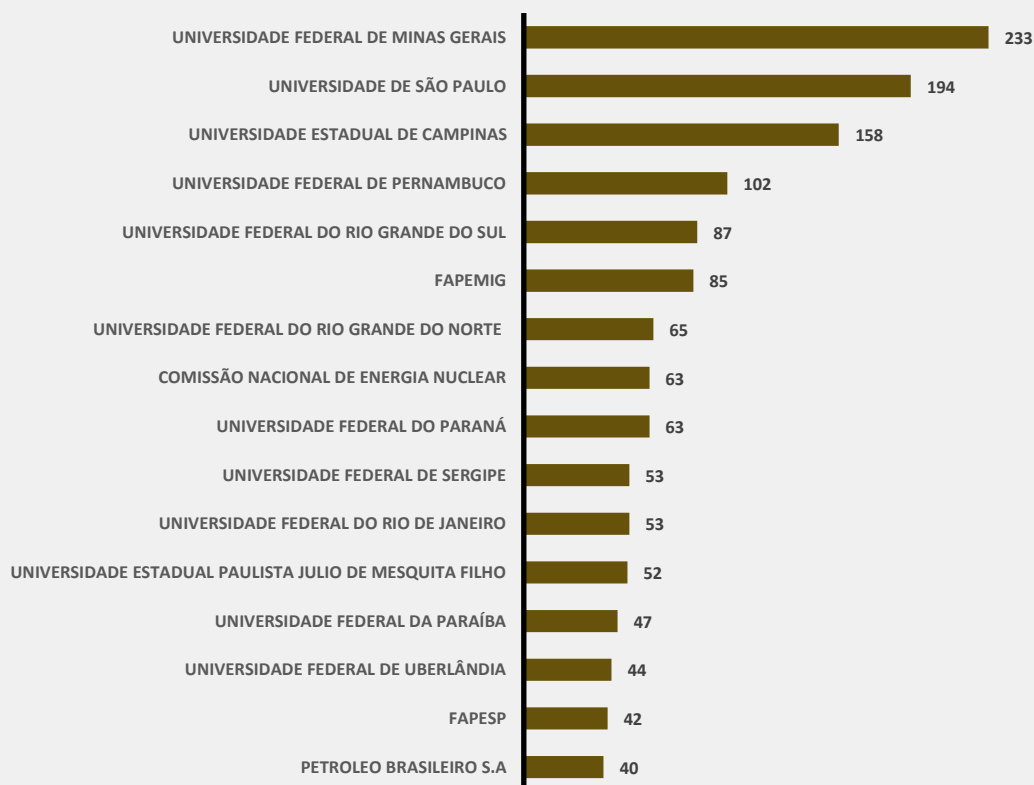
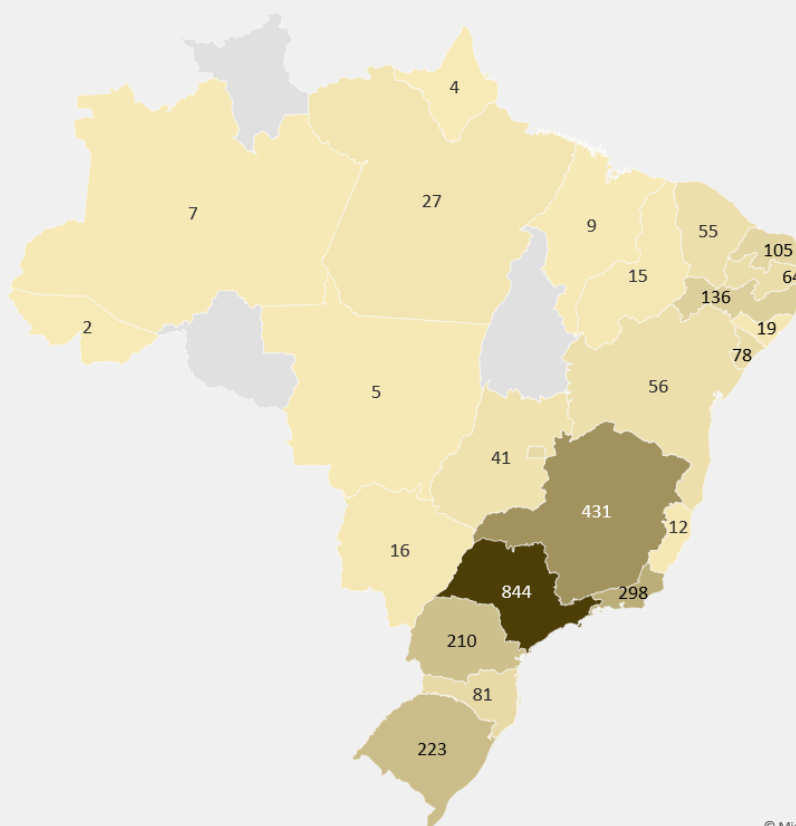


FIGURA 9. PRINCIPAIS DEPOSITANTES RESIDENTES NA ÁREA DE NANOTECNOLOGIA

Cabe ressaltar que um pedido de patente pode apresentar mais de um depositante. Desta forma, podem ser encontrados na amostra pedidos depositados por empresas parceiras; parcerias universidade-empresa; parcerias entre universidades; pedidos depositados por empresa privada junto com instituição de ensino e pesquisa; ou ainda, casos de pedidos depositados por uma universidade e outra instituição de pesquisa ou desta com sua fomentadora governamental. São encontrados também pedidos de patentes de residentes em cotitularidade com não residentes.

A origem dos depositantes residentes permite compreender melhor o cenário nacional, ao saber quais estados brasileiros têm maior representatividade no depósito de pedidos de patentes relacionados à nanotecnologia, foco deste estudo. Neste sentido, na Figura 10, é

possível verificar que a região sudeste concentra os depositantes residentes na área de nanotecnologia, representando cerca de 63% dos depositantes residentes, onde São Paulo é o estado brasileiro com maior número de pedidos (33,5% do total), seguido por Minas Gerais (17,1%) e Rio de Janeiro (11,8%). A região sul também é bem representada em relação aos depósitos de pedidos de patente envolvendo nanotecnologia, com o Rio Grande do Sul em 4º lugar (8,85%) e em 5º lugar, o Paraná (8,3%).



Da plataforma Bing
© Microsoft, OpenStreetMap

FIGURA 10. NÚMERO DE PEDIDOS DE PATENTES EM NANOTECNOLOGIA DE ACORDO COM O ESTADO DA FEDERAÇÃO DO DEPOSITANTE RESIDENTE

3.2.3 Identificação das principais Empresas residentes com pedidos relacionados à nanotecnologia

Foram identificados 547 pedidos de patente onde pelo menos um dos depositantes é uma entidade empresarial residente (Figura 8). Neste recorte, a Figura 11 apresenta as principais entidades empresariais residentes no setor estudado, onde observa-se que a Petrobrás (Petróleo Brasileiro S.A.) é a empresa residente no Brasil com mais pedidos de patente envolvendo nanotecnologias (7,3% dos pedidos de residentes). Na segunda posição, encontra-se o Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo S.A. (6,7% dos pedidos de residentes). Empatadas em terceiro lugar, estão a Embrapa e o Instituto de Tecnologia e Pesquisa (ITP) com 5,1% dos pedidos de residentes cada. A empresa Braskem S.A. aparece em quarto lugar, seguida pela Vale S.A. na 5ª posição.



FIGURA 11. PRINCIPAIS DEPOSITANTES RESIDENTES QUANDO ANALISADAS AS ENTIDADES EMPRESARIAIS RESIDENTES

Com relação ao porte das entidades empresariais identificadas como depositantes residentes, 15,7% dos pedidos possuem como titular “microempresas” e 8% dos pedidos são de “empresas de pequeno porte” (ver Figura 12), o foco de atuação do SEBRAE. Logo, a maior parte dos pedidos deste grupo (85,7%) são de empresas de médio e grande porte, que depositam no INPI pedidos com nanotecnologia. Os dados relacionados ao porte das empresas foram obtidos na base de dados abertas da receita federal.

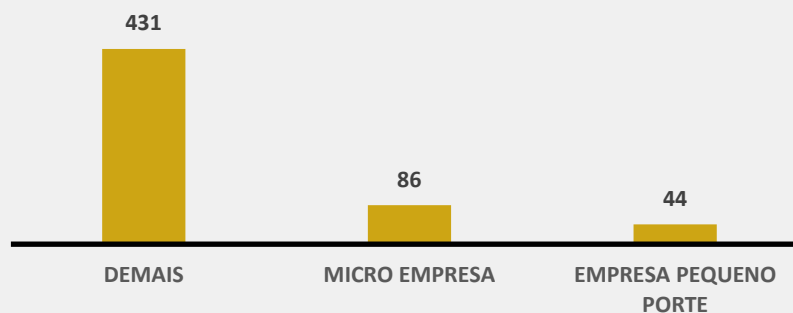


FIGURA 12. PORTE DAS ENTIDADES EMPRESARIAIS RESIDENTES NO BRASIL QUE DEPOSITARAM PEDIDOS DE PATENTE ENVOLVENDO NANOTECNOLOGIA. A CATEGORIA “DEMAIS” SE REFERE ÀS EMPRESAS DE MÉDIO E GRANDE PORTE.

A lista dos CNPJs das empresas residentes foi cruzada com a lista de CNPJs de *startups*²³, sendo identificadas desta forma 14 *startups* entre os depositantes residentes, com 16 pedidos de patente na área de nanotecnologia, depositados no INPI no período estudado. A Tabela 5 apresenta estes pedidos, indicando que estão relacionados à diferentes campos tecnológicos, sendo a maior parte dos pedidos de *startups* relacionada à nanotecnologia com aplicação em biotecnologia (43,8% dos pedidos de *startups* da amostra).

²³ Foi utilizada a mesma lista de CNPJs do Radar Tecnológico nº 23: “Panorama da Utilização do Sistema de Propriedade Industrial por Startups” (Mendes *et al.*, 2021).

TABELA 5. STARTUPS IDENTIFICADAS NA AMOSTRA, NÚMERO DE PEDIDOS DE PATENTE ENVOLVENDO NANOTECNOLOGIA, PRINCIPAIS CAMPOS DE APLICAÇÃO E NANOMATERIAIS UTILIZADOS

STARTUP	Nº PEDIDOS	TÍTULO DO PEDIDO	NANOMATERIAL
BIOCELLTIS BIOTECNOLOGIA S/A	BR102019007462 BR102019009242	Película de biocelulose para uso tópico e método de fabricação Matriz 3D de nanocelulose para cultura de células humanas e animais <i>in vitro</i>	Nanomateriais orgânicos
TNS NANOTECNOLOGIA LTDA	BR102020024433 BR102019024970	Aptasensor, método e kit qualitativo de detecção colorimétrica visual da presença de <i>Pseudomonas syringae</i> para superfícies e amostras vegetais baseado em nanopartículas de ouro e aptâmero Método e kit qualitativo de detecção colorimétrica de <i>Salmonella</i> para superfícies baseado em nanopartículas de ouro e aptâmeros e aptasensor que o compõe	Nanomateriais metálicos
ADAURY O. TAVARES AOT	BR102016018648	Processo de utilização de nano partículas como meio de potencialização do aquecimento de um fluido em dispositivo de aquecimento com utilização de luz solar concentrada	Nanomateriais de carbono; Nanomateriais metálicos
AKMEY BRASIL INDUSTRIA E COMERCIO DE PRODUTOS QUIMICOS S.A.	BR102020018327	Processo tintorial sobre fibras celulósicas com corantes, sem adição de eletrólitos (sulfato de sódio e/ou cloreto de sódio), em sistema de impregnação, com fixação em temperatura reduzida	Nanomateriais cerâmicos
BHIO SUPPLY INDUSTRIA E COMERCIO DE EQUIPAMENTOS MEDICOS S/A	BR102012012884	Compósito de fosfato de cálcio nanoestruturado e borracha de silicone, processo de produção de compósito de fosfato de cálcio nanoestruturado e borracha de silicone e uso de compósito de fosfato de cálcio nanoestruturado e borracha de silicone na produção de compostos para substituição de tecido orgânico	Nanocompósitos
BIOPOLIX MATERIAIS TECNOLOGICOS LTDA	BR102020003370	Composição para bioresina nanoestruturada termoplástica biodegradável, bioresina obtida e artigo	Nanomateriais cerâmicos; Nanomateriais metálicos; Nanomateriais orgânicos
CENTRO DE DESENVOLVIMENTO E SOLUCOES EM ENGENHARIA E NANOTECNOLOGIA LTDA	BR102020022934	Equipamento e processo de hidrofobização de superfícies porosas por deposição física a vapor	Nanomateriais de carbono; Nanomateriais metálicos
FITO FIT - SUPLEMENTOS E PRODUTOS NATURAIS LTDA	BR102020006212	Processo de obtenção de sensor de fluxo lateral para detecção de interleucinas e produto obtido	Nanobiomateriais; Nanomateriais metálicos
FUNDAÇÃO PARQUE TECNOLOGICO DA PARAIBA	BR102018073415	Método de redução e/ou eliminação de contaminação biológica em isoladores do setor elétrico através da aplicação de nanocomposto de dióxido de titânio TiO2	Nanocompósitos
INDUSTRIA DE CONFECÇÕES TECNOLOGICAS R & N LTDA	BR102018016859	Peças de vestuário com propriedades tecnológicas funcionais para absorção do fluxo menstrual e seu processo de fabricação	Nanomateriais metálicos



STARTUP	Nº PEDIDOS	TÍTULO DO PEDIDO	NANOMATERIAL
INSTITUTO NANOCELL	BR102016023411	Nanorods de ouro para entrega de ácidos nucleicos, processo de preparo e uso	Nanobiomateriais; Nanomateriais metálicos
LIMA SANTOS INDUSTRIA DE CONFECÇÕES EIRELI	BR102020025507	Equipamentos filtrantes acoplados em aparelhos de ar-condicionado	(*) <i>Retenção de nanopartículas</i>
SCIENCO BIOTECH LTDA	BR102020024787	Proteína quimérica detectora de imunoglobulinas tipo Y em imunoenaios	Nanobiomateriais
YMERSA SOLUCOES EM REALIDADE VIRTUAL E DESENVOLVIMENTO PROFISSIONAL LTDA	BR102020009362	Máscara facial filtrante recondicionável	(*) <i>Possibilidade de conter nanopartículas para eliminação de patógenos</i>

(*) estes pedidos não se referem especificamente ao uso de nanomateriais, mas mencionam a possibilidade de incluir nanomateriais com propriedades antiviral/antibacteriana ou de filtrar nanopartículas em geral.

3.2.4 Análise de gênero dos inventores brasileiros na área de Nanotecnologia

Algumas pesquisas mostram que há uma menor participação das mulheres em determinadas áreas das ciências devido a diversos motivos culturais ou problemas econômicos. Um exemplo é o estudo de Carvalho et al., (2020) que analisaram o *gap* de pedidos de patente efetuados por mulheres, em países ibero-americanos, a fim de medir as inequidades de gênero nos diferentes setores tecnológicos. Dito isto, esta análise visa realizar um diagnóstico em relação a participação das mulheres brasileiras como inventoras na área de nanotecnologia no Brasil. Este diagnóstico poderá auxiliar na elaboração de políticas públicas mais efetivas voltadas às mulheres, com o objetivo de criar estímulos e apoio governamental para que estas possam atuar com inovação no país.

Dentro da amostra de pedidos de patentes de depositantes residentes foram encontrados 6.457 nomes distintos de inventores. A análise do gênero destes inventores, a partir dos nomes, foi feita com o auxílio de uma ferramenta do IBGE²⁴, que mostra a probabilidade de um nome ser feminino ou masculino.

Foi constatado que, na amostra de residentes, 45% dos inventores na área de nanotecnologia são mulheres. O gráfico também

²⁴ Ferramenta utilizada em dados do CENSO 2010 do IBGE, segundo Justen (<https://brasil.io/dataset/genero-nomes/grupos/>).

mostra um grupo de 194 nomes que a ferramenta não conseguiu identificar se era um nome feminino ou masculino, pois, em geral, são nomes estrangeiros (não latinos), como, por exemplo, os nomes nos idiomas chinês, japonês ou árabe.

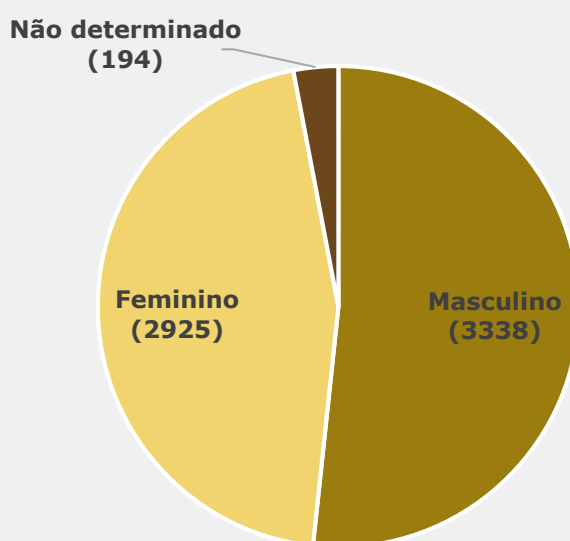


FIGURA 13. DISTRIBUIÇÃO DOS INVENTORES CONSTANTES DOS PEDIDOS DE PATENTE RELACIONADOS À NANOTECNOLOGIA DE ACORDO COM O GÊNERO

3.2.5 Perfil de correlação entre os nanomateriais utilizados em pedidos de patentes de residentes e os campos de aplicação dos pedidos

Por fim foi feita uma análise de correlação entre os pedidos de patentes de residentes, envolvendo os diferentes tipos de nanomateriais e os campos de aplicação de maior relevância para cada tipo de nanomaterial. A Tabela 6 apresenta as 5 categorias de aplicação com maior número de pedidos (coluna B) para cada uma das seis categorias de nanomateriais (coluna A). A tabela apresenta ainda os cinco principais depositantes residentes com pedidos envolvendo cada um dos nanomateriais (coluna C).

TABELA 6. ANÁLISE DE CORRELAÇÃO DOS NANOMATERIAIS ENVOLVIDOS NOS PEDIDOS DE PATENTE DE RESIDENTES COM OS PRINCIPAIS CAMPOS DE APLICAÇÃO E PRINCIPAIS DEPOSITANTES. OS NÚMEROS ENTRE COLCHETES INDICAM A QUANTIDADE DE PEDIDOS EM CADA CATEGORIA (NAS COLUNAS A E B) OU POR DEPOSITANTE (NA COLUNA C).

(A) NANOMATERIAIS	(B) TOP 5 - CATEGORIAS APLICAÇÃO	(C) TOP 5 - DEPOSITANTE
NANOMATERIAIS ORGÂNICOS [950]	Preparações medicinais caracterizadas pelos ingredientes não ativos usados [215]; Química macromolecular e polímeros [130]; Biotecnologia [129]; Cosméticos e Higiene [104]; Preparações medicinais contendo materiais de constituição indeterminadas derivados de algas, líquens, fungos ou plantas, ou derivados dos mesmos [101]	UFMG-[BR] [112]; USP-[BR] [86]; UNICAMP-[BR] [55]; UFPE-[BR] [52]; FAPEMIG-[BR] [44]
NANOMATERIAIS METÁLICOS [621]	Medição e monitoramento [96]; Biotecnologia [95]; Equipamentos médicos e preparações para Diagnóstico; cirurgia [70]; Metalurgia [66]; Tecnologias para adaptações às mudanças climáticas [52]	USP-[BR] [61]; UFMG-[BR] [40]; UNICAMP-[BR] [37]; COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR- CNEN-[BR] [30]; UFPE-[BR] [27]
NANOCOMPÓSITOS [434]	Química macromolecular e polímeros [122]; Metalurgia [34]; Tecnologias para adaptações às mudanças climáticas [33]; Corantes, tintas, polidores e resinas naturais [33]; Biotecnologia [31]	UFMG-[BR] [44]; UNICAMP-[BR] [37]; USP-[BR] [26]; UFRGS-[BR] [25]; UFPE-[BR] [19]
NANOMATERIAIS DE CARBONO [364]	Tecnologias para adaptações às mudanças climáticas [52]; Medição e monitoramento [43]; Química macromolecular e polímeros [38]; Metalurgia [30]; Biotecnologia [29]	UFMG-[BR] [63]; COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR- CNEN-[BR] [19]; UNICAMP-[BR] [18]; USP-[BR] [18]; SERGIO NEVES MONTEIRO-[BR] [18];
NANOMATERIAIS CERÂMICOS [194]	Metalurgia [27]; Química macromolecular e polímeros [23]; Tecnologias para adaptações às mudanças climáticas [18]; Biotecnologia [12]; Corantes, tintas, polidores e resinas naturais [12]	UFMG-[BR] [15]; UNICAMP-[BR] [14]; PETROBRAS-[BR] [9]; UFSCAR-[BR] [9]; UFRN [9]
NANOBIOMATERIAIS [190]	Biotecnologia [143]; Preparações medicinais caracterizadas pelos ingredientes não ativos usados [63]; Medição e monitoramento [34]; Equipamentos médicos e preparações para Diagnóstico; cirurgia [32]; Preparações medicinais contendo peptídeos [21]	UFMG-[BR] [34]; USP-[BR] [23]; UNICAMP-[BR] [17]; UFPE-[BR] [15]; FAPEMIG-[BR] [12]



4 Discussão

O levantamento das informações técnicas disponíveis nos documentos de patente relacionados à nanotecnologia permite identificar as rotas tecnológicas, novas potencialidades de aplicação dos nanomateriais, assim como os principais atores neste campo tecnológico no Brasil. Isto é imprescindível para estimular negócios e parcerias, além de fundamentar a formulação de políticas públicas adequadas, que assegurem a exploração eficiente e sustentável da nanotecnologia, a fim de fomentar o desenvolvimento industrial (produtivo), tecnológico, econômico e social do país.

A análise dos depositantes dos pedidos de patente permite compreender quem são os principais interessados em obter exclusividade de mercado para este tipo de tecnologia no Brasil. Neste sentido, é possível identificar as instituições estrangeiras (não residentes) que visam negociar suas tecnologias no mercado nacional, assim como os depositantes residentes que desenvolvem tecnologia no país. O mapeamento das instituições brasileiras que trabalham com pesquisa e desenvolvimento em nanotecnologia, gera informações valiosas para apoiar e fomentar o desenvolvimento dessas tecnologias no país.

4.1 Principais campos de aplicação da nanotecnologia e nanomateriais empregados descritos nos pedidos de patentes depositados no Brasil

Quando analisados os principais campos de aplicação relacionados aos pedidos de patente envolvendo nanotecnologia, a categoria “Ciências médicas” foi a que apresentou a maior quantidade de documentos de patente depositados (48% do total de pedidos da amostra no período de 2000-2022 no Brasil e 43,5% dos pedidos de residentes). Interessante observar que este campo de aplicação foi identificado em 50% dos 44 projetos do “Catalisa ICT” que envolviam nanotecnologia. Estes pedidos de patente descrevem dispositivos, equipamentos, métodos e preparações para diagnóstico ou cirurgia, além de implantes, próteses, ataduras e diversas preparações medicinais. Entre as subcategorias criadas dentro de Ciências médicas,



aquela com maior quantidade de pedidos de patentes foi a de “Preparações medicinais caracterizadas pelos ingredientes não ativos usados”, por exemplo, excipientes, aditivos inertes o ingrediente não-ativo sendo ligado quimicamente ao ingrediente ativo, ou seja, preparações medicinais onde o nanomaterial visa aumentar a estabilidade ou a biodisponibilidade, por exemplo.

Ainda em relação ao campo técnico de ciências médicas, os nanocarreadores tem tido papel bastante relevante, como, por exemplo, nos sistemas de *drug-delivery*, onde o fármaco é levado para o seu tecido alvo, minimizando assim a sua influência em outras células com a redução dos consequentes efeitos colaterais indesejáveis (Wilczewska, 2012). Alguns exemplos de partículas utilizadas nesta técnica são micelas, nanoemulsões, dendrímeros e lipossomas, todos categorizados como nanomateriais orgânicos, a maior categoria de nanomateriais identificada na amostra.

Outro importante exemplo da aplicação na nanotecnologia na área de ciências médicas foi observada recentemente, durante a pandemia causada pela Covid-19, onde vimos que a nanotecnologia se mostrou promissora, presente em inúmeras soluções: kits de detecção e testes rápidos baseado em nanopartículas; desenvolvimento de vacinas utilizando nanocarreadores; sequenciadores de DNA/RNA portáteis; medicamentos; nanomateriais para absorver e inativar o vírus com eficiência em diferentes tipos de superfícies; nanoestruturas antivirais para reduzir a disseminação do SARS-CoV-2 em ambientes hospitalares; sistemas de filtragem de ar contendo filtros de ar com nanotecnologia de alta eficiência na captura do vírus; máscaras com alta respirabilidade e eficiência de filtragem à base de nanofibra de celulose, capaz de remover nanopartículas virais; máscaras com nanofibras naturais, orgânicas e sustentáveis com filtro nano-coco-carbono; utilização das propriedades do grafeno para desenvolvimento de máscaras, luvas e tecidos superhidrofóbicas; entre outras tantas pesquisas e aplicações utilizando nanotecnologia (StatNano, 2020). As áreas mais desenvolvidas na nanomedicina são os materiais e dispositivos implantáveis, biofármacos e ferramentas de diagnóstico (Agrawal, 2016).



Outro campo de aplicação de grande relevância identificado na amostra foi a nanobiotecnologia, que pode ser entendida como a fronteira entre a nanotecnologia e a biotecnologia. A nanobiotecnologia é um campo de aplicação bastante transversal, e engloba o desenvolvimento de aplicações em biologia, agricultura, farmacologia, cosmetologia e medicina.

Os nanomateriais orgânicos também são encontrados com frequência nos pedidos de patente categorizados nos campos de aplicação de "Química macromolecular e polímeros" e "Biotecnologia", tanto nos pedidos de residentes como de não residentes.

Em relação à área de química macromolecular e polímeros temos como principais depositantes grandes empresas não residentes como a Basf (Alemã), Doe Global, Bayer e 3M Innovate Properties (Estadunidenses). Entre as empresas residentes as principais depositantes são a Braskem, Embrapa e Petrobrás. Uma matriz de correlação entre as categorias de aplicação indica a correlação desta com outras categorias como corantes, tintas e polidores, preparações medicinais caracterizadas pelos ingredientes não ativos e a indústria têxtil e de papel (ver [dashboard](#)).

Outros dois campos de aplicação importantes identificados foram os de "tecnologias para adaptações às mudanças climáticas", principalmente correlacionados às categorias de processos eletroquímicos de produção de energia (279 pedidos), biotecnologia e semicondutores (270 e 167 pedidos, respectivamente). Os três maiores depositantes nesta categoria são residentes: UFMG, USP e Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN); e "medição e monitoramento", onde temos uma série de nano sensores com aplicações que variam da medicina (649 pedidos relacionados a equipamentos médicos e preparações para diagnóstico), biotecnologia (496 pedidos) entre outros, como a área de Petróleo e gás, indústria de alimentos e meio ambiente (ver [dashboard](#)).

Alguns campos de aplicação da nanotecnologia apresentam número reduzido de pedidos de patente, o que pode indicar uma oportunidade para aqueles interessados em pesquisar e desenvolver nanotecnologias inovadoras.



Além disso, este estudo identificou 434 patentes extintas relacionadas ao uso da nanotecnologia (Figura 6). Ao verificar as tecnologias em domínio público, o interessado em produzir e/ou comercializar no país estará livre para operar, sem infringir direitos de terceiros. Por outro lado, caso a tecnologia desejada estiver protegida, como as 2.304 patentes vigentes identificadas, é possível procurar o detentor da patente para tentar obter um licenciamento. Lembramos aqui que a lista de pedidos analisados neste radar, com seus principais dados bibliográficos, está disponível e pode ser baixada, em todo ou em partes (através da utilização de filtros), a partir do *dashboard* que acompanha o estudo.

4.2 Pedidos de patente de residentes envolvendo nanotecnologia

Neste radar tecnológico observou-se que os depositantes residentes compõem uma parcela significativa dos documentos de patentes depositados no Brasil envolvendo nanotecnologia, correspondendo a cerca de 21% do total de depósitos no período, e com tendência de crescimento ao longo dos últimos anos.

Segundo Cancino *et al.* (2014), o desenvolvimento de nanomateriais aplicados à medicina no Brasil ainda se concentra em universidades e grandes centros de pesquisa, reportados principalmente na forma de artigos nacionais e internacionais ou teses.

O estudo de Amaral (2016) corrobora os achados deste radar tecnológico, pois já indicavam a predominância de depósitos de patentes de nanotecnologia no Brasil na área de saúde. Este mesmo estudo indicava também que a UFMG, a UNICAMP e a USP se destacavam de modo geral em relação a depósitos de patentes relacionados a nanotecnologia. As três possuem depósitos distribuídos em todos os elos da cadeia de valor da nanotecnologia com maior concentração nos nanointermediários.

Neste radar tecnológico corroboramos esta informação, identificando que os pedidos de patentes de depositantes residentes estão concentrados universidades e instituições de pesquisa, estando 3 delas inclusive figurando entre os 5 maiores depositantes de pedidos de



patente envolvendo nanotecnologia no Brasil (Figura 4). Foi observado também que os depositantes residentes estão concentrados nas regiões sudeste e sul do país (Figura 10).

Conhecer os principais atores desenvolvendo nanotecnologia no Brasil possibilita não só identificar os concorrentes, mas também a possibilidade de buscar parcerias para efetivamente conseguir escalar a produção de seus inventos e levá-los ao mercado. Foram observadas na amostra pedidos em co-titularidade, indicando importantes parcerias, seja entre universidades, entre empresas parceiras ou entre universidades e empresas.

Para o desenvolvimento de novos produtos e processos e também para a penetração em novos mercados, grandes investimentos são necessários, especialmente na fase embrionária (*seeds*). Assim, acredita-se que o setor financeiro terá um papel fundamental no processo de transferência de conhecimento tecnológico dos centros de pesquisa para a indústria. Uma cooperação mais estreita entre a comunidade financeira e empresas de nanotecnologia podem ajudar a superar estas barreiras (Allianz Center of Technology (ACT), 2005).

Com o objetivo de evitar litígios ao produzir, utilizar, vender ou importar um produto no Brasil, é importante investigar se a tecnologia correspondente possui patente vigente no país ou se é ainda um pedido de patente pendente de análise técnica no INPI: no primeiro caso, o titular da patente possui os direitos de exclusividade sobre a tecnologia; no segundo caso, o depositante do pedido tem uma expectativa de direito até a decisão final do instituto, quando a patente poderá (ou não) ser concedida. A análise do andamento dos pedidos no INPI permite conhecer as tecnologias livres (em domínio público) e aquelas protegidas, ou em análise. O status de andamento atualizado pode ser encontrado no site do INPI através da ferramenta BuscaWeb.²⁵

A análise de Gênero dos inventores nacionais no setor de nanotecnologia mostrou que as mulheres parecem desempenhar um importante papel na pesquisa nesta área, correspondendo à cerca de 45% dos inventores residentes. Infelizmente, esta proximidade

²⁵ <https://busca.inpi.gov.br/pePI/>



estatística entre os gêneros dos inventores de nanotecnologia não é uma realidade percebida em outras áreas da ciência, conforme estudos nacionais e internacionais publicados sobre este assunto (Carvalho *et al.*, 2020).

O alto percentual de mulheres inventoras identificados neste estudo pode ter como uma das possíveis explicações os principais campos de aplicação da nanotecnologia encontrados neste Radar, uma vez que Azevedo & Abrantes (2021) publicaram recentemente um estudo que avaliou a presença de mulheres na atividade de patenteamento no Brasil, tendo sido demonstrado que, a comparação entre todos os setores tecnológicos revela que a maior participação de inventoras mulheres reside na área de química, incluindo química de alimentos, produtos farmacêuticos, biotecnologia e engenharia química, onde é encontrado um expressivo contingente de especialistas e profissionais do sexo feminino.

Outra possível explicação pode estar no grande volume de pedidos de patentes feitos pelas universidades quando analisada a amostra de residentes. Uma pesquisa recente revelou que a participação das mulheres nas patentes tem crescido nas universidades, como por exemplo uma pesquisa realizada pelo Inova UFRJ, que identificou que 87% dos pedidos de patentes da UFRJ entre os anos de 2017 e 2021, possuem ao menos uma mulher listada entre os inventores²⁶.

Ainda assim, embora neste estudo a presença de mulheres inventoras das patentes relacionadas à nanotecnologia tenha se mostrado acentuada, acredita-se que o desnível do protagonismo feminino em relação a patentes em geral, bem como nos projetos científicos e de inovação, ainda mereça atenção dos formuladores de políticas públicas, para que se consiga diminuir as barreiras encontradas por este grupo nos diferentes campos da ciência e diferentes áreas tecnológicas.

²⁶ <https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2023-03/na-ufrj-87-dos-pedidos-de-patente-tem-mulheres-entre-os-inventores>



4.3 Disponibilização dos dados apresentados

Entende-se que a nanotecnologia é uma ciência transversal, podendo ser encontrada nos mais diversos campos de aplicação. Este radar tecnológico conta também com a disponibilização dos dados bibliográficos e conteúdo técnico dos pedidos de patente da amostra, permitindo que se selecione os campos técnicos de interesse, seja em relação ao tipo de nanomaterial, campo de aplicações ou outras variáveis, de modo a possibilitar que os pesquisadores e desenvolvedores possam conhecer diferentes soluções técnicas que auxiliem no desenvolvimento de suas pesquisas. Para acessar os dados bibliográficos dos pedidos identificados neste estudo acesse o *Dashboard* disponível neste [link](#).

Os diferentes filtros a seguir podem ser selecionados: data de depósito, país do depositante, depositante, tipo de nano material, campo de aplicação, status do pedido no INPI (situação processual) e porte da empresa. A lista de pedidos pode ser baixada em formato Excel.

A estratégia de busca e categorização apresentada neste estudo (ver Apêndice) possibilita a atualização periódica dos dados apresentados. No entanto, por ser uma estratégia de recuperação e categorização automática de documentos, o fato de parte dos pedidos que não ter sido classificada de acordo com categorias de nanomateriais (cerca de 20% da amostra) não significa que sejam pedidos não relacionados a estes materiais.

4.4 Problemas e Desafios

O cenário jurídico da nanotecnologia é considerado complexo e desafiador. No que diz respeito à proteção por patente das invenções nanométricas, especialistas alertam que há algumas questões que necessitam de ampla discussão e análise mais aprofundada.^{27,28}

Apesar do enorme potencial da nanotecnologia devido a sua natureza universal e intersetorial (fornecendo plataforma capacitadora para processos de fabricação e produtos em múltiplas tecnologias e

²⁷ <https://www.wipo.int/patent-law/en/developments/nanotechnology.html>

²⁸ <https://www.wipo.int/patents/en/topics/nanotechnology.html>



indústrias), essa qualidade apresenta ainda diversos desafios para aqueles que pretendem desenvolver e comercializar produtos neste campo.

Um dos desafios atuais é a dificuldade em detectar possíveis infrações de patentes que envolvem nanotecnologia, principalmente se esta tecnologia envolve diferentes setores. É essencial que empresas atuantes neste campo tenham uma visão abrangente do cenário patentário de nanotecnologia para identificar a liberdade de operação, a fim de evitar litígios. No entanto, não é fácil para um titular de patentes saber se um concorrente ou uma empresa, que opera em outro setor, está utilizando uma tecnologia protegida sem autorização, tendo em vista que isso requer a utilização de técnicas e equipamentos de microscopia sofisticados e caros (WIPO, 2011).

Outros grandes desafios relacionados aos nanomateriais estão relacionados às questões de regulação sanitária e nanometrologia. Os processos de normatização e regulamentação vêm sendo amplamente discutidos na Europa, nos EUA e no Brasil.

O grande desafio da nanometrologia é o desenvolvimento e a criação de novas técnicas de medição capazes de fornecer resultados com alta exatidão, necessários para atender as necessidades da indústria que trabalha com nanotecnologia. Somente desta forma é possível obter a confiabilidade necessária que influenciará diretamente nas decisões das transações comerciais nacionais e internacionais, contribuindo, muitas vezes, para a superação de barreiras técnicas (Damasceno et al., 2013). Nesse contexto, o Brasil é considerado como um dos poucos países a investir em nanometrologia, tendo instituído o Centro de Nanometrologia no Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (Inmetro) em 2008.

As questões de regulamentação de produtos utilizando nanomateriais perpassa os diferentes setores, como meio ambiente, biocombustíveis, alimentos, cosméticos e medicamentos. A nanotoxicidade e a nanosegurança são temas importantes para avaliar os possíveis riscos dos nanomateriais ao meio ambiente e a saúde. Neste sentido a Anvisa, Agência Nacional de Vigilância Sanitária, tem papel



central na discussão da regulamentação de nanoprodutos, e em particular dos nanomedicamentos.

Atualmente, a busca de diretrizes para a regulamentação e a qualidade dos nanomedicamentos envolve uma série de lacunas e é um desafio de âmbito mundial, uma vez que as principais agências regulamentadoras internacionais, como a *Food and Drug Administration* (FDA), dos Estados Unidos da América, e a *European Medicines Agency* (EMA), não possuem uma regulamentação harmonizada para seus registros e liberação. Neste contexto, Barata-Silva et al. (2021) discutem as principais lacunas no conhecimento, bem como algumas diretrizes que vem sendo propostas pelos organismos reguladores dos maiores produtores de nanomedicamentos no mundo.

Assim, podemos dizer que, apesar da nanotecnologia aplicada à formulação e à fabricação de medicamentos constituir um inegável avanço para a saúde, existem ainda vários pontos que requerem maior desenvolvimento, e que impactam, portanto, os marcos regulatórios para o registro, a eficácia e a segurança desses produtos.

Além da superação de obstáculos relacionados ao estabelecimento de marcos regulatórios que definam claramente as possibilidades de sua aplicação e as responsabilidades sobre os riscos assumidos; existe ainda um importante desafio, relacionado à definição de políticas de investimento que viabilizem o avanço científico e a difusão tecnológica da nanotecnologia; e, à criação de mecanismos de governança que facilitem a comunicação com a sociedade e proporcionem maior transparência sobre os benefícios e riscos decorrentes da aplicação da nanotecnologia (Piscopo et al., 2015).

O projeto "Indústria 2027: riscos e oportunidades para o Brasil diante inovações disruptivas" (IEL, 2018) identificou tendências e impactos de tecnologias disruptivas sobre diferentes sistemas produtivos no período de cinco a dez anos, tendo desenvolvido recomendações para o planejamento estratégico das empresas e subsídios à formulação de políticas públicas. As tecnologias foram definidas em função de seu impacto disruptivo potencial e organizadas



Nanotecnologia

em oito clusters tecnológicos por proximidade de bases técnicas²⁹, onde a nanotecnologia foi uma dos clusters tecnológicos avaliado no projeto.

De acordo com o relatório final do projeto, a construção do futuro da indústria deve partir de um conjunto de premissas, demanda priorização das políticas e requer direcionamentos, no sentido de: (i) se construir alicerces e externalidades para todos, visando formar recursos humanos qualificados e PMEs capacitadas; (ii) modernizar e aumentar a capacidade de resposta do Estado, atualizando e criando marcos regulatórios pró-inovação; (iii) coordenar e utilizar instrumentos e programas de forma articulada, especialmente entre as agências reguladoras e entidades federais de financiamento; e (iv) garantir a segurança jurídica dos processos de fomento e introduzir na agenda pública novos temas éticos e regulatórios (IEL, 2018).

Por fim, um desafio futuro consistirá em promover a inovação sustentada em nanotecnologias, assegurando que o regime de propriedade intelectual proporcione aos inovadores uma ampla liberdade para operar e desenvolver novas aplicações nanotecnológicas, sem, contudo, desestimular o investimento em patentes e a respectiva divulgação das informações contidas nos documentos de patentes.

²⁹ Os 8 clusters tecnológicos são: inteligência artificial, big data, computação em nuvem; IoT e seus respectivos sistemas e equipamentos; produção inteligente e conectada (manufatura avançada); redes de comunicação; nanotecnologias; bioprocessos e biotecnologias avançadas; materiais avançados e novas tecnologias de armazenamento de energia (AE).



5 Referências

- AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL [ABDI] (2010a) "Cartilha sobre nanotecnologia". 2ªed. Brasília 58 p. [[sítio da internet](#)].
- AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL [ABDI] (2010b) Panorama nanotecnologia, Série: Cadernos da Indústria, ABDI, 21. Brasília: ABDI, 2010, 182 p. [[sítio da internet](#)].
- AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL [ABDI] (2018). "A nanotecnologia tem tornado as indústrias brasileiras mais competitivas" [[sítio da internet](#)].
- AMARAL, D. (2016) "Estudo Prospectivo do Patenteamento em Nanotecnologia no Brasil: uma análise de cadeia de valor". *Dissertação de Mestrado*. Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI) [[sítio da internet](#)].
- ALLIANZ CENTER OF TECHNOLOGY (ACT) – OCDE - INTERNATIONAL FUTURES PROGRAME (2005). "Small sizes att matter: Opportunities and Risks of Nanotechnologies" [[sítio da internet](#)].
- AGRAWAL, P. (2016) Potential prospects of future medicine: nano medicine. *Journal of Pharmacovigilance*, vol. 4, Issue 1, [[sítio da internet](#)].
- AQEL, A.; EL-NOUR, K.M.M.A.; AMMAR, R.A.A.; AL-WARTHAN, A. (2012) "Carbon nanotubes, science, and technology part (I) structure, synthesis, and characterization". *Arabian Journal of Chemistry*. Riyadh, vol. 5, n. 1, p.1-23. [[sítio da internet](#)].
- AZEVEDO, N. & ABRANTES, A.C.S. (2021) "A presença de mulheres na atividade de patenteamento no Brasil (1996-2017)". *Saúde debate* 45 (spe1) [[sítio de internet](#)].
- BARATA-SILVA, C.; SANTOS L.M.G.; VICENTINI, S.A.; MAGALHAES, C.D. JACOB, S.C. & MOREIRA J.C. (2021) "Nanomedicamentos: regulamentação e controle de qualidade" *Vigilância sanitária em debate* 2021;9(2):138-151 [[sítio da internet](#)].
- BCC RESEARCH (2021) "Global Nanotechnology Market". Massachusetts (USA): BCC Publishing. [[sítio da internet](#)].
- BELLUCCI, F.; VASQUEZ H. & CONTO, J. (2021). "Panorama tecnológico grafeno: contexto brasileiro e sua demanda por financiamento". *FINEP* [[sítio de internet](#)].
- CAI, W. & CHEN, X. (2007) "Nanoplatfoms for targeted molecular imaging in living subjects". *Germany: Small*, vol. 3, n. 11, p. 1840-1854. [[sítio da internet](#)].
- CALANDRA, P.; PAROLA, V.; LIVERI, V.T.; LIDORIKIS, E. & FINOCCHI, F. (2013). "Composite Nanoparticles". Hindawi Publishing Corporation. *Journal of Chemistry*. Vol 2. [[sítio de internet](#)].



- CANCINO, J.; MARANGONI, V.S & ZUCOLOTTI, V. (2014). "Nanotecnologia em medicina: aspectos fundamentais e principais preocupações". *Química Nova*, Vol. 37 (3) [[sitio de internet](#)].
- CAO, G. & WANG, Y. (2004). "Nanostructures and nanomaterials: Synthesis, Properties and applications" *World Scientific Series in Nanoscience and Nanotechnology: Volume 2* [[sitio de internet](#)]
- CARVALHO D. S., BARES, L. & SILVA, K. (2020) "The gender patenting gap: a study on the Iberoamerican countries". *Journal of Data and Information Science*, V. 5, Ed. 3, p. 116-128 [[sitio de internet](#)].
- DALCOMUNI, S. M. (2006) "Inter-relações fundamentais para o desenvolvimento sustentável". In: MARTINS, Paulo R. (Org.). *Nanotecnologia, sociedade e meio ambiente*, 2º Seminário Internacional. São Paulo: Xamã VM Ed. e Gráfica Ltda., p.49-68. [[sítio da internet](#)].
- DAMASCENO, J.C.; RIBEIRO, A.R.; BALOTTIN L.B.L. & GRANJEIRO, J.M. (2013) "Nanometrologia – desafios para a regulação sanitária". *Vigilância Sanitária em Debate*; 1(4): 104-114 [[sítio da internet](#)].
- DREXLER, E. K. (1986) "Engines of creation: the coming era of nanotechnology." New York: Anchor Books.
- GHARAILOU (2018). "A Review of Market Studies in Different Fields of Nanotechnology" *StatNano Publications*. [[sítio de internet](#)]
- GORGULHO, C.F., OLIVEIRA, S.S. & SANTOS, C.D.S.M (2022) "Tecnologias com Grafeno- Panorama do Patenteamento no Brasil". *INPI: Radar Tecnológico*, Edição 27 [[sítio de internet](#)]
- GRIEGER, K.D.; HANSEN, S.F. & BAUN, A. (2009) "The known unknowns of nanomaterials: describing and characterizing uncertainty within environmental, health and safety risks". *Nanotoxicology*, vol. 3, issue 3, p.222-233 [[sítio da internet](#)].
- HESS, D.J. (2012) "Environmental reform organizations and undone science in the United States: exploring the environmental, health, and safety implications of nanotechnology". *Science as Culture*, vol. 19, issue 2, p. 181-214. [[sítio da internet](#)].
- HOLMANNOVA, D., BORSKY, P., SVADLAKOVA, T., BORSKA, L. & FIALA, Z. (2022). "Carbon Nanoparticles and Their Biomedical Applications". *Appl. Sci*, 12, 7865 [[sitio de internet](#)].
- HORN D. & RIEGER, J. (2001). "Organic Nanoparticles in the Aqueous Phase: Theory, Experiment, and Use". *Angewandte Chemie International Edition*, Volume 40, Issue 23 / p. 4330-4361 [[sitio de internet](#)]



- IBGE (2016) "PINTEC 2014: taxa de inovação se mantém estável e apoio governamental aumenta". *Agencia IBGE de Notícias*. Estatísticas Econômicas [[sítio da internet](#)]
- INSTITUTO EUVALDO LODI [IEL] (2018) "Síntese dos resultados: construindo o futuro da indústria brasileira". In: *Indústria 2027: riscos e oportunidades para o Brasil diante de inovações disruptivas*. Vol 1. Tecnologias disruptivas e indústria: situação atual e avaliação prospectiva. [[sítio de internet](#)]
- INTERNATIONAL STANDARDS ORGANIZATION [ISO] (2015) "Nanotechnologies - Terminology and definitions for nano-objects - Nanoparticle, nanofibre and nanoplate". (Comitê responsável ISO/TC 229, Nanotechnologies). ISO/TS 27687:2008.
- INVERNIZZI, N. (2019) "Políticas de Nanotecnologia em Argentina, Brasil e México: emulação e adaptação". *Revista de estudos e pesquisas sobre as américas* v.13 n.3: Os 60 anos da Revolução Cubana e a América Latina: logros, desafios e dilemas [[sítio de internet](#)]
- JEEVANANDAM, J.; BARHOUM, A.; CHAN, Y.S.; DUFRESNE, A. & DANQUAH M.K. (2018) "Review on nanoparticles and nanostructured materials: history, sources, toxicity and regulation" *Beilstein. J. Nanotechnol.* 9, 1050–1074. [[sítio da internet](#)]
- JELINEK, R. (2015) "Nanoparticle". Published by De Gruyter. [[sítio de internet](#)]
- KHAN, I.; SAEED K. & KHAN, I. (2019) "Nanoparticles: properties, applications and toxicities". *Arabian Journal of Chemistry*, Vol.12, Issue 7, p. 908-931 [[sítio de internet](#)]
- KIM, T. H.; LEE, S. & CHEN, X. (2013) "Nanotheranostics for personalized medicine". *Expert Review of Molecular Diagnostics*, v. 13, n. 3, p. 257-269. [[sítio da internet](#)].
- LUCHINI, A.; GEHO, D.H.; BISHOP, B.; TRAN, D.; XIA, C.; DUFOUR, R.; JONES, C.; ESPINA, V.; PATANARUT, A.; ZHU, W.; ROSS, M.; TESSITORE, A.; PETRICOIN III, E.; LIOTTA, L.A. (2008) "Smart hydrogel particles: biomarker harvesting: one-step affinity purification, size exclusion, and protection against degradation". *Nano Letters*, v. 8, n. 1, p. 350-361. [[sítio da internet](#)].
- MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÕES [MCTI] (2012) ESTRATÉGIA NACIONAL DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO 2012-2015. "Balanço das Atividades Estruturantes 2011". *ENCTI I, Nanotecnologia*: p.72-74 e p.103-104, 2012. [[sítio da internet](#)].
- MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÕES [MCTI]. "Nanotecnologia. Tecnologias Convergentes e Habilitadoras". [[sítio da internet](#)].



- MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES [MCTIC] (2016) "Estratégia nacional de ciência, tecnologia e inovação: 2016-2022" [[sítio da internet](#)].
- MENDES, C.U.S.; VILLA VERDE, F.R; VON DER WEID, I.; COSTAL, G.C.S.Z; RUSHEL, N.S.; NETO, M.S.M.V; COSTA, C.M. & BERTUSSI, N.L. (2021) "Panorama da Utilização do Sistema de Propriedade Industrial por Startups". *INPI: Radar Tecnológico*, Edição 23 [[sítio de internet](#)]
- MILANEZ, A. Y. & GUIMARÃES, D. D. (2018) "Complexo agroalimentar". In: PUGA, Fernando Pimentel; CASTRO, Lavinia Barros de (Orgs.) *Visão 2035: Brasil, país desenvolvido: agendas setoriais para alcance da meta*. 1. ed. Rio de Janeiro: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), p. 105-118. [[sítio da internet](#)].
- MILES, I. & LEITE, E. R. (2010) "Nanotecnologia: oportunidades para a indústria e novas qualificações profissionais". PIO, Marcello J.; TIGRE, Paulo B. (Orgs.). *Série Estudos Tecnológicos e Organizacionais*. Brasília: Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI), p.9-45 [[sítio da internet](#)].
- MURA, S. & COUVREUR, P. (2012) "Nanotheranostics for personalized medicine". *Advanced Drug Delivery Reviews*, vol. 64, issue 13, p. 1394-1416. [[sítio da internet](#)].
- NÚCLEO DE ASSUNTOS ESTRATÉGICOS DA PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA [NAEPR] (2004) "Estudos estratégicos: nanotecnologia" 197p. [[sítio de internet](#)]
- ORGANIZAÇÃO PARA COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO [OCDE] (2009) PALMBERG, C.; DERNIS, H.; MIGUET, C. "Nanotechnology: an overview based on indicators and statistics". *Statistical Analysis of Science, Technology and Industry*, 112p, [[sítio da internet](#)].
- ORGANIZAÇÃO PARA A COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONOMICO [OCDE] (2009) "Small sizes that matter: Opportunities and risks of nanotechnologies". *Nanosafety, Science, OCDE*. Allianz Group, Report. [[sítio de internet](#)]
- ORGANIZAÇÃO PARA A COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONOMICO [OCDE] (2022) "Key nanotechnology indicators da OCDE". [[sítio de internet](#)]
- OUELLETTE (2015). "Economic growth and breakthrough innovations: a case study of nanotechnology". *Economic Research Working Paper nº 29, Economics & Statistics Series, World Intellectual Property Organization (WIPO)* [[sítio de internet](#)].
- PENANTE (2021). "Cientistas convertem palha de cana em nanocristais fortes como aço". *Tecmundo, Ciência*. [[sítio de internet](#)]



- PIERONI, J. P.; REIS, C. & SOUZA, J. O. B. (2010) "A indústria de equipamentos e materiais médicos, hospitalares e odontológicos: uma proposta de atuação do BNDES". *BNDES Setorial*, n. 31, p. 185-226 [[sítio da internet](#)].
- PISCOPO, M. R., KNISS, C. T., BIANCOLINO, C. A. & TEIXEIRA, C. E. (2015) "O setor brasileiro de nanotecnologia: Oportunidades e desafios". *Revista de Negócios*, [S.l.], v. 19, n. 4, p. 43-63 [[sítio da internet](#)].
- QUEVEDO, J.P. & INVERNIZZI, N. (2021). "As prioridades retóricas da política brasileira de nanotecnologia: análise sobre inovação, regulação e riscos". Colômbia: Universidad Central. *Nômadias*, nº55, p. 29-44 [[sítio de internet](#)].
- ROSA, E.; KREMER, I.S.; MALDANER, S.; QUADROS, G.R.; FABRIS, L.; CARDOSO, L.T.; BOITA, J. (2020) "Uma perspectiva sobre as propriedades e aplicações mecânicas das nanoestruturas". *Ciência e Natura*, vol. 42, Special Edition, e24 [[sítio da internet](#)].
- SAJID, M. (2022) "Nanomaterials: types, properties, recent advances, and toxicity concerns". *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 25:100319, 2022.
- SINGH, R.; BRUMLIK, C.; VAIDYA, M. & CHOUDHURY, A. (2020) "A patent review on Nanotechnology-based nose-to-brain drug delivery". *Recent Patent Nanotechnology*, 14(3), p. 174-192. [[sítio de internet](#)]
- SANTOS, C.D.S.M, GORGULHO, C.F & NUNES, F. (2023) "Radar tecnológico de Nióbio". *INPI: Radar Tecnológico*, In press. [[sítio de Internet](#)]
- SAVOLAINEN, K.; ALENIUS, H.; NORPPA, H.; PYLKKÄNEN, L.; TUOMI, T. & KASPER, G. (2010) "Risk assessment of engineered nanomaterials and nanotechnologies: a review". *Toxicology*, vol. 269, issue 2-3, p.92-104. [[sítio da internet](#)].
- SILVA L.H., VIANA, A.R., BALDISSERA, M. D., NASCIMENTO, K., SAGRILLO, M. R & LUCHESE C. (2014) "Revisão bibliográfica sobre relações entre nanomateriais, toxicidade e avaliação de riscos: a emergência da nanotoxicologia". *Disciplinarum Scientia*, v. 15, n. 1. [[sítio de internet](#)]
- STANLEY, S. (2014). "Biological nanoparticles and their influence on organisms". *Current Opinion in Biotechnology* v.28: 69–74 [[sítio de internet](#)]
- STATNANO (2022). "Nanotechnology Products". [[sítio de internet](#)] e [[sítio de internet](#)] (Acesso em nov. 2022).
- STONE, D.; HARPER, B. J.; LYNCH, I.; DAWSON, K.A.; HARPER, S.L. (2010) "Exposure assessment: recommendations for nanotechnology-based pesticides". *International Journal of Occupational and Environmental Health*; vol. 16(4): 467-474. [[sítio da internet](#)].



- THOMAS, S.C; HARSHITA; MISHRA, P.K. & TALEGAONKAR, S. (2015) "Ceramic Nanoparticles: Fabrication Methods and Applications in Drug Delivery". *Curr Pharm Des.* 21(42): 6165-6188. [[sítio de internet](#)].
- VILLA VERDE, F.R.; dos SANTOS, P.R. & VON DER WEID, I. (2017a). Nanotecnologia aplicada a equipamentos e suprimentos médicos, hospitalares e odontológicos (EMHO). *INPI: Radar Tecnológico*, Edição 13. [[sítio de internet](#)]
- VILLA VERDE, F.R.; VON DER WEID, I. & dos SANTOS, P.R. (2017b). Nanocosméticos. *INPI: Radar Tecnológico*, Edição 14. [[sítio de internet](#)]
- VILLA VERDE, F.R.; LOURENÇO, A.L. & dos SANTOS, P.R. (2017c). Nanofármacos. *INPI: Radar Tecnológico*, Edição 15. [[sítio de internet](#)]
- VLASOV, V.A. (2015). "The review of patents in the area of nanotechnologies and nanomaterials - Part 1". *Nanotechnologies in Construction*. Vol.8(4): 89-100 [[sítio de internet](#)]
- WILCZEWSKA, A. Z.; NIEMIROWICZ, K.; MARKIEWICZ, K.H. & CAR, H. (2012) "Nanoparticles as drug delivery systems". *Pharmacological Reports*, vol. 64, issue 5, p. 1020-1037. [[sítio da internet](#)].
- WORLD INTELLECTUAL PROPERTY ORGANIZATION [WIPO] (2011). "Patenting Nanotechnology: Exploring the Challenges". *Magazine*. [[sítio de internet](#)]
- YAQOUB, A.A.; AHMAD, H.; PARVEEN, T.; AHMAD, A.; OVES, M.; ISMAIL, I.M.I.; QARI, H.A.; UMAR, K. & IBRAHIM, M.N.M. (2020) "Recent Advances in Metal Decorated Nanomaterials and Their Various Biological Applications: A Review". *Front. Chem., Sec. Nanoscience* Volume 8. [[sítio de internet](#)]
- ZARBIN, A.J.G. (2007). "Química de (nano)materiais". *Química Nova*, Vol. 30, No. 6, 1469-1479. [[sítio de internet](#)]



6 Apêndice – Metodologia

6.1 Levantamento dos pedidos de patentes depositados no INPI relacionados à Nanotecnologia

A estratégia de busca utilizada para recuperar os documentos de patentes depositados no Brasil relacionados a produtos ou processos envolvendo nanotecnologia está descrita na Tabela 7.

O levantamento foi realizado na base Derwent Innovation Index através da utilização das Classificações IPC e CPC, *manual-codes* e palavras-chaves (buscadas nos títulos, resumos ou reivindicações dos pedidos), tendo sido efetuado um corte temporal na amostra, para aqueles pedidos depositados a partir do ano 2000.

Posteriormente, dados como status de processamento do pedido no INPI, natureza jurídica e geolocalização dos depositantes foram buscados na base BINTEC³⁰ a partir da lista de documentos levantados na base *Derwent*. Os dados obtidos nas duas bases de dados foram importados para o programa Vantage Point®, utilizado como ferramenta de mineração de dados, onde foi realizada a limpeza, harmonização e categorização da amostra.

Para melhor analisar o panorama de desenvolvimento tecnológico dos brasileiros em relação à nanotecnologia, foi realizado um recorte da amostra para os pedidos de patentes de depositantes residentes.

³⁰ BINTEC – Base de Informação Tecnológica gerenciada pela Divisão de Estudos e Projetos DIESP/CEPIT/DIRPA.



TABELA 7. ESTRATÉGIA DE BUSCA DE PEDIDOS DE PATENTES RELACIONADOS À NANOTECNOLOGIA

	NANOTECNOLOGIA
IPC	B82* or A61K 9/51 or H01F 10/32 or H01F 41/30 or H01L 29/775 or G01Q 70/12 or C01B 32/15* or C01B 32/17* or C01B 32/18* or C01B 32/19* or G02F 1/017
CPC	B82* or C01B 32/15* or C01B 32/17* or C01B 32/18* or C01B 32/19* or A61K 9/141 or A61K 9/51 or A61K 2039/55555 or A61K 47/6929 or A61K 47/6931 or A61K 49/0065 or A61K 49/0067 or A61K 49/0093 or A61K 49/0095 or A61K 49/0423 or A61K 49/0428 or A61K 49/0485 or A61K 49/049 or A61K 49/1824 or A61K 49/1827 or A61K 49/1866 or A61K 49/1878 or A61K 49/1884 or A61K 51/1248 or A61K 2800/413 or G01N 2015/0038 or G01N 21/554 or G01N 27/127 or G01N 27/3278 or G01N 27/4146 or G01N 33/48721 or G01N 33/54346 or G01N 33/587 or G01N 33/588 or C12Q 2563/157 or H01F 1/0045 or H01F 1/0054 or H01F 1/0072 or H01F 1/0081 or H01F 1/009 or H01F 1/0579 or H01F 1/15333 or H01F 10/138 or H01F 10/3259 or H01F 41/30 or H01L 29/775 or G01Q 70/12
Manual codes	A08-M09A1 OR A08-M09C1 OR A12-W14 OR B05-U* OR B11-C12 OR B12-M10A7 OR M12-M11Q OR C05-U* OR C11-C12 OR C12-M11Q OR C12-M10A7 OR E05-U* OR E24-U* OR E27-B01A OR E27-B02A OR E27-B03A OR E31-U* OR E31-V* OR J04-F02* OR L02-A14 OR L02-H04B OR L03-A01A6 OR L03-A01C4 OR L03-A02G OR L03-A03N OR L03-B02N OR L04-A05 OR M26-C02 OR M27-D03 OR N06-C09 OR U11-A14 OR U11-C13 OR U12-B03F2* OR U21-B01T OR U21-C01T OR V02-A10* OR V02-B04 OR V02-H02G OR V03-C10A OR V03-D10A OR V04-X01B1 OR V05-B05A5C OR V05-E01C7A OR V06-M06G8A OR V06-M06G9 OR V06-N22A OR V06-N40H1 OR V06-V01K2 OR X12-D01D OR X12-D02C2D OR X12-D07E2A OR X12-E01D OR X12-E02D OR X-12E03D OR X16-C15C3A OR X16-E01H1 OR X16-E06A1A OR X-16J01E OR S03-H02B
Palavras-chave	Nanotech* or nanotube* or nanofib* or nanomat* or nanomed* or nanopart* or nanoelectr* or nanorobot* or nanometrol* or nanofarm* or nanodevice* or fulleren* or nanocryst* or nanosensor* or nanoscale or nanopor* or nanofluidic* or nanobot* graphene or nanovesicle* or nanolip* or cyclodextrin* or nanosphere* or dendrimer* or nanobod* or nanoemul* or nanobead* or nanocomposit* or nanowire* or nanomagnet* or nanocapsule* or nanostructur* or nanosize* or nanorod* or nanomanufact*
Ano de depósito	>=2000
País de depósito	Brasil



6.2 Categorização dos documentos de patentes relacionados à nanotecnologia

6.2.1 Categorização dos documentos de acordo com o campo de aplicação (Classificação IPC e CPC)

Visando correlacionar os pedidos de patente com os diferentes campos de aplicação para o setor da nanotecnologia, o presente trabalho dividiu o conjunto de documentos de patente recuperados na busca em 19 campos de aplicação, definidos com base na estrutura do classificador de patentes (IPC/CPC) pertinentes ao tema. A Tabela 3 (página 34) apresenta esta categorização, bem como o número de documentos encontrados em cada categoria sejam eles da amostra geral ou da amostra de depositantes residentes.

Vale ressaltar que um mesmo documento de patente pode ter diversas classificações (IPC e /ou CPC) associadas e, portanto, pode ter sido atribuído a ele mais de um campo de aplicação/categoria diferente. Desse modo, o somatório da quantidade de documentos de patentes em cada categoria pode exceder o número total de documentos recuperados e analisados nesse estudo.

6.2.2 Categorização dos documentos de acordo com o tipo de nanomaterial (Classificação IPC, CPC, *manual-codes* e *palavras-chave*)

Para a categorização dos documentos de acordo com o tipo de nanomaterial envolvido na invenção buscou-se dividir os pedidos de patente em seis categorias, apresentadas na Tabela 1. O objetivo era identificar qual o nanomaterial estava envolvido no foco da invenção. A estratégia utilizada para agrupar estes documentos está descrita na Tabela 8.

As buscas foram feitas na base *Derwent Innovation*, dentro do conjunto de documentos previamente identificados como relacionado à nanotecnologia no item 3.1. Foram incluídos nas categorias os pedidos que apresentassem as palavras chaves selecionadas descritas no título, resumo ou reivindicações (campo CTB), ou ainda que apresentasse Classificação IPC/CPC ou *manual-codes* selecionados, conforme Tabela

8. Um mesmo pedido pode ter sido categorizado em mais de um dos grupos propostos, caso estivesse relacionado a mais de um tipo de nanomaterial, com exceção dos pedidos categorizados como “nanocompósitos”, que foram alocados apenas nesta categoria, como demonstrado na estratégia de categorização (Tabela 8).

TABELA 8. ESTRATÉGIA DE CATEGORIZAÇÃO DOS PEDIDOS EM RELAÇÃO AO NANOMATERIAL ENVOLVIDO NA INVENÇÃO

CATEGORIAS	PALAVRAS-CHAVE	CLASSIFICAÇÃO IPC/CPC	MANUAL-CODES
Nanomateriais inorgânicos: Metálicos	<p>(nano* NEAR4 metal*) or (nano* NEAR4 ouro) or (nano* NEAR4 gold) or (nano* NEAR4 silver) or (nano* NEAR4 copper) or (nano* NEAR4 iron) or (nano* NEAR4 niobi*) or (nano* NEAR4 prata) or (nano* NEAR4 cobre) or (nano* NEAR4 ferro) or (nano* NEAR4 titani*) or (nano* NEAR4 magnetic*) or (nano* NEAR4 platin*) or (nano* NEAR4 palladium) or (nano* NEAR4 paladio) or nanometal* or nanogold or nanosilver or nanocopper or nanoiron or “gold NP” or “silver NP” or “iron NP” or “copper NP” or (“metal organic framework” NEAR4 nano*) or (MOF* NEAR4 nano*) or nanorod* or (aluminum NEAR4 nano*) or (zinc* NEAR4 nano*)</p> <p>NOT</p> <p>(nano* NEAR10 composite) or (nano* NEAR10 composito) or nanocomposite or nanocomposito</p>	<p>B22F 1/054* B22F 1/07</p>	<p>L03-A01A6 L03 -B02N V02 -A10 M22-H03F1</p>
Nanomateriais inorgânicos: Cerâmicos	<p>Nanoceramic* or (nano* NEAR4 ceramic*) or vitroceramic* or nanoclay or (nano* NEAR4 clay) or (nano* NEAR4 argila*) or nanoargila* or NPC or (nano* NEAR4 silica*) or (nano* NEAR4 silicio) or (nano* NEAR4 silicon) or (nano NEAR4 oxid*) or ((carbide or carbureto or carbonat* or carbeto) NEAR4 (silício or silicon or tungsten*))</p> <p>NOT</p>	<p>C09D7/67 C09D 7/68</p>	<p>L02-A14 L02-J M22-H03F2</p>



CATEGORIAS	PALAVRAS-CHAVE	CLASSIFICAÇÃO IPC/CPC	MANUAL-CODES
	(nano* NEAR10 composite) or (nano* NEAR10 composito) or nanocomposite or nanocomposito		
Nanomateriais baseados em Carbono	<p>(nano* NEAR4 carbon*) or "carbon NP" or fulleren* or fuleren* or graphene or grafeno or (nano* NEAR4 grafite) or (nano* NEAR4 graphite) or (nano* NEAR4 diamond*) or (nano* NEAR4 diamante*) or (carbon ADJ dot*) or (carbon* ADJ QD*) or ("Diamond-like carbon") or (DLC NEAR4 nano*)</p> <p>NOT</p> <p>(nano* NEAR10 composite) or (nano* NEAR10 composito) or nanocomposite or nanocomposito</p>	<p>C01B 32/05 C01B 32/15* C01B 32/16* C01B 32/17* C01B 32/18* C01B 32/19* C01B 32/2* C01B 2202* C01B 2204* C25B 11/043 B01J 20/205 B01J 21/185 C08K 3/04*</p>	<p>B05-U C05-U E05-U E31-U02 L02-H04B V05-B05A5C A08-M09A1 A08-M09C1</p>
Nanomateriais orgânicos; Polimeros; dendrimeros; ciclodextrinas; micelas	<p>nanopol?mer or (nano* NEAR4 pol?mer*) or dendrimer* or (nano* NEAR4 pol?eth?lenimine*) or (nano* NEAR4 pol?etilenimin*) or (nano* NEAR4 pol?aziridin*) or (nano* NEAR4 PEI) or (nano* NEAR4 Pol?amidoamin*) or (nano* NEAR4 PAMAM) or (nano* NEAR4 pol?prop?lenoimin*) or (nano* NEAR4 PPI) or nanoliposom* or (nano* NEAR4 liposom*) or NPL or LNP or SLN or nanolipid* or (nano* NEAR4 lipid*) or NLC or (nano* NEAR4 micelle*) or (nano* NEAR4 micela*) or (nano* NEAR4 surfactant*) or (nano* NEAR4 surfatante*) or (nano* NEAR4 polissacarid*) or (nano* NEAR4 polysaccharide*) or (nano* NEAR4 algin*) or c?clodextrin* or c?clomaltose* or c?cloam?lose* or (nano* NEAR4 cellul*) or (nano* NEAR4 lignocellul*) or nanocellul* or (nano* NEAR4 celulo*) or nanocellul* or nano?hitosan or (nano* NEAR4 ?uitosan*) or (nano* NEAR4 gelatin*) or (nano* NEAR4 albumin*) or (nano* NEAR4 collagen) or (nano* NEAR4 colageno) or (nano* NEAR4 protamin*) or (nano* NEAR4 emuls*) or (nano* NEAR4 elastomer*) or (nano* NEAR4 borracha*) or (nano* NEAR4</p>	<p>A61K 9/1652 A61K 9/286* A61K 9/5123 A61K 9/513* A61K 9/5146 A61K 9/153 A61K 9/516* A61K 9/5176 A61K 2039/55555 A61K 47/6907 A61K 47/6909 A61K 47 693* A61K 49/0078 A61K 51/122*</p>	<p>B12-M10E1 B12-M11Q2 C12-M10E1 C12-M11Q2</p>



CATEGORIAS	PALAVRAS-CHAVE	CLASSIFICAÇÃO IPC/CPC	MANUAL-CODES
	rubber*) or (nano* NEAR4 silicone) or nanosilicone NOT (nano* NEAR10 composite) or (nano* NEAR10 composito) or nanocomposite or nanocomposito		
Nano Biomateriais: anticorpos; proteínas; e ácidos nucleicos	nanoantibod* or nanobod* or (nano* NEAR4 antibod*) or nanoanticorpo* or (nano* NEAR4 anticorpo*) or nanoenz?m*or (nano* NEAR4 enz?m*) or nanoprotein* or (nano* NEAR4 protein*) or nanopeptide* or (nano* NEAR4 peptide*) or (nano* NEAR4 antigen*) or VLP or "virus like particle" or (nano* NEAR3 *nucleic* NEAR3 acid*) or (DNA NEAR2 origami) or (nano* NEAR4 DNA*) or (nano* NEAR4 RNA*) or ("DNA switches") or (nano* NEAR4 antibiotic*) NOT (nano* NEAR10 composite) or (nano* NEAR10 composito) or nanocomposite or nanocomposito	A61K 9/5184 B82Y 5/00	
Nanocompósitos	(nano* NEAR10 composite) or (nano* NEAR10 composito) or nanocomposite or nanocomposito	B82Y 30/00	

6.2.3 Construção de um *dashboard* com os dados do Radar Tecnológico

Os principais resultados aqui apresentados foram compilados e estão disponibilizados no formato de *Dashboard* interativo, utilizando a ferramenta PowerBI®, possibilitando que sejam selecionados os pedidos de interesse de acordo com diferentes parâmetros como, por exemplo, data de depósito, país do depositante, campo de aplicação e tipo de nanomaterial utilizado na invenção. Os dados bibliográficos dos pedidos de interesse podem ser baixados no formato Excel. [Acesse aqui](#) o *dashboard*.