



TENDÊNCIAS EMERGENTES NA INTEGRAÇÃO DE BIOMATERIAIS POLIMÉRICOS EM SENSORES BIOMÉDICOS INTELIGENTES

Yvo Borges da Silva – yvoborgess@gmail.com

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE MATERIAIS E PROCESSOS INDUSTRIAIS- INSTITUTO
FEDERAL DO PIAUÍ

Alysson Milton Evangelista Rodrigues - alyssonmel@hotmail.com

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE MATERIAIS E PROCESSOS INDUSTRIAIS- INSTITUTO
FEDERAL DO PIAUÍ

Maria Josimeire Oliveira Cantuario - josycantuario@gmail.com

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE MATERIAIS E PROCESSOS INDUSTRIAIS- INSTITUTO
FEDERAL DO PIAUÍ

Milena de Oliveira Portela - milenaportela50@gmail.com

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE MATERIAIS E PROCESSOS INDUSTRIAIS- INSTITUTO
FEDERAL DO PIAUÍ

Rafael Sales Almendra – rafael.almendra@ifpi.edu.br

PROFESSOR DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE MATERIAIS E PROCESSOS INDUSTRIAIS - INSTITUTO
FEDERAL DO PIAUÍ

Resumo: A crescente versatilidade dos biomateriais poliméricos, impulsionada por avanços em técnicas de processamento como eletrospinning, fiação por sopro, formação de filmes e impressão 3D, tem fomentado sua aplicação em áreas de alta tecnologia, como os sensores biomédicos inteligentes. O artigo tem como objetivo geral prospectar as tendências emergentes na integração de biomateriais poliméricos em sensores biomédicos inteligentes, destacando avanços tecnológicos, potencialidades e desafios associados a essa convergência interdisciplinar. A metodologia empregada caracteriza-se por uma pesquisa de cunho descritivo, quantitativo e documental que, por meio da análise de documentos de patentes na base Patentscope da World Intellectual Property Organization (WIPO) revelou uma tendência de crescimento nos depósitos de patentes sobre as temáticas no período compreendido entre os anos 2000 e 2024. Os resultados indicam que o ecossistema de inovação está direcionado ao desenvolvimento de tecnologias voltadas para a área da saúde, com destaque para avanços em medicina regenerativa, diagnósticos mais precisos e sistemas inteligentes para administrar medicamentos.

Palavras-chaves: Biomateriais; Sensores Inteligentes; Monitoramento Fisiológico; Bioeletrônicos.

Abstract: The growing versatility of polymeric biomaterials, driven by advances in processing techniques such as electrospinning, blow spinning, film formation, and 3D printing, has fostered their application in high-tech fields such as smart biomedical sensors. This article aims to explore emerging trends in the integration of polymeric biomaterials into smart biomedical sensors, highlighting technological advances, potential, and challenges associated with this interdisciplinary convergence. The methodology employed is characterized by descriptive, quantitative, and documentary research that, through the analysis of patent documents in the World Intellectual Property Organization (WIPO) Patentscope database, revealed a growing trend in patent filings on these topics between 2000 and 2024. The results indicate that the innovation ecosystem is focused on the development of technologies for the healthcare sector, with emphasis on advances in regenerative medicine, more accurate diagnostics, and intelligent drug delivery systems.

Keywords: Biomaterials; Smart Sensors; Physiological Monitoring; Bioelectronics.

1 INTRODUÇÃO

Biomateriais são compostos de origem natural ou produzidos artificialmente, desenvolvidos para interagir com organismos vivos com o propósito de promover a recuperação, a melhoria ou a substituição de tecidos, órgãos ou funções biológicas danificadas (Guastaldi et al., 2010).

Esses materiais são caracterizados pela biocompatibilidade, ou seja, pela capacidade de desempenhar suas funções sem provocar reações inflamatórias, infecciosas ou alérgicas indesejadas, além disso, possuem propriedades físicas e biológicas que devem ser compatíveis com o organismo hospedeiro, permitindo sua integração, de forma parcial ou total, aos sistemas biológicos (Paschoal, 2002).

A utilização de biomateriais remonta à antiguidade, com registros históricos de aplicações como suturas feitas a partir de tendões de animais, no entanto, o desenvolvimento científico e tecnológico impulsionou esse campo, levando à criação de novos materiais e dispositivos aplicados em diagnósticos, vacinas, cirurgias e terapias, com o objetivo de melhorar a qualidade de vida dos indivíduos (Gomes, 2016).

Nas últimas décadas, a área de biomateriais destacou-se no cenário econômico e tecnológico global, movimentando volumes expressivos de recursos financeiros e apresentando uma vasta gama de produtos comercializados, esse dinamismo é impulsionado pela crescente demanda por soluções inovadoras nas áreas médica, odontológica e de engenharia de tecidos, consolidando-se como um setor estratégico e em constante expansão (Pires et al., 2015).

Dentre os avanços relevantes, destacam-se os materiais biodegradáveis e biorreabsorvíveis, que possuem a capacidade de se decompor de forma natural no organismo, gerando subprodutos atóxicos que são eliminados ou metabolizados. Essa degradação ocorre, principalmente, por processos de hidrólise ou por ação enzimática, favorecendo aplicações clínicas em que se busca evitar a necessidade de remoção cirúrgica do material após a sua função terapêutica (Maia et al., 2010).

A crescente versatilidade dos biomateriais poliméricos, evidenciada pelos recentes avanços nas técnicas de processamento como eletrofiação, fiação por sopro, formação de filmes e impressão 3D, tem impulsionado a sua aplicação em áreas de alta tecnologia, como os sensores biomédicos inteligentes.

Conforme destacado por Bernardo et al. (2021), a possibilidade de modulação das propriedades físico-químicas, mecânicas e biológicas desses polímeros, bem como a incorporação de funcionalidades específicas por meio de processos de nanomodificação, posiciona esses materiais como componentes-chave no desenvolvimento de dispositivos sensoriais avançados.

A elevada razão superfície-volume, aliada à biocompatibilidade e à capacidade de resposta a estímulos externos, como campo elétrico, luz ou temperatura, tornam os biomateriais poliméricos ideais para integrar sistemas inteligentes de monitoramento fisiológico, diagnóstico precoce e terapias personalizadas, consolidando-se como uma tendência emergente na bioengenharia de sensores.

Nesse contexto, o presente artigo tem como objetivo prospectar as principais tendências emergentes na integração de biomateriais poliméricos em sensores biomédicos inteligentes, destacando avanços tecnológicos, potencialidades e desafios associados a essa convergência interdisciplinar. Busca-se identificar as inovações relevantes no desenvolvimento de polímeros funcionalizados e biodegradáveis, bem como suas aplicações em sistemas de monitoramento fisiológico, diagnóstico precoce e terapias personalizadas.

Esta tem como relevância oferecer um panorama atual no campo biomédico, oferecendo uma avaliação crítica e contemporânea, possibilitando o direcionamento de pesquisas, investimentos e o desenvolvimento de soluções biomédicas inovadoras no futuro.

2 METODOLOGIA

O estudo é caracterizado por ser uma pesquisa de cunho descritivo, quantitativo e documental, cujo objetivo é mapear o estado da técnica acerca da integração de biomateriais poliméricos em sensores



biomédicos inteligentes. A abordagem quantitativa está relacionada à aplicação de técnicas de quantificação tanto na coleta quanto na análise dos dados, enquanto o caráter documental decorre do uso de fontes primárias institucionais, como bases de dados tecnológicas e de patentes.

A prospecção tecnológica foi realizada por meio da análise de documentos de patentes, a fim de identificar tendências, principais depositantes, países com maior número de registros, classificações internacionais de patentes (CIP) predominantes e tecnologias emergentes associadas ao tema. As etapas da pesquisa são apresentadas na Figura 1.

Figura 1 - Etapas para o desenvolvimento da prospecção tecnológica.



Fonte: Elaborada pelos autores (2025)

A base de patentes selecionada para esta prospecção foi a Patentscope da *World Intellectual Property Organization* (WIPO). Essa base oferece acesso a milhões de documentos de patentes depositados em diversos países, cobrindo tanto coleções internacionais (via Tratado de Cooperação em Matéria de Patentes – PCT) quanto bases nacionais, garantindo assim uma visão global da inovação tecnológica.

As buscas foram realizadas em 24 de junho de 2025, utilizando-se palavras-chave específicas relacionadas ao tema de interesse, tais como: biomateriais, bioeletrônicos, monitoramento fisiológico e sensores inteligentes. Para tanto, foi aplicado o operador booleano (“AND”), resultando na seguinte busca: *(biomaterials AND smart sensors AND bioelectronics AND physiological monitoring)*.

Para fins desta análise prospectiva, foi adotado o intervalo compreendido entre os anos de 2000 a 2024 como lapso temporal. A escolha desse período justifica-se pela sua representatividade na evolução das tecnologias emergentes em biomateriais, bioeletrônicos, sensores inteligentes e sistemas de monitoramento fisiológico. A partir dos anos 2000, observa-se o início da consolidação da nanotecnologia aplicada à biomedicina e o surgimento de novos materiais bioativos.

O recorte inclui ainda o período pós-pandêmico (2020–2024), caracterizado pelo crescimento da demanda por tecnologias não invasivas, soluções de saúde remota e dispositivos autodiagnósticos, impulsionados por investimentos públicos e privados. Dessa forma, o intervalo escolhido contempla marcos tecnológicos, inflexões inovadoras e o amadurecimento de plataformas relevantes para o desenvolvimento de soluções biomédicas inteligentes.

A busca foi realizada na interface WIPO PATENTSCOPE, utilizando-se o editor avançado com sintaxe por campo. Os termos foram aplicados aos campos título (TI), resumo (AB) e reivindicações (CL). A string exata utilizada foi:

“(TI:(biomaterials) OR AB:(biomaterials) OR CL:(biomaterials))

AND

(TI:(smart sensors) OR AB:(smart sensors) OR CL:(smart sensors))

AND

(TI:(bioelectronics) OR AB:(bioelectronics) OR CL:(bioelectronics))

AND

(TI:(physiological monitoring) OR AB:(physiological monitoring) OR CL:(physiological monitoring))”

A faixa de data de publicação foi definida de 01-jan-2000 até 31-dez-2024, configurada no filtro

“Publication date” da interface. A busca foi executada em 24 de junho de 2025. Os resultados foram exportados em formato CSV, incluindo os campos: número de publicação, título, resumo, número e data de prioridade, data de publicação, depositante, inventores, IPC/CPC, family ID (INPADOC), status legal.

Para remoção de duplicatas, os registros foram agrupados por family ID (INPADOC), mantendo-se apenas o documento com a data de prioridade mais antiga dentro de cada família, como representante. Registros sem family ID foram avaliados por número de prioridade; se não disponível, realizou-se correspondência exata de título e resumo, seguida de verificação manual para identificar duplicatas. Quanto aos pedidos PCT (WO), foi mantido apenas o documento internacional (WO) como representante da família, descartando as fases nacionais — salvo aqueles necessários para análise de cobertura geográfica ou status legal. Este procedimento assegura que o conjunto final reflita invenções únicas, evitando duplicação por depósitos múltiplos em diferentes jurisdições.

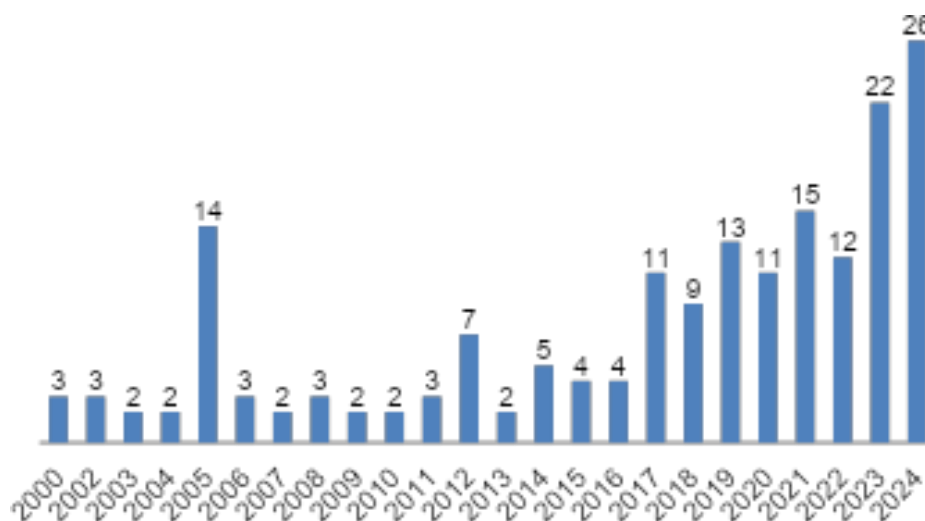
A consulta resultou num total de 180 documentos de patentes, dos quais foram extraídos dados que foram organizados em planilhas eletrônicas, onde se aplicaram análises para obter variáveis como distribuição de depósitos por base, frequência de termos por base, país de origem dos registros, tipologia dos depositantes e principais códigos de CIPs identificados. Utilizou-se também o *software* R para criação do *heatmap* de Distribuição internacional de pedidos de patente por classes CIP.

3 RESULTADOS

A análise dos dados evidenciou o panorama tecnológico relacionado aos temas biomateriais, bioeletrônicos, monitoramento fisiológico e sensores inteligentes. O mapeamento por palavras-chave revela expressiva produção internacional nas áreas analisadas. “Biomateriais” e “Sensores inteligentes” destacam-se pela elevada incidência de registros na base WIPO, com 132.854 e 885.382 documentos, respectivamente, evidenciando ampla difusão tecnológica. Os termos “Bioeletrônico” e “Monitoramento fisiológico” também concentram-se majoritariamente no cenário global, com números significativamente superiores nas bases internacionais em comparação ao INPI, reforçando a internacionalização da inovação nessas áreas.

A análise da distribuição anual dos depósitos de patentes entre os anos de 2000 e 2024 revela uma tendência geral de crescimento, apesar de variações pontuais ao longo do período, conforme é possível ver na Figura 1.

Figura 1 – Quantidade de patentes depositadas por ano.



Fonte: Dados da pesquisa (2025)

Da Figura 1, depreende-se que entre 2000 e 2010, os depósitos de patentes foram baixos e estáveis, com um pico em 2005. A partir de 2011, houve um crescimento gradual, intensificado em 2017. Os anos mais ativos referentes aos pedidos de registro foram entre os anos de 2021 e 2024. Este aumento pode estar relacionado a uma convergência de fatores científicos, econômicos e sociais.

Em primeiro lugar, a pandemia de COVID-19 atuou como importante catalisador da inovação, ao impulsionar a busca por dispositivos vestíveis, tecnologias de diagnóstico remoto e soluções digitais voltadas à saúde personalizada. A necessidade de monitoramento contínuo e não invasivo levou ao desenvolvimento de sensores integrados e sistemas bioeletrônicos adaptáveis.

Paralelamente, a popularização da eletrônica flexível e a evolução de interfaces biomédicas permitiram avanços significativos na criação de materiais biocompatíveis e sensores inteligentes. O período também foi marcado pela incorporação de inteligência artificial embarcada, possibilitando o processamento em tempo real de sinais fisiológicos e a tomada de decisão automatizada em ambientes clínicos.

Outro fator relevante foi a ampliação de recursos financeiros destinados à pesquisa e desenvolvimento, tanto por meio de políticas públicas quanto por investimentos privados. Editais específicos de agências internacionais, fundos de venture capital e programas governamentais fomentaram projetos interdisciplinares voltados para soluções e dispositivos médicos inovadores.

A Figura 2 apresenta a distribuição das patentes identificadas conforme a Classificação Internacional de Patentes (CIP), permitindo uma análise quantitativa das áreas tecnológicas predominantes na interface entre biomateriais, bioeletrônica, monitoramento fisiológico e sensores inteligentes.

A Figura 2 apresenta a distribuição das patentes relacionadas ao tema, segundo a Classificação Internacional de Patentes (CIP). Observa-se que a categoria C12N, que abrange invenções no campo da biotecnologia e engenharia genética, representa a maior concentração de registros, totalizando 21 patentes. Esse resultado sugere o avanço de soluções voltadas à manipulação celular, terapias personalizadas e sistemas biocompatíveis, com forte ênfase em aplicações médicas de base biológica.

Figura 2 - Distribuição segundo a Classificação Internacional de Patentes (CIP).



Fonte: Dados da pesquisa (2025)

Em seguida, destaca-se a classificação A81B (instrumentos cirúrgicos) com 20 registros, indicando a relevância de inovações voltadas ao setor médico. Esse achado aponta para a crescente importância de instrumentos e dispositivos cirúrgicos, especialmente aqueles que incorporam elementos inteligentes, como sensores integrados e dispositivos minimamente invasivos, sugerindo uma convergência entre biotecnologia e engenharia médica, voltada à melhoria da precisão diagnóstica, da eficiência cirúrgica e da personalização do tratamento clínico.

A presença de patentes nas classes A61B (diagnóstico) e A61K (preparações medicinais), com doze registros cada, e na classe G01N (análise de materiais), com dez registros, evidencia uma forte orientação das inovações tecnológicas para o setor da saúde. Esses registros indicam um foco significativo no desenvolvimento de soluções voltadas à detecção, tratamento e monitoramento de condições fisiológicas e patológicas, refletindo o esforço contínuo para aprimorar a eficácia diagnóstica, terapêutica e analítica por meio de tecnologias avançadas.

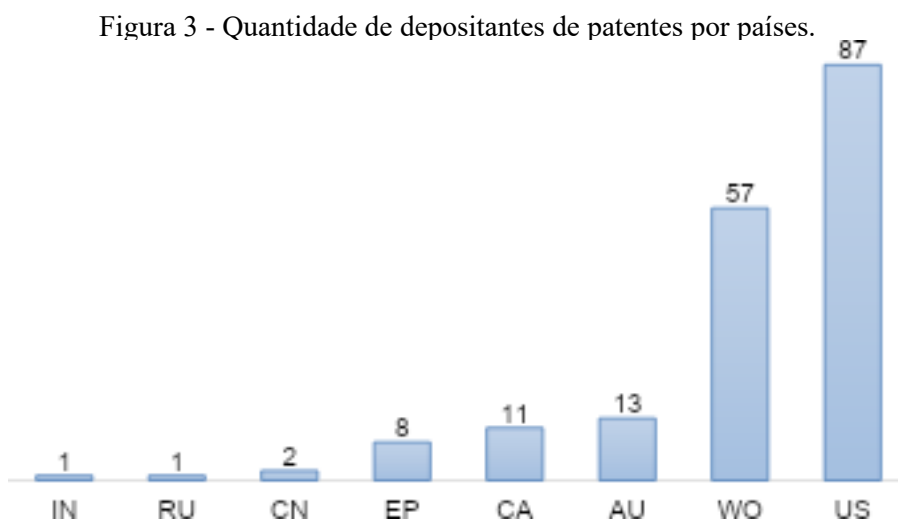
No tocante à classe A61B é possível dizer que há interesse no desenvolvimento de dispositivos e métodos voltados ao diagnóstico médico, como sensores inteligentes, tecnologias vestíveis (*wearables*) e sistemas de imageamento ou monitoramento contínuo. Isso sugere que os avanços tecnológicos estão sendo direcionados para melhorar a precisão, a rapidez e a personalização dos diagnósticos clínicos.

A classe A61K, por sua vez, aponta para a relevância de preparações medicinais e sistemas de liberação de fármacos, indicando que muitas das inovações patenteadas buscam viabilizar novos modos de administração de substâncias terapêuticas, com destaque para formulações bioativas, dispositivos implantáveis e integração com biomateriais.

Já a classe G01N, centrada na análise de materiais, reforça a presença de tecnologias destinadas à detecção de componentes químicos ou biológicos, muitas vezes associadas a sensores e plataformas de bioanálise. Isso sugere um investimento contínuo em métodos de caracterização de substâncias, monitoramento in situ e respostas em tempo real, elementos fundamentais para aplicações em saúde, meio ambiente e controle de qualidade.

É importante destacar a categoria “Outras classificações”, que concentra 105 registros dispersos em diferentes subclasses, o que reforça a multidisciplinaridade do tema analisado. Esses dados apontam para uma predominância de desenvolvimentos tecnológicos em áreas relacionadas à biotecnologia, saúde e ciências da vida, indicando o direcionamento das inovações protegidas por patentes nesse campo específico.

A Figura 3 apresenta a distribuição geográfica dos depósitos de patentes relacionadas à integração de biomateriais poliméricos em sensores biomédicos inteligentes, com base nas palavras-chave elencadas para a consulta à base de dados Patentscope.



Fonte: Dados da pesquisa (2025)

Da Figura 3 nota-se que a distribuição dos depósitos de patentes concentra-se principalmente nos Estados Unidos, com 87 registros, refletindo alto investimento em pesquisa e um ambiente favorável à proteção intelectual. Em seguida, o código WO, referente ao sistema internacional PCT, conta com 57 registros, indicando a busca por proteção em múltiplos países.

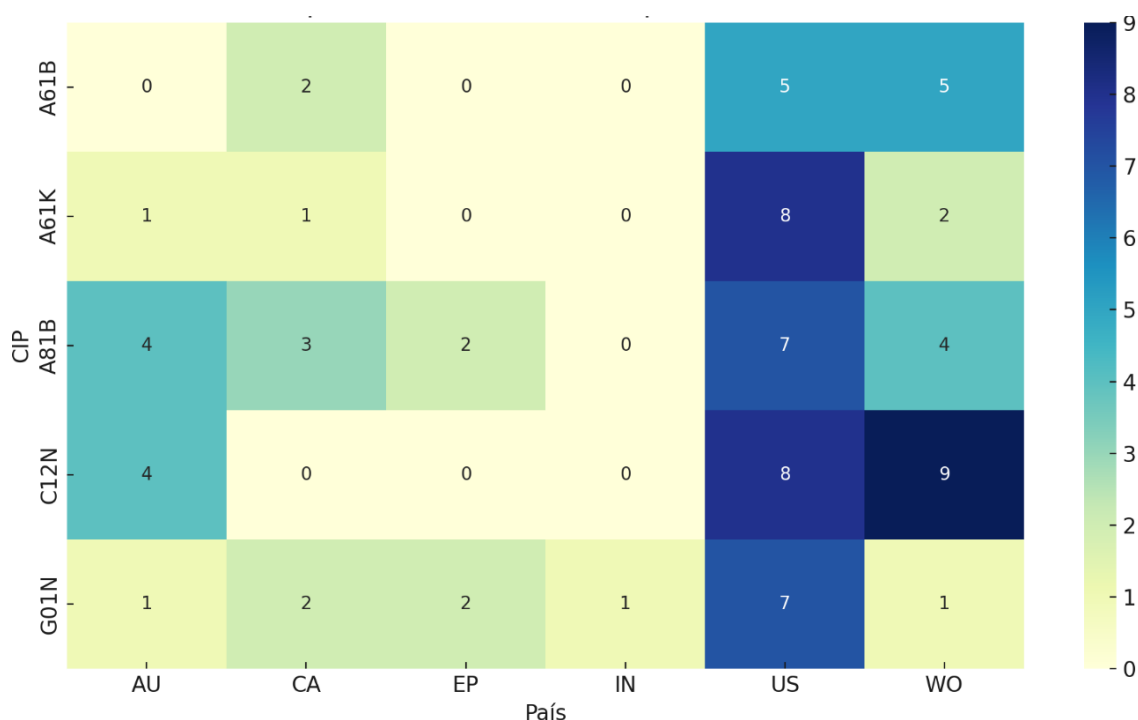
Outros países também podem ser destacados: Austrália (13), Canadá (11), Escritório Europeu de Patentes (8), China (2) e Índia e Rússia com 1 patente cada.

Essa distribuição evidencia uma concentração das atividades de pesquisa e desenvolvimento nos países desenvolvidos, com ênfase nas regiões com tradição em biotecnologia, engenharia de materiais e saúde digital. O resultado também sugere que o tema vem sendo tratado em escala global com um viés estratégico de proteção internacional, refletido pelo expressivo número de pedidos via PCT (WO). Essa tendência revela a crescente importância da aplicação de biomateriais poliméricos na construção de dispositivos biomédicos inteligentes voltados ao monitoramento fisiológico, bem como a competitividade tecnológica acirrada nesse domínio, especialmente entre centros de inovação da América do Norte e da Oceania. A distribuição mostra que a maioria das patentes está concentrada em países com maior infraestrutura tecnológica e sistemas consolidados de proteção intelectual.

A participação menor de China, Índia e Rússia pode refletir prioridades estratégicas, barreiras linguísticas ou foco em registros locais e outras formas de divulgação, como artigos científicos. A baixa presença de países emergentes destaca a necessidade de políticas públicas que incentivem a inovação e o uso do sistema de patentes.

A Figura 4 apresenta a distribuição de pedidos de patente por país, considerando as classes da Classificação Internacional de Patentes (CIP).

Figura 4 - Distribuição internacional de pedidos de patente por classes CIP.



Fonte: Dados da pesquisa (2025)

Da Figura 4, ressalta-se que as classes apresentadas foram selecionadas por sua relevância nas áreas de biotecnologia, dispositivos médicos, produtos farmacêuticos, equipamentos de diagnóstico e tecnologias correlatas, bem como leva em consideração a Figura 2, analisada anteriormente, mantendo-se um padrão de análise.

A Figura 4 ilustra a frequência de ocorrências dessas classes em diferentes jurisdições — incluindo Austrália (AU), Canadá (CA), Escritório Europeu de Patentes (EP), Índia (IN), Estados Unidos (US) e

Tratado de Cooperação em Matéria de Patentes (WO) — evidenciando padrões de concentração geográfica e especialização tecnológica. Essa visualização permite identificar mercados mais ativos e potenciais regiões estratégicas para inovação e proteção intelectual.

A análise da Figura 4 revela que os Estados Unidos (US) apresentam a maior concentração de depósitos em todas as classes CIP, com destaque para C12N (biotecnologia) e A61K (preparações para fins médicos ou cosméticos), o que sugere forte atividade inovadora e investimento em pesquisa nessas áreas. O WO, administrado pela OMPI (Organização Mundial da Propriedade Intelectual / WIPO, que representa depósitos internacionais, também se destaca, especialmente em C12N, indicando interesse em proteger inovações globalmente desde as fases iniciais. O A81B (instrumentos para perfuração ou penetração) apresenta uma distribuição equilibrada, com presença significativa na Austrália e Canadá, mas ainda com predominância no mercado norte-americano. Já G01N (investigação ou análise de materiais) mantém presença relevante nos Estados Unidos e EP (Escritório Europeu de Patentes – EPO), refletindo sua importância em processos de controle de qualidade e diagnóstico. Por fim, a Índia e o Escritório Europeu apresentam baixa participação relativa na maioria das classes, sugerindo que o foco das inovações nesses CIPs permanece concentrado em mercados maduros e de alta competitividade tecnológica.

A análise dos dados evidenciou o panorama tecnológico relacionado aos temas biomateriais, bioeletrônicos, monitoramento fisiológico e sensores inteligentes. O mapeamento por palavras-chave revela expressiva produção internacional nas áreas analisadas. “Biomateriais” e “Sensores inteligentes” destacam-se pela elevada incidência de registros no universo global da base WIPO, com 132.854 e 885.382 documentos, respectivamente, demonstrando ampla difusão tecnológica. Esses números refletem o universo total de registros que contêm os termos, não devendo ser confundidos com o conjunto filtrado de análise prospectiva (180 documentos). Para a etapa de análise tecnológica, foram considerados apenas os 180 documentos resultantes da aplicação dos filtros de data, campos e combinações booleanas descritos na metodologia.

A distribuição por classes da Classificação Internacional de Patentes (CIP) para esse conjunto filtrado encontra-se representada na Figura 2. Destacam-se as classes C12N (Biotecnologia e engenharia genética) com 21 documentos, A81B (Instrumentos para perfuração ou penetração, inclusive aplicações cirúrgicas) com 20 documentos, A61B (Diagnóstico; instrumentos e dispositivos médicos) com 12 documentos, A61K (Preparações medicinais para finalidades médicas ou odontológicas) também com 12 documentos, e G01N (Investigação ou análise de materiais) com 10 documentos. Os demais 105 documentos encontram-se distribuídos entre outras subclasses diversas, consolidados na categoria “Outras classificações”, garantindo que a soma total de registros por classes corresponda aos 180 documentos analisados.

Diante do exposto, pode-se mencionar que existe concentração geográfica da atividade inovadora, reforçando a necessidade de políticas públicas e estratégias empresariais para que outros mercados ampliem sua participação e capacidade de competir nessas áreas tecnológicas estratégicas.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo evidenciou o avanço na integração de biomateriais poliméricos em sensores biomédicos inteligentes, apontando não apenas tendências tecnológicas emergentes, mas também implicações estratégicas para a inovação em saúde. O mapeamento realizado demonstra que a convergência entre biocompatibilidade, funcionalização molecular e eletrônica embarcada representa um caminho promissor para o desenvolvimento de dispositivos médicos mais eficientes, personalizados e sustentáveis.

Os resultados reforçam a ideia de que o ecossistema de inovação neste domínio está orientado para soluções tecnológicas aplicadas à saúde, impulsionando avanços em medicina regenerativa, diagnóstico de



alta resolução e sistemas inteligentes de entrega de fármacos. Além disso, a diversidade de classificações complementares indica um campo interdisciplinar em expansão, que demanda o diálogo entre ciência dos materiais, biologia molecular e engenharia eletrônica. Ressalta-se que a liderança tecnológica e o volume de depósitos de patentes nas classes CIP estão concentrados em mercados desenvolvidos — especialmente nos Estados Unidos e no âmbito internacional via PCT (WO).

É válido mencionar também que os achados desta prospecção tecnológica revelam oportunidades concretas para organizações dos setores biomédico, farmacêutico e de engenharia de materiais, permitindo a criação de produtos com alto valor agregado, como sensores implantáveis e dispositivos vestíveis capazes de realizar diagnósticos em tempo real. Além disso, destaca-se o potencial de fortalecimento da competitividade por meio de investimentos em pesquisa aplicada, patentes internacionais e parcerias interdisciplinares que integrem conhecimentos de bioengenharia, nanotecnologia e inteligência artificial.

No âmbito acadêmico, este estudo oferece subsídios para pesquisas futuras que podem abranger desde modelos de produção escalável com propriedades ajustáveis dos biomateriais até avaliações clínicas de longo prazo, focando na segurança, estabilidade e interação dos sensores com tecidos biológicos. Também são sugeridos estudos comparativos internacionais sobre práticas regulatórias e estratégias de proteção intelectual, bem como investigações sobre a integração dos sensores com sistemas de inteligência artificial e Internet das Coisas, visando a criação de dispositivos com capacidade preditiva e monitoramento autônomo em ambientes clínicos ou domiciliares.

Dessa forma, este trabalho contribui não apenas para o avanço do conhecimento científico, mas também para a tomada de decisões estratégicas em nível organizacional, ressaltando a relevância da pesquisa contínua e colaborativa no campo dos biomateriais aplicados à saúde inteligente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BERNARDO, F. C. *et al.* Processamento e Aplicação de Biomateriais Poliméricos: Avanços Recentes e Perspectivas. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, v. 31, n. 3, p. e2021024, 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/po/a/fWgmJ7VXKnz7jRVrXzXBjht/>. Acesso em: 27 maio 2025.

GOMES, L. S. M. Biomateriais em Artroplastia de Quadril: Propriedades, Estrutura e Composição. São Paulo, 2016. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Luiz-Gomes-17/publication/309788298_Biomateriais_em_Artroplastia_de_Quadril_PropriedadesEstrutura_e_Composicao/links/582ae65508ae004f74af1ba8/Biomateriais-em-Artroplastia-de-Quadril-Propriedades-Estrutura-e-Composicao.pdf. Acesso em 23 mai. 2025.

GUASTALDI, A. C., APARECIDA, A. F. Fosfatos de cálcio de interesse biológico: importância como biomateriais, propriedades e métodos de obtenção de recobrimentos. *Quim Nova*, 2010.

MAIA, M., KLEIN, E. S., MONJE, T. V., PAGLIOSA, C. Reconstrução da estrutura facial por biomateriais: revisão de literatura. *Rev. Bras. Cir. Plást.* 2010; 25(3): 566-72. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcp/a/RZ3FDgpTL7VXc55rGQW9dWk/>. Acesso em: 24 de maio. 2024.

MUÑOZ, I. S. S., LIMA, C. J., MARDEGAN, D., PACHECO, A. L. TESTE DE BIOCOMPATIBILIDADE DO ADESIVO A BASE DE EPÓXI EM ANIMAIS DE LABORATÓRIO. Universidade do Vale do Paraíba - UNIVAP, 2005.

PIRES, A. L. R., BIERHALZ, A. C. K., MORAES, A. M. BIOMATERIAIS: TIPOS, APLICAÇÕES E MERCADO. *Quim. Nova*, Vol. 38, No. 7, 957-971, 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/th7gjVpvdpthnctYbhtFznN/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 24 de mai. 2025.