



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO SOCIOECONÔMICO
DEPARTAMENTO DE ECONOMIA E RELAÇÕES INTERNACIONAIS
CURSO DE RELAÇÕES INTERNACIONAIS

Giovanna Pimentel Marcondes Castro Ferreira

Inovação e nanotecnologia: panorama global e a posição do Brasil e do México

Florianópolis

2024

Giovanna Pimentel Marcondes Castro Ferreira

Inovação e nanotecnologia: panorama global e a posição do Brasil e do México

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao curso de Relações Internacionais do Centro Socioeconômico da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharela em Relações Internacionais.

Orientador(a): Prof. Gilson Geraldino da Silva Júnior, Dr.

Florianópolis

2024

Ficha de identificação da obra elaborada pela autora, através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Ferreira, Giovanna Pimentel Marcondes Castro
Inovação e nanotecnologia : panorama global e a posição do Brasil e do México / Giovanna Pimentel Marcondes Castro Ferreira ; orientador, Gilson Geraldino da Silva Júnior, 2024.
57 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Socioeconômico, Graduação em Relações Internacionais, Florianópolis, 2024.

Inclui referências.

1. Relações Internacionais. 2. Nanotecnologia. 3. Inovação. 4. Brasil. 5. México. I. Júnior, Gilson Geraldino da Silva. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Relações Internacionais. III. Título.

Giovanna Pimentel Marcondes Castro Ferreira

Inovação e nanotecnologia: panorama global e a posição do Brasil e do México

O presente Trabalho de Conclusão de Curso foi avaliado e aprovado pela banca examinadora composta pelos seguintes membros.

Prof. Bruno de Souza Cavalcante, Dr.
Universidade Federal do Amazonas

Prof. Klaus Guimarães Dalgaard, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Gilson Geraldino da Silva Júnior, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Certifico que esta é a **versão original e final** do Trabalho de Conclusão de Curso que foi julgado adequado para obtenção do título de Bacharel em Relações Internacionais por mim e pelos demais membros da banca examinadora.

Prof. Gilson Geraldino da Silva Júnior, Dr.
Orientador

Florianópolis, 2024.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha avó Ana Maria, que me ensinou o amor pela leitura, e ao meu avô Luiz Gonzaga, que me mostrou o amor pela vida. Ao meu pai Gabriel, que me ensinou a amar os outros como se fossem parte de mim, e ao meu irmão João Gabriel, que me ensinou a compartilhar o amor. À minha mãe Renata, que me ensinou sobre amor, renúncia, vida e tudo mais que o mundo pode oferecer. Sem vocês, eu não estaria aqui hoje e não seria nada.

Às minhas amigas de casa, que me deram forças para deixar minha vida em Mogi e buscar um novo começo em Florianópolis, e que me acolheram e apoiaram em São Paulo quando foi hora de voltar.

Ao meu grupo da graduação, nada disso seria possível sem o apoio de vocês. Obrigada por todas as festinhas, lanches no food truck e intermináveis conversas. Em especial à Renata e ao Marco, obrigada por me mostrar que eu tinha sim salvação para enfim me formar nesse curso. Vocês são o melhor que o curso me proporcionou.

A todos que fizeram parte da minha vida nos últimos anos, a caminhada foi longa e cheia de mudanças. Prioridades, ambientes, companhias, estilo de vida e até quem eu sou mudaram. Agradeço por tudo que passamos juntos, seja você parte de um pedaço ou de toda a jornada.

Aos meus queridos professores, obrigada por não soltarem a minha mão nos momentos de necessidade e por me fornecerem a base para a vida. Ao meu orientador, Gilson, obrigada por me receber mesmo no meio do meu desespero, por me guiar e por me ajudar a chegar até aqui.

Por último, à Universidade Federal de Santa Catarina. Foi um privilégio e uma honra estudar em uma universidade pública, gratuita e de qualidade. Meus aprendizados foram dentro e fora da sala de aula, conheci um novo mundo e nunca mais fui a mesma depois de pisar nos gramados do CSE pela primeira vez. Toda vez que volto à UFSC, sinto-me em casa. Obrigada!

RESUMO

A nanotecnologia representa uma fascinante fronteira da ciência e da inovação que nos permite explorar e controlar a matéria em uma escala na ordem dos nanômetros. Essa escala revela propriedades físicas singulares que se diferenciam das propriedades dos materiais em escalas maiores. A pesquisa na área envolve a visualização, medição, modelagem e manipulação de materiais de 1 a 100 nanômetros. Essa tecnologia emergente é uma das mais promissoras em termos socioeconômicos, vista como uma candidata a liderar a próxima revolução tecnológica, apesar de estar em sua fase inicial de desenvolvimento. Este trabalho visa entender o panorama global de inovação na nanotecnologia e comparar as agendas do Brasil e do México.

Palavras-chave: Nanotecnologia. Inovação. Brasil. México.

ABSTRACT

Nanotechnology stands for a fascinating frontier of science and innovation that allows us to explore and control matter at a microscopic scale on the order of nanometers. This scale reveals unique physical, chemical, and biological properties that differ from the properties of materials at larger scales. Research in the area involves the visualization, measurement, modeling, and manipulation of materials from 1 to 100 nanometers. This emerging technology is one of the most promising in socio-economic terms, seen as a candidate to lead the next technological revolution, although it is still in its early development stages. This work aims to understand the global panorama of innovation in nanotechnology and compare the agendas of Brazil and Mexico.

Keywords: Nanotechnology. Innovation. Brazil. Mexico.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
2 BRASIL E MÉXICO: CARACTERÍSTICAS SOCIOECONÔMICAS	13
3 BRASIL E MÉXICO: CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO.....	20
4 NANOTECNOLOGIA	29
5 CENÁRIO MUNDIAL EM NANOTECNOLOGIA.....	31
5.1 REGULAÇÃO EM NANOTECNOLOGIA.....	34
6 COMPARANDO AS AGENDAS DO BRASIL E DO MÉXICO EM NANOTECNOLOGIA.....	37
6.1 BRASIL E A NANOTECNOLOGIA.....	38
6.2 MÉXICO E A NANOTECNOLOGIA	39
6.3 COMPARANDO AS AGENDAS.....	40
7 CONCLUSÃO.....	43
REFERÊNCIAS.....	45

1 INTRODUÇÃO

A nanotecnologia representa uma fascinante fronteira da ciência e da inovação, que nos permite explorar e controlar a matéria em uma escala na ordem dos nanômetros. Essa escala revela propriedades físicas, químicas e biológicas singulares, que se diferenciam de forma notável das propriedades dos materiais em escalas maiores, como os átomos e moléculas (NNI, 2023). Essa vanguarda tecnológica abrange diversas disciplinas, como ciência, engenharia, química, biologia, física e ciência dos materiais. A pesquisa na área envolve a visualização, medição, modelagem e manipulação de materiais que se estendem de 1 a 100 nanômetros. Esta tecnologia emergente tem sido apontada como uma das mais promissoras em termos socioeconômicos e é vista como uma das principais candidatas a liderar a próxima revolução tecnológica, apesar de ainda estar em sua fase inicial de desenvolvimento (Barbosa; Bagattolli; Invernizzi, 2018).

De acordo com Ludeña (2008), a nanotecnologia trata da criação de estruturas e dispositivos que operam na escala atômica e molecular, onde um nanômetro corresponde a uma bilionésima parte de um metro. Nessa escala, as leis da física e da química tradicionais não se aplicam mais, e propriedades como cor, condutividade e reatividade podem assumir características surpreendentes e únicas. Isso abre um vasto leque de possibilidades, com a nanotecnologia oferecendo benefícios significativos nos domínios do conhecimento, da interação social e dos negócios (Ludeña, 2008). A nanotecnologia ainda está em um estágio inicial de desenvolvimento, mas já se evidenciou como uma tecnologia habilitadora de grande potencial. Isso ocorre porque ela impulsiona avanços em várias outras áreas tecnológicas.

A nanotecnologia é amplamente reconhecida como uma General Purpose Technology (Tecnologia de Uso Geral ou GPT) devido à sua capacidade de impactar uma ampla gama de setores e campos de conhecimento. As GPTs são tecnologias que têm o potencial de afetar de forma significativa a economia e a sociedade, impulsionando a inovação e o desenvolvimento em várias áreas, com histórico de inclusão, como eletrificação, automação e tecnologia da informação (Shea; Grinde; Elmslie, 2011). A nanotecnologia, nesse contexto, é categorizada como GPT devido à sua aplicabilidade abrangente e ao potencial transformador em diversas esferas. Em relação à eletrônica, a nanotecnologia apresenta a perspectiva de criar componentes

eletrônicos menores e mais eficientes, como transistores e chips, viabilizando dispositivos eletrônicos mais potentes e compactos. Na medicina, a nanotecnologia é fundamental para o desenvolvimento de sistemas de entrega de medicamentos direcionados, diagnósticos mais precisos e terapias avançadas, promovendo a emergência da nanomedicina. Além disso, a nanotecnologia exerce um papel crucial no setor energético, contribuindo para melhorar a eficiência dos painéis solares, o armazenamento de energia e o desenvolvimento de materiais avançados para baterias. No campo dos materiais, ela possibilita a criação de materiais com propriedades excepcionais, exemplificadas pelos nanotubos de carbono e o grafeno, que se destacam por sua resistência, condutividade e leveza. A aplicação da nanotecnologia também se estende ao setor ambiental, onde é empregada na purificação de água, tratamento de resíduos e monitoramento ambiental de poluentes, oferecendo soluções inovadoras para desafios ambientais contemporâneos. Na indústria, a nanotecnologia pode aprimorar a eficiência de processos de fabricação, criar materiais mais resistentes e leves, além de possibilitar o uso de sensores altamente sensíveis para controle de qualidade (Shea; Grinde; Elmslie, 2011).

Para este trabalho o objetivo é entender o panorama global de inovação em nanotecnologia e comparar as agendas do Brasil e do México. A escolha do Brasil e do México para este trabalho no contexto da nanotecnologia se justifica por serem as duas maiores economias da América Latina, com perfis econômicos distintos e desafios comuns que os posicionam estrategicamente na região. Enquanto o Brasil possui uma economia fortemente baseada em commodities, com destaque para sua capacidade de pesquisa científica em áreas como nanotecnologia aplicada à agricultura e saúde, o México apresenta uma economia mais diversificada e integrada às cadeias globais de valor, especialmente no setor manufatureiro. Ambos reconhecem a nanotecnologia como área estratégica, mas enfrentam obstáculos como investimentos inconsistentes em pesquisa e desenvolvimento (P&D) e burocracia regulatória. A análise desses países permite identificar abordagens complementares e explorar como suas políticas e estruturas econômicas podem contribuir para consolidar a liderança regional em tecnologias emergentes, atendendo à crescente demanda global por soluções nanotecnológicas inovadoras.

Para isso, propõe-se analisar o processo de regulação, as tendências, avanços e os principais atores envolvidos no desenvolvimento de nanotecnologias a

nível mundial. Além disso, busca-se identificar as políticas e estratégias de inovação em nanotecnologia implementadas no Brasil e no México, examinando planos, programas e iniciativas governamentais e privadas de ambos os países. Uma parte crucial do estudo é comparar as agendas de inovação em nanotecnologia entre Brasil e México, avaliando as semelhanças e diferenças nas abordagens adotadas por cada país no desenvolvimento e aplicação de nanotecnologias. Também será avaliado o impacto da nanotecnologia nos setores industriais e econômicos, tanto em âmbito global quanto específico para Brasil e México, para compreender como essa tecnologia está influenciando diferentes setores econômicos e industriais. Além disso, aborda as colaborações internacionais e regionais, investigando as parcerias, colaborações e redes de pesquisa que envolvem Brasil e México no contexto da nanotecnologia. Finalmente, pretende-se identificar os principais desafios enfrentados por Brasil e México na implementação e avanço da nanotecnologia, bem como mapear as oportunidades futuras que podem surgir nesse campo.

O trabalho visa analisar o cenário global em nanotecnologia e isso envolve examinar as tendências atuais, avanços tecnológicos e identificar os principais atores globais no desenvolvimento e aplicação dessa tecnologia. O estudo busca olhar para diversas regiões do mundo, permitindo um entendimento amplo de como a nanotecnologia está sendo integrada em diferentes contextos econômicos e sociais. A análise global fornecerá uma base sólida para comparações e permitirá identificar padrões e diferenças significativas no desenvolvimento de nanotecnologias.

Além disso, este trabalho se concentra em analisar o perfil tecnológico e a posição global do Brasil e do México no campo da nanotecnologia. Será avaliado como esses países estão posicionados em termos de inovação, investimentos, resultados de pesquisa e desenvolvimento. Isso incluirá uma avaliação das capacidades de inovação, dos recursos dedicados a pesquisas e dos resultados obtidos até agora. Ao comparar esses aspectos com outros líderes mundiais em nanotecnologia, será possível identificar pontos fortes e áreas que necessitam de melhorias. Por fim, será analisada a dependência tecnológica em nanotecnologia do Brasil e do México, identificando em quais áreas esses países dependem de tecnologias e conhecimentos externos.

A metodologia desta pesquisa é estruturada para abordar de forma abrangente o panorama global da nanotecnologia, com foco específico na

comparação entre as agendas de inovação do Brasil e do México. A pesquisa busca gerar conhecimentos aplicáveis à solução de problemas específicos relacionados à nanotecnologia. Será conduzida de forma exploratória, visando proporcionar maior familiaridade com o fenômeno investigado, permitindo o desenvolvimento, esclarecimento e modificação de conceitos e ideias para estudos posteriores. A abordagem adotada é qualitativa, baseada em uma extensa pesquisa bibliográfica que envolverá a revisão de artigos acadêmicos, livros e documentos relevantes ao tema. Este método permitirá uma compreensão aprofundada e detalhada dos conceitos, teorias e práticas associadas à nanotecnologia, bem como das políticas e estratégias de inovação dos países em foco. De antemão será apresentado o conceito de nanotecnologia, explorando sua origem, fundamentos teóricos e aplicações práticas em diversos setores. Esta seção fornecerá a base necessária para o entendimento das discussões subsequentes. A pesquisa examinará os países líderes em nanotecnologia, analisando suas agendas de inovação, estratégias de desenvolvimento e os principais avanços alcançados. Será dada atenção especial ao acordo TRIPS (Trade-Related Aspects of Intellectual Property Rights) e à regulação da nanotecnologia em uma perspectiva global.

A próxima etapa envolverá a comparação entre Brasil e México. Serão analisados os perfis econômicos e tecnológicos de ambos os países, sua posição global no campo da nanotecnologia e sua dependência tecnológica. Esta análise incluirá políticas governamentais, investimentos em pesquisa e desenvolvimento, e resultados obtidos em termos de inovação e aplicação de nanotecnologia. Na conclusão, será feita uma avaliação do atingimento dos objetivos gerais e específicos da pesquisa. Serão discutidos os principais achados e as implicações para futuros estudos e práticas na área de nanotecnologia. A coleta de dados será realizada através de uma revisão bibliográfica sistemática, englobando artigos científicos e acadêmicos publicados em revistas, livros especializados em nanotecnologia e inovação tecnológica, documentos governamentais, relatórios de políticas públicas e estratégias de inovação, além de publicações de organizações internacionais sobre regulação e desenvolvimento de nanotecnologia. Os dados coletados serão analisados qualitativamente, utilizando técnicas de análise de conteúdo para identificar padrões, tendências e relações relevantes entre os diferentes aspectos investigados. Esta análise permitirá uma compreensão profunda das dinâmicas

envolvidas na inovação em nanotecnologia e das especificidades dos contextos brasileiro e mexicano.

2 BRASIL E MÉXICO: CARACTERÍSTICAS SOCIOECONÔMICAS

Brasil e México, as duas maiores economias da América Latina, possuem perfis econômicos marcadamente distintos, embora compartilhem desafios comuns, como desigualdade social, dependência de mercados externos e dificuldades em inovar (Flores Paredes et al., 2011). O Brasil, conhecido por ser uma das maiores economias emergentes do mundo, tem sua base econômica fortemente atrelada às commodities. Produtos como minério de ferro, soja, carne bovina e petróleo figuram como as principais exportações do país. O crescimento do Brasil nos últimos anos foi impulsionado por essas riquezas naturais, mas a dependência de commodities também torna a economia vulnerável a flutuações nos preços internacionais desses produtos. Em contrapartida, o México apresenta uma economia mais diversificada, com grande ênfase no setor manufatureiro, especialmente na produção de automóveis, eletrônicos e peças de máquinas. O país também se beneficia de sua proximidade com os Estados Unidos, seu maior parceiro comercial, o que fortalece ainda mais sua indústria de exportação.

O Acordo Estados Unidos-México-Canadá (USMCA), que substituiu o NAFTA, representa um dos principais pilares econômicos do México, permitindo que suas exportações tenham tarifas mais baixas e facilidades comerciais com o maior mercado do mundo. Em termos de Produto Interno Bruto (PIB), o Brasil e o México têm flutuado entre as 10 e 15 maiores economias globais. O Brasil, por exemplo, apresentou um PIB de cerca de 1,6 trilhões de dólares em 2021, enquanto o México teve um PIB de 1,3 trilhões de dólares no mesmo ano. Em termos de PIB per capita, no entanto, há uma diferença significativa: o México possui um PIB per capita superior ao do Brasil, sendo de 10.045 dólares contra 7.696 dólares, refletindo uma maior produtividade per capita e uma menor população, que no Brasil supera 214 milhões de habitantes, contra aproximadamente 127 milhões no México (HARVARD UNIVERSITY, 2024).

A comparação da evolução do PIB de ambos os países nas últimas décadas revela um crescimento mais acentuado no Brasil durante os primeiros anos

dos anos 2000, especialmente devido ao boom das commodities (Negri & Cavalcante, 2013). No entanto, nos últimos anos, o Brasil tem enfrentado recessões e crises econômicas frequentes, que desaceleraram o crescimento, ao passo que o México, embora afetado pela crise de 2008 e pela pandemia de COVID-19, manteve um crescimento mais estável, em parte devido à sua dependência do mercado norte-americano (Hausmann et al., 2014).

A estrutura econômica de ambos os países revela uma diferença marcante no que diz respeito à dependência das exportações. O Brasil, como mencionado, é uma economia baseada na exportação de commodities. Produtos como minério de ferro, usado na indústria siderúrgica mundial, e soja, crucial na produção de óleos e rações animais, são responsáveis por uma grande parte das exportações do país. A China é o principal destino dessas exportações, comprando grande parte do minério de ferro brasileiro e também sendo um dos maiores compradores de soja e petróleo (Hausmann et al., 2014).

Além da China, o Brasil exporta para outros grandes mercados, como a União Europeia e os Estados Unidos. No entanto, a dependência de commodities gera uma grande vulnerabilidade à economia brasileira, pois as variações de preço no mercado internacional afetam diretamente o crescimento econômico do país. Quando os preços das commodities caem, o Brasil enfrenta sérios problemas de balança comercial, impactando também seu crescimento econômico interno. O México, por outro lado, possui uma economia mais diversificada, com o setor manufatureiro como um dos seus principais motores de crescimento. A indústria automotiva representa uma das principais fontes de receita para o país, sendo o México um dos maiores exportadores de veículos do mundo. Empresas multinacionais, como Ford, General Motors, Toyota, entre outras, possuem grandes fábricas no México, aproveitando a mão de obra qualificada e mais barata em comparação aos Estados Unidos (Elías, 2016). Além disso, o México também é um grande exportador de eletrônicos e produtos tecnológicos, incluindo computadores, televisores e componentes eletrônicos. Este setor contribui para que o México tenha uma economia menos dependente das flutuações de preço de commodities, embora o petróleo ainda desempenhe um papel importante, sendo exportado, em sua maioria, para os Estados Unidos.

O impacto da globalização e da integração com o mercado norte-americano

foi crucial para o desenvolvimento econômico do México. O NAFTA, que entrou em vigor em 1994, desempenhou um papel fundamental na abertura da economia mexicana e no incentivo à industrialização. A versão atualizada do acordo, o USMCA, continua a desempenhar um papel essencial ao garantir a manutenção das cadeias de fornecimento e ao proporcionar benefícios tarifários para as exportações mexicanas (Jornal Prodi et al., 2023).

A complexidade econômica é um conceito que avalia a sofisticação e a diversidade dos produtos que um país é capaz de produzir e exportar. Nesse quesito, o México supera o Brasil de forma significativa. O Índice de Complexidade Econômica (ICE), que mede a diversidade de exportações e o conhecimento necessário para produzi-las, coloca o México como o 22º país mais complexo do mundo, enquanto o Brasil ocupa a 70ª posição. Isso reflete a diversificação econômica do México, que conseguiu se afastar de uma economia dependente de commodities e ampliar suas exportações para produtos de maior valor agregado, como veículos e eletrônicos. Esse movimento também contribuiu para que o México subisse posições no ranking de complexidade econômica, enquanto o Brasil perdeu 23 posições na última década (Hausmann et al., 2014).

Um dos motivos para essa disparidade está na falta de transformação estrutural no Brasil, onde a economia ainda é muito concentrada em setores de baixa produtividade, como a agricultura e a mineração. A transformação estrutural envolve o movimento de trabalhadores e capital de setores de baixa produtividade para setores de alta produtividade, como a indústria manufatureira e a tecnologia (Rocha, 2007; Souza et al., 2020). No Brasil, esse movimento tem sido lento, limitando o crescimento econômico do país. Por outro lado, o México conseguiu concluir sua transformação estrutural ao diversificar sua economia e aumentar a participação de setores de alta produtividade, como a fabricação de máquinas e veículos. Isso permitiu que o país tivesse uma base industrial mais robusta e uma economia menos dependente de fatores externos, como a variação dos preços de commodities (J. Mota, 2018). No entanto, apesar de o México ter uma economia mais diversificada, ele também enfrenta desafios, como a recente queda nas exportações de máquinas, um setor crucial para o crescimento de suas exportações nos últimos anos. Esse declínio levanta preocupações sobre a dependência excessiva do México em setores específicos e sobre a necessidade de continuar inovando e diversificando suas

exportações.

Em termos de educação, ambos os países enfrentam desafios, mas o México tem feito avanços significativos nos últimos anos, especialmente na qualificação técnica da mão de obra para atender às demandas da indústria manufatureira (Cruz & María Delfina, 2004). No Brasil, a disparidade regional na educação é um dos principais obstáculos para o desenvolvimento de uma economia baseada na inovação. Embora o país possua algumas das melhores universidades da América Latina, como a Universidade de São Paulo (USP) e a Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), muitas regiões, especialmente no norte e nordeste, carecem de investimentos adequados em educação básica e técnica (Castro, 2009). Isso limita a capacidade de o Brasil gerar uma força de trabalho qualificada o suficiente para competir nos mercados globais de alta tecnologia. Além disso, o Brasil também enfrenta problemas em termos de infraestrutura. O país carece de investimentos em infraestrutura básica, como transporte, energia e telecomunicações, o que aumenta os custos de produção e dificulta a competitividade de seus produtos no mercado global (Nakamura, 2018). Em contrapartida, o México, especialmente nas regiões mais industrializadas próximas à fronteira com os Estados Unidos, possui uma infraestrutura mais desenvolvida, com boas redes de transporte e logística que facilitam o comércio com seu principal parceiro (Rivas, 2011).

Outro ponto de divergência nas economias de Brasil e México é o grau de abertura econômica e suas relações comerciais com outras nações. O México, por sua proximidade geográfica com os Estados Unidos e sua participação em acordos como o NAFTA (agora substituído pelo USMCA), é altamente integrado à economia norte-americana (Rivera, 2014). Aproximadamente 80% das exportações mexicanas são destinadas aos Estados Unidos, e muitas das fábricas mexicanas produzem peças e produtos que fazem parte de cadeias produtivas norte-americanas (Hausmann et al., 2014). Esse modelo de economia integrada trouxe benefícios consideráveis para o México, incluindo maior crescimento industrial, investimentos em infraestrutura, e oportunidades de emprego. Por outro lado, essa forte dependência dos Estados Unidos também representa um risco, especialmente em tempos de tensões comerciais ou mudanças nas políticas tarifárias dos EUA, como foi o caso durante o governo Trump (Delgado Wise & García, 2005; López Arévalo, 2022). A renegociação do NAFTA para o USMCA trouxe incertezas para a economia mexicana,

mas no final das contas, o novo acordo manteve os principais benefícios comerciais que o México vinha aproveitando (Salas, 2006).

O Brasil, por outro lado, tem uma política de comércio exterior mais diversificada, embora a China seja atualmente seu principal parceiro comercial, o Brasil também exporta substancialmente para a União Europeia, os Estados Unidos e países vizinhos como a Argentina. Essa diversificação torna o Brasil menos vulnerável a flutuações em um único mercado, mas a dependência de commodities ainda é um grande ponto de vulnerabilidade (Hausmann, 2010). A economia brasileira também enfrenta desafios relacionados a barreiras tarifárias e não tarifárias em seus acordos de comércio, além de enfrentar dificuldades para promover reformas econômicas que incentivem uma maior integração no comércio global (Estre, 2018). Ao contrário do México, o Brasil optou por uma estratégia mais protecionista nas últimas décadas, com altos níveis de tarifas de importação em comparação com outras grandes economias. Essa política, que visa proteger a indústria nacional, resultou em uma menor competitividade global da indústria brasileira (Almeida, 2013). O Brasil participa de blocos regionais como o Mercosul, que busca facilitar o comércio entre seus membros, mas enfrenta desafios relacionados à burocracia e à falta de acordos comerciais robustos com economias desenvolvidas, como os EUA ou a União Europeia (Gonçalves, 2001).

A agricultura desempenha um papel essencial na economia brasileira, sendo um dos principais motores de suas exportações. O país é um dos maiores produtores mundiais de soja, milho, açúcar e café, além de ser um dos principais exportadores de carne bovina. A vasta extensão territorial do Brasil, aliada a condições climáticas favoráveis, permite que o país seja um dos maiores exportadores agrícolas do mundo, atendendo especialmente à demanda da China, União Europeia e Oriente Médio (Oliveira et al., 2022; Quintam & Assunção, 2023). A soja, por exemplo, representou cerca de 16% das exportações brasileiras em 2021, com a China sendo o principal comprador. Além da agricultura, o setor mineral é um dos maiores contribuintes para a balança comercial do Brasil (Hausmann et al., 2014). O minério de ferro, principal matéria-prima para a produção de aço, é um dos maiores itens de exportação do país, com gigantes como a Vale SA liderando a produção e exportação para mercados como a China, Japão e Alemanha. Entretanto, a volatilidade dos preços das commodities afeta diretamente o crescimento econômico

brasileiro, que se mostra vulnerável às flutuações do mercado internacional (Gonzales, 2017; Black, 2015).

Por outro lado, o México se destaca pela sua indústria manufatureira, que inclui automóveis, eletrônicos, e produtos químicos. A indústria automotiva é um dos maiores setores da economia mexicana, com montadoras globais estabelecendo fábricas no país para produzir veículos tanto para o mercado doméstico quanto para exportação (Miranda, 2011). O México é o sétimo maior produtor de veículos do mundo e o quarto maior exportador global. Este setor é favorecido pela proximidade com os Estados Unidos e pelos baixos custos de produção em comparação com o mercado norte-americano (Moreno & Álvarez Béjar, 2021).

Além do setor automotivo, o México também se destaca como um dos maiores exportadores de produtos eletrônicos, especialmente televisores, smartphones e computadores. Empresas globais como a Samsung e a LG mantêm grandes operações de manufatura no México, voltadas principalmente para a exportação. Este setor industrial de alta tecnologia tem contribuído significativamente para o crescimento econômico do país, impulsionando empregos qualificados e atraindo investimentos estrangeiros diretos (Dutrénit, 2015). Outro ponto importante é o avanço do setor de tecnologia da informação no México. O país tem se consolidado como um centro de terceirização de serviços de tecnologia, atraindo empresas globais que buscam reduzir custos ao terceirizar serviços de desenvolvimento de software, atendimento ao cliente e suporte técnico. Este crescimento é impulsionado por uma força de trabalho qualificada e bilíngue, especialmente em áreas metropolitanas como a Cidade do México, Guadalajara e Monterrey (Flores et al., 2008; Mochi Alemán, 2009).

Tanto o Brasil quanto o México enfrentam desafios significativos em termos de desigualdade social e desenvolvimento regional. No Brasil, a disparidade regional é um dos principais obstáculos ao crescimento equitativo. Regiões como o Nordeste do Brasil, historicamente marcadas pela pobreza e pela falta de investimentos em infraestrutura, continuam a enfrentar dificuldades para alcançar o mesmo nível de desenvolvimento observado em estados do Sudeste e Sul, como São Paulo, Rio de Janeiro e Santa Catarina (Santos et al., 2014). A desigualdade de renda no Brasil continua sendo uma das maiores do mundo, com um índice de Gini (aponta a

diferença entre os rendimentos dos mais pobres e dos mais ricos) que se manteve em níveis alarmantes ao longo das últimas décadas (Colombo & Ferreira, 2020). Embora programas sociais como o Bolsa Família e outras políticas de transferência de renda tenham conseguido reduzir a pobreza extrema, a desigualdade permanece um desafio estrutural para o país.

O México, por sua vez, também enfrenta grandes desigualdades, tanto em termos de distribuição de renda quanto de desenvolvimento regional. Embora o norte industrializado do México, especialmente as regiões próximas à fronteira com os Estados Unidos, tenha experimentado crescimento econômico robusto, o sul do país, incluindo estados como Oaxaca, Chiapas e Guerrero, permanece subdesenvolvido (Gutiérrez Flores, 2009; Cruz et al., 2009). A falta de infraestrutura, educação de qualidade e acesso a oportunidades econômicas perpetua a pobreza nessas regiões, exacerbando as divisões regionais. Além disso, o setor informal desempenha um papel importante em ambas as economias (Rojas, 2014). No Brasil, cerca de 40% da força de trabalho está no setor informal, enquanto no México esse número gira em torno de 55% (HARVARD UNIVERSITY, 2024). A informalidade tem impactos negativos sobre a produtividade e limita o acesso a direitos trabalhistas e benefícios sociais, perpetuando a desigualdade e restringindo o crescimento econômico de longo prazo. Nos últimos anos, ambos os países implementaram políticas para promover o desenvolvimento econômico e enfrentar os desafios mencionados. No Brasil, reformas trabalhistas e da previdência visaram melhorar o ambiente de negócios e reduzir os déficits fiscais, mas enfrentaram oposição significativa devido aos seus impactos sociais (Cardoso, 2016). Além disso, iniciativas de infraestrutura, como o Programa de Parcerias de Investimentos (PPI), buscaram atrair investimento privado para melhorar rodovias, portos e aeroportos (Amaral, 2018). O México também tem enfrentado desafios significativos em termos de reformas econômicas. O governo tem promovido mudanças na legislação trabalhista e educacional para aumentar a competitividade do país, além de investir em projetos de infraestrutura, que visa impulsionar o desenvolvimento no sul do país. Entretanto, a corrupção e a violência relacionada ao tráfico de drogas continuam sendo grandes obstáculos para o crescimento sustentável e a criação de um ambiente mais favorável aos negócios (Dougherty, 2015).

As perspectivas de crescimento para o Brasil e o México divergem em

vários aspectos. Para o Brasil, as previsões indicam um crescimento mais lento, em torno de 2% ao ano, impulsionado principalmente pela recuperação das exportações de commodities e uma possível retomada de investimentos em infraestrutura (HARVARD UNIVERSITY, 2024). Contudo, o crescimento a longo prazo dependerá da capacidade do Brasil de diversificar sua economia e de realizar reformas estruturais mais profundas, especialmente no setor público e na educação. Já o México, com sua economia mais diversificada e sua integração às cadeias de valor globais, tem um potencial de crescimento mais rápido. O USMCA deverá continuar a ser um pilar de apoio para a economia mexicana, impulsionando as exportações para os Estados Unidos. Além disso, o México tem uma oportunidade única de se beneficiar do processo de terceirização, à medida que empresas globais buscam relocalizar suas cadeias produtivas para mais perto dos Estados Unidos, reduzindo dependências de países como a China.

3 BRASIL E MÉXICO: CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

As agendas de Ciência, Tecnologia e Inovação (STI) são instrumentos fundamentais para promover o desenvolvimento econômico e social em qualquer país. Elas orientam o investimento em áreas estratégicas, direcionam os recursos humanos e tecnológicos e buscam aumentar a competitividade global, sobretudo em um cenário cada vez mais impulsionado pela inovação (Ferreira et al., 2023; Garcez, 2023). Tanto o Brasil quanto o México reconhecem a importância de uma agenda STI bem estruturada para alcançar esses objetivos, e ambos os países têm implementado políticas para fomentar a inovação. No entanto, as abordagens dos dois países têm diferenças notáveis, refletindo suas prioridades econômicas e capacidades tecnológicas. O Brasil, por exemplo, tem concentrado seus esforços em áreas de pesquisa científica de ponta, como biotecnologia, nanotecnologia e agricultura (Mendonça & Freitas, 2008). Já o México tem dado prioridade à transferência de tecnologia, beneficiando-se de sua proximidade com os Estados Unidos e de acordos comerciais que facilitam a troca de conhecimento e inovação (Calderón-Altamirano & Castro-Coria, 2019).

Ambos os países têm buscado melhorar suas infraestruturas de pesquisa, aumentar o financiamento para P&D (Pesquisa e Desenvolvimento) e incentivar colaborações entre o setor público e o privado. No entanto, ainda enfrentam

obstáculos significativos, como baixos níveis de investimento em comparação com padrões internacionais, além de desafios institucionais e burocráticos que dificultam a implementação de políticas eficazes. No Brasil, a Política Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação é coordenada pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI). A agenda brasileira é focada em fortalecer a base de conhecimento do país, fomentar a inovação tecnológica e aumentar a capacidade de competir em mercados globais (Marini & Silva, 2011; Bufrem et al., 2018). O Plano Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação (PNCTI) define as áreas prioritárias, que incluem biotecnologia, nanotecnologia, tecnologias da informação e comunicação (TICs), energia renovável e saúde. Uma das principais iniciativas do governo brasileiro é o Plano de Ação em Ciência, Tecnologia e Inovação (PACTI), que abrange um período de quatro anos e tem como objetivo impulsionar o desenvolvimento tecnológico em setores estratégicos (Marini & Silva, 2011; De Bortoli et al., 2020). O plano enfatiza a necessidade de aumentar os investimentos em P&D, tanto públicos quanto privados, e de melhorar a infraestrutura de pesquisa no país. Entre as metas do PACTI está a promoção de colaborações internacionais e a atração de investimentos estrangeiros para o setor de tecnologia.

O México, por sua vez, desenvolveu uma abordagem diferente em sua agenda de STI. O país é fortemente influenciado por sua integração com as economias globais, particularmente com os Estados Unidos. O Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) é responsável pela coordenação da agenda de inovação mexicana, que enfatiza a transferência de tecnologia e a competitividade internacional. O Programa Especial de Ciência, Tecnologia e Inovação (PECyT), parte do Plano Nacional de Desenvolvimento, define as prioridades de inovação para o México (Yurén Camarena & García Pascacio, 2022). Entre essas prioridades estão o fortalecimento da indústria manufatureira de alta tecnologia, o desenvolvimento de energias renováveis e a melhoria da infraestrutura de inovação.

No entanto, um dos grandes desafios do México tem sido o baixo nível de investimento em P&D. O gasto do país em pesquisa e desenvolvimento é inferior a 1% do PIB, muito abaixo da média da OCDE. Isso limita a capacidade do México de competir em áreas de alta tecnologia e impede o crescimento de setores inovadores, como a biotecnologia e a nanotecnologia (Nascimento, 2024). A questão dos investimentos em P&D é crucial para o sucesso das agendas de STI de ambos os

países. No Brasil, embora o governo tenha reconhecido a importância do aumento dos investimentos em ciência e tecnologia, os níveis de financiamento permanecem baixos em relação às economias desenvolvidas. O Brasil gasta cerca de 1,2% do seu PIB em pesquisa e desenvolvimento, enquanto economias mais desenvolvidas, como os Estados Unidos e Alemanha, investem mais de 2,5% de seus PIBs nessa área (De Negri, 2020). Os recursos destinados à inovação no Brasil são distribuídos entre várias agências de fomento, como a Financiadora de Estudos e Projetos (Finep) e o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). Esses órgãos são responsáveis por apoiar projetos de pesquisa e inovação, tanto em universidades quanto em empresas privadas (Melo, 2009; Cassiolato, 2012). Além disso, programas como o Inova Empresa têm como objetivo promover a inovação no setor empresarial, incentivando parcerias público-privadas e oferecendo subsídios para empresas inovadoras. No entanto, o Brasil enfrenta desafios burocráticos e institucionais que dificultam a execução de políticas de inovação. A falta de continuidade nos investimentos e a fragmentação das políticas públicas são problemas recorrentes. Além disso, a disparidade regional em termos de acesso a recursos de inovação é significativa, com o sudeste do país concentrando a maior parte dos investimentos em ciência e tecnologia (Cavalcante, 2013).

Já no México, os investimentos em P&D são ainda mais baixos do que no Brasil, representando menos de 0,5% do PIB. Este baixo nível de investimento reflete uma dependência excessiva de tecnologias estrangeiras e uma falta de apoio institucional para a criação de um ecossistema de inovação robusto (Negri & Laplane, 2007). O Conacyt tem buscado enfrentar esse desafio promovendo parcerias com empresas internacionais e incentivando a transferência de tecnologia, mas os resultados ainda são limitados. Em contrapartida, o México tem se beneficiado de investimentos privados e da instalação de centros de pesquisa de empresas multinacionais no país. O setor automotivo, por exemplo, tem sido um dos maiores receptores de investimento em inovação, com empresas como a General Motors, Ford e Volkswagen estabelecendo centros de pesquisa e desenvolvimento no México para inovar em áreas como a mobilidade elétrica e tecnologias de fabricação (Negri & Laplane, 2007).

Tanto o Brasil quanto o México têm procurado fortalecer suas agendas de inovação por meio de colaborações internacionais, reconhecendo que a integração

com o cenário global de ciência e tecnologia é crucial para a aceleração de seus desenvolvimentos internos (Costa et al., 2016). As parcerias internacionais permitem o intercâmbio de conhecimento, a transferência de tecnologia e a formação de redes de pesquisa, fundamentais para aumentar a competitividade e a capacidade de inovação desses países. O Brasil participa ativamente de consórcios internacionais e parcerias bilaterais em ciência e tecnologia (Dantas & Mascarello, 2020). Entre as iniciativas mais notáveis, destaca-se a participação do país no Programa Ibero-Americano de Ciência e Tecnologia para o Desenvolvimento (CYTED), que reúne países da América Latina e da Península Ibérica para promover cooperação científica e tecnológica. O programa fomenta projetos em áreas como biotecnologia, nanotecnologia, energias renováveis e TICs, facilitando o acesso a recursos de financiamento internacionais e o intercâmbio de pesquisadores. Outro exemplo relevante é a cooperação Brasil-União Europeia, que tem se intensificado nos últimos anos. A Comissão Europeia, por meio do programa Horizon 2020 e agora Horizon Europe, tem financiado projetos de inovação em parceria com o Brasil, especialmente em áreas de interesse mútuo como agricultura sustentável, mudanças climáticas e nanotecnologia (Tomazini, 2018). Além disso, acordos bilaterais com países como os Estados Unidos, Alemanha e Japão têm permitido o avanço na pesquisa científica em áreas de fronteira tecnológica, como a inteligência artificial e a indústria 4.0. No entanto, o Brasil ainda enfrenta desafios significativos para maximizar os benefícios dessas parcerias. A burocracia e a fragmentação das políticas públicas de inovação dificultam a implementação de projetos de grande escala e, muitas vezes, os recursos financeiros e humanos necessários para aproveitar essas oportunidades são insuficientes (Takayama & Panhan, 2022).

A disparidade regional também é um fator que limita o potencial de absorção dessas colaborações, uma vez que grande parte das parcerias se concentra nas regiões mais desenvolvidas do país, como o Sudeste. O México, por sua vez, tem adotado uma estratégia de inovação fortemente focada na transferência de tecnologia, aproveitando sua proximidade com os Estados Unidos e os benefícios dos acordos comerciais como o USMCA (Negri & Laplane, 2007). As parcerias com universidades e empresas norte-americanas são um dos pilares da estratégia mexicana de inovação, especialmente em setores como automobilístico, eletrônico e tecnologia da informação. Empresas multinacionais que operam no México, como Intel, Ford e General Electric, desempenham um papel crucial no fomento à inovação, investindo

em centros de pesquisa locais e promovendo a capacitação da mão de obra (Pérez Cruz, 2019). Outro exemplo significativo de cooperação internacional é a participação do México em iniciativas com a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE).

Através dessa colaboração, o país tem trabalhado para melhorar sua infraestrutura de inovação e promover reformas estruturais que visam aumentar a competitividade e a eficiência do setor de ciência e tecnologia. A parceria com a OCDE também permite que o México participe de redes internacionais de inovação, obtendo acesso a dados e pesquisas que auxiliam na formulação de políticas públicas mais eficazes. Além disso, o México tem buscado expandir suas colaborações além da América do Norte, fortalecendo suas relações com a União Europeia e a Ásia, especialmente com Japão e Coreia do Sul. Esses países são líderes em inovação tecnológica e têm interesse em promover colaborações em áreas como tecnologia automotiva, energia limpa e tecnologias da informação. Um dos principais elementos que sustentam a capacidade de inovação de qualquer país é a infraestrutura de pesquisa e desenvolvimento (Costa et al., 2016).

O Brasil e o México têm investido em suas infraestruturas científicas e tecnológicas, com a criação de parques tecnológicos, centros de pesquisa e universidades de excelência. No entanto, o nível de desenvolvimento dessas infraestruturas ainda é desigual, e ambos os países enfrentam desafios em relação à manutenção e expansão dessas capacidades. No Brasil, o governo federal, através de programas como o Inova Empresa e o Programa Nacional de Plataformas do Conhecimento (PNPC), tem promovido a criação de centros de inovação e a modernização de universidades e institutos de pesquisa. Um dos principais exemplos dessa infraestrutura é o Laboratório Nacional de Nanotecnologia (LNNano), localizado em Campinas, São Paulo, que lidera pesquisas de ponta em nanotecnologia e serve como referência na América Latina (Medeiros & Perilo, 1990). Além disso, o Brasil tem investido na criação de parques tecnológicos, como o Parque Tecnológico de São José dos Campos, que é um centro de excelência em tecnologia aeroespacial e outras indústrias de alta tecnologia.

Estes parques tecnológicos visam promover a colaboração entre empresas, universidades e governo, criando um ambiente propício para a inovação e o desenvolvimento de novos produtos. No entanto, o Brasil ainda enfrenta desafios

significativos relacionados à manutenção e expansão dessa infraestrutura. A falta de financiamento consistente, especialmente durante períodos de crise econômica, tem prejudicado a capacidade do país de competir em áreas de alta tecnologia. Além disso, a desigualdade regional significa que muitas das infraestruturas de inovação estão concentradas no Sudeste, enquanto regiões como o Norte e o Nordeste carecem de investimentos significativos em ciência e tecnologia (Cavalcante, 2011). O México, por sua vez, tem promovido a criação de centros de inovação tecnológica em colaboração com o setor privado. Monterrey, por exemplo, é uma das cidades mais inovadoras do México, com uma série de parques tecnológicos e universidades de excelência, como o Instituto Tecnológico de Monterrey, que atrai investimentos significativos de empresas globais interessadas em pesquisa e desenvolvimento (Molina et al., 2011). Monterrey também é um centro de indústria automotiva e de tecnologia da informação, contribuindo significativamente para a inovação no país. Além disso, o México tem promovido a criação de um conglomerado de inovação em setores estratégicos, como energias renováveis e tecnologia da informação, especialmente na região norte do país, que está mais integrada às cadeias produtivas globais (Negri & Laplane, 2007). A estratégia mexicana também envolve a modernização de suas universidades e a criação de centros de pesquisa avançados, como o Centro de Pesquisa e Inovação em Tecnologias da Informação e Comunicação (CENIT), que desenvolve soluções tecnológicas para empresas nacionais e internacionais. Assim como o Brasil, o México enfrenta desafios em relação à desigualdade regional. A maior parte das infraestruturas de inovação está concentrada nas regiões norte e central do país, enquanto o Sul, incluindo estados como Chiapas e Oaxaca, permanece subdesenvolvido. Esse desbalanceamento regional cria um desafio para o governo mexicano em termos de promover um crescimento econômico mais equitativo e garantir que as oportunidades de inovação sejam acessíveis a todo o país (Stezano & Padilla Pérez, 2013). Ambos os países enfrentam desafios semelhantes quando se trata de implementar suas políticas de ciência e inovação. A burocracia, a falta de continuidade nas políticas públicas e os níveis insuficientes de investimento são alguns dos principais obstáculos que limitam a eficácia das agendas de inovação.

No Brasil, a fragmentação das políticas públicas é um problema recorrente. Embora o governo tenha implementado uma série de programas para fomentar a inovação, como o Inova Empresa e o Plano de Ação em Ciência, Tecnologia e

Inovação (PACTI), muitos desses programas carecem de continuidade e de financiamento estável. A falta de articulação entre os diferentes níveis de governo (federal, estadual e municipal) também prejudica a execução de políticas eficazes, e a burocracia excessiva torna difícil para startups e empresas inovadoras acessarem recursos e financiamentos. Outro grande desafio para o Brasil é a disparidade regional no acesso à infraestrutura de inovação (Leite et al., 2021). O Sudeste continua a ser a região mais favorecida, com acesso à maioria dos centros de pesquisa e universidades de excelência, enquanto o Norte e o Nordeste carecem de investimentos significativos em ciência e tecnologia.

O México enfrenta desafios semelhantes, especialmente no que diz respeito ao baixo nível de investimento público em P&D. O país ainda investe menos de 0,5% de seu PIB em pesquisa e desenvolvimento, muito abaixo da média dos países da OCDE. Além disso, o México tem uma forte dependência de financiamento externo, com uma grande parte dos investimentos em inovação vindo de empresas multinacionais. A falta de autonomia no campo da ciência e tecnologia, devido à dependência de investimentos estrangeiros, limita o potencial de inovação de empresas nacionais e dificulta o desenvolvimento de uma infraestrutura local robusta de pesquisa e desenvolvimento (HARVARD UNIVERSITY, 2024). Além disso, também enfrenta problemas institucionais, como a corrupção e a burocracia, que afetam negativamente a implementação de políticas públicas eficazes, incluindo as voltadas para a ciência, tecnologia e inovação. Outro ponto de preocupação para o México é a qualificação da mão de obra. Embora o país tenha avançado em termos de infraestrutura industrial e tecnológica, ainda há uma lacuna significativa em relação à qualificação de trabalhadores para setores de alta tecnologia. Isso limita o impacto das políticas de inovação, uma vez que a demanda por trabalhadores qualificados em setores como tecnologia da informação, engenharia avançada e nanotecnologia não é plenamente atendida (Yurén Camarena & García Pascacio, 2022).

A educação é um dos pilares fundamentais para a promoção da inovação em qualquer país. Sem uma força de trabalho altamente qualificada e preparada para lidar com os desafios das novas tecnologias, é difícil sustentar um ambiente de inovação de longo prazo. Tanto o Brasil quanto o México têm feito esforços para melhorar a qualidade da educação em áreas de ciência, tecnologia, engenharia e matemática, mas os resultados ainda são limitados (Davidovich, 2022). No Brasil, o

governo tem investido em programas para melhorar a educação técnica e científica, com iniciativas como o Ciência sem Fronteiras, que enviou estudantes para estudar em universidades estrangeiras de ponta. No entanto, o programa foi interrompido devido a restrições orçamentárias e falta de resultados efetivos em termos de retorno para o país.

O Brasil ainda enfrenta sérios desafios na educação básica e técnica, especialmente nas regiões mais pobres do país, o que limita a capacidade de formar uma força de trabalho qualificada o suficiente para sustentar setores de alta tecnologia. Além disso, o ensino superior no Brasil continua sendo um ponto de preocupação. Embora o país possua algumas das melhores universidades da América Latina, como a Universidade de São Paulo (USP) e a Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), muitas dessas instituições enfrentam restrições orçamentárias severas, o que afeta sua capacidade de realizar pesquisa de ponta e formar pesquisadores de alto nível. A fuga de cérebros também é uma questão significativa, com muitos pesquisadores e cientistas brasileiros buscando melhores oportunidades no exterior devido à falta de apoio e recursos para continuar suas pesquisas no país (Fargoni, 2023).

O México, por outro lado, tem investido significativamente em educação técnica, especialmente em áreas relacionadas à indústria manufatureira e à tecnologia da informação. A Universidade Nacional Autônoma do México (UNAM) e o Instituto Tecnológico de Monterrey estão entre as instituições que têm desempenhado um papel de liderança na formação de profissionais para setores de alta tecnologia (Negri & Laplane, 2007). No entanto, assim como no Brasil, há uma grande disparidade regional na qualidade da educação, com as regiões norte e central recebendo a maior parte dos investimentos em infraestrutura educacional, enquanto o Sul permanece relativamente negligenciado. Outro desafio para o México é o déficit de pesquisadores. Embora o país tenha aumentado o número de doutores e pesquisadores nos últimos anos, o número ainda está aquém do necessário para competir em áreas de alta tecnologia. Além disso, a fuga de cérebros também é um problema, com muitos profissionais qualificados buscando oportunidades nos Estados Unidos e Europa, onde os recursos e oportunidades são mais abundantes (Arenas et al., 2001).

As perspectivas futuras para as agendas de Ciência, Tecnologia e Inovação

no Brasil e no México dependem de uma série de fatores, incluindo a capacidade de aumentar os investimentos em P&D, promover uma educação de qualidade, e superar os desafios burocráticos e institucionais que limitam a eficácia das políticas públicas. O país também precisa resolver a questão da disparidade regional em termos de acesso à infraestrutura de inovação e educação de qualidade. A promoção de parcerias público-privadas, o fortalecimento dos institutos de pesquisa e a modernização do sistema educacional são passos fundamentais para o Brasil avançar em direção a uma economia mais inovadora e competitiva globalmente. Além disso, o Brasil precisa fortalecer sua capacidade de inovação industrial, integrando a ciência e tecnologia em setores chave da economia, como agricultura, indústria aeroespacial, energia renovável e tecnologia da informação. A promoção de centros de inovação e a criação de ecossistemas regionais de inovação, como os parques tecnológicos, também serão essenciais para garantir que a inovação aconteça de maneira descentralizada e acessível a todas as regiões do país. As perspectivas para o México são igualmente desafiadoras, mas promissoras. O país tem a vantagem de estar altamente integrado às cadeias globais de valor, especialmente na América do Norte, o que lhe confere uma posição estratégica para atrair investimentos estrangeiros em inovação (Filippo & Guaipatín, 2021). No entanto, o México precisa aumentar seus investimentos públicos em P&D e promover políticas que incentivem a inovação nacional, reduzindo sua dependência de tecnologias estrangeiras. O governo mexicano também deve focar em melhorar a educação técnica e científica, garantindo que as regiões menos desenvolvidas do país tenham acesso a uma formação de qualidade e oportunidades de participar de setores de alta tecnologia (Dutrénit, 2015). Além disso, a promoção de inovações sustentáveis e de energias renováveis pode posicionar o México como um líder regional no combate às mudanças climáticas e na transição para uma economia verde.

Tanto o Brasil quanto o México têm realizado esforços significativos para avançar em suas agendas de Ciência, Tecnologia e Inovação (STI). No entanto, ambos os países enfrentam desafios semelhantes, como baixos níveis de investimento em P&D, desigualdade regional e obstáculos institucionais. A superação desses desafios será essencial para que esses países possam competir no cenário global de inovação e promover o desenvolvimento sustentável e inclusivo.

4 NANOTECNOLOGIA

O avanço tecnológico é orientado para a melhoria da qualidade de vida da sociedade, e a nanotecnologia destaca-se como uma disciplina científica que visa atender a esse objetivo. Essa área emergente da ciência tem sua raiz na concepção de tecnologia em escala nanométrica, a qual tem o potencial de aprimorar diversos aspectos da vida humana. A palavra "nano" denota o conceito de algo pequeno, um bilionésimo de metro. A nanotecnologia, por sua vez, envolve a manipulação de materiais em escala nanométrica (Silva; Pinto, 2020).

A origem da nanotecnologia remonta a 1959, quando o físico Richard P. Feynman abordou a ideia de manipular átomos para criar materiais e promover avanços científicos em uma escala nanométrica, conceito revolucionário na época e que representou um marco conceitual na nanociência e nanotecnologia (Silva; Pinto, 2020). Já os estudos mais aprofundados em nanociência começaram a partir dos anos 1980, liderados pelo engenheiro Kim Eric Drexler. O desenvolvimento dessa disciplina foi impulsionado pelo desejo de inovar por meio de materiais com propriedades físicas extremamente reduzidas, que, devido a sua escala nanométrica, proporcionariam características e efeitos distintos em suas aplicações (Ferreira, 2009). Norio Taniguchi, um cientista japonês, é creditado por tornar conhecido o termo "nanotecnologia" em 1974. Ele introduziu este termo em uma conferência para descrever processos de produção de materiais e dispositivos com precisões da ordem de nanômetros (um bilionésimo de metro). Taniguchi estava investigando técnicas de fabricação ultra precisas, como a usinagem em escalas muito pequenas, e observou que era possível manipular materiais em uma escala atômica e molecular. Seu trabalho pioneiro estabeleceu as bases para o campo da nanotecnologia, que explora e manipula materiais em dimensões extremamente pequenas para diversas aplicações tecnológicas e científicas (YANG, 2020).

À medida que as descobertas avançaram, a nanotecnologia emergiu como uma promissora área de pesquisa e desenvolvimento, suscitando grandes expectativas, dada sua capacidade de solucionar desafios significativos e revolucionar diversas áreas e aplicações no mercado global. O termo "nanotecnologia" foi cunhado pelo engenheiro japonês Norio Taniguchi para descrever uma tecnologia que transcendia o controle de materiais e a engenharia em microescala. A visão de Eric Drexler envolve a manipulação átomo por átomo, enquanto a nanociência se

concentra no estudo de fenômenos e na manipulação de sistemas físicos que produzem resultados discerníveis em uma escala nanométrica (nm), com comprimentos que em geral não são superiores a 100 nm em pelo menos uma dimensão (Ferreira, 2009).

Dessa forma, a nanotecnologia se concentra no projeto, caracterização, produção e aplicação de sistemas e componentes em escala nanométrica. De acordo com a definição, materiais nanoestruturados possuem pelo menos uma dimensão em escala nanométrica, ou seja, $1/1.000.000.000$ do metro ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$). Nessas dimensões, os materiais apresentam propriedades únicas, como tolerância a variações de temperatura, diversidade de cores, alterações na reatividade química e condutividade elétrica. A essência da nanotecnologia reside na capacidade de trabalhar em nível atômico, molecular e macromolecular, visando a criação de materiais, dispositivos e sistemas com propriedades e aplicações inovadoras (Ferreira, 2009).

Os países em todo o mundo têm aumentado significativamente seus investimentos em nanotecnologia devido às promissoras aplicações em uma ampla gama de campos. Esses esforços seguem duas abordagens distintas: a primeira, conhecida como "do topo para a base", envolve a contínua miniaturização de microsistemas e processos, priorizando a agilidade na geração de resultados comerciais, embora não necessariamente conduza a descobertas revolucionárias. A segunda abordagem, chamada "da base para o topo", se baseia em modelos naturais e se dedica à manipulação de átomos para criar estruturas inovadoras. São três setores principais que exploram ambas as abordagens: a) nanoeletrônica, que se concentra na extrema compactação e miniaturização da microeletrônica, sobretudo para tecnologias da informação e computação, operando em escalas menores e capacitando o processamento de grandes volumes de dados em velocidades excepcionais; b) nanobiotecnologia, que busca unir a engenharia em nanoescala com a biologia para manipular sistemas vivos e criar materiais inspirados na biologia a nível molecular; e c) nanomaterial, que tem como objetivo a precisão no controle da morfologia em escala nanométrica de substâncias e partículas, visando à produção de materiais com nanoestruturas definidas (Silva, 2006).

As aplicações da nanotecnologia englobam setores como saúde, materiais, informática, segurança, alimentação, tratamento de resíduos e produção de energia,

entre outros, reflete sua natureza multidisciplinar. Atualmente, a nanotecnologia transcende o estágio conceitual, tendo sido bem-sucedida na implementação de aplicações comerciais. Na Europa, um número significativo de empresas está envolvido nesse campo, empregando uma considerável força de trabalho altamente qualificada. No entanto, é importante notar que, ao lado do otimismo científico e comercial em relação às nanotecnologias, existem preocupações legítimas sobre os potenciais impactos negativos sobre os seres humanos e o ambiente. Paralelamente à biotecnologia e às tecnologias da informação, as nanotecnologias demonstram uma interseção crescente com esse universo tecnológico mais amplo, suscitando dúvidas acerca da conveniência de uma transição precipitada e desprovida de cautela da fase de pesquisa para aplicações comerciais. Nesse contexto, é imperativo conduzir investigações abrangentes para avaliar os possíveis efeitos adversos das nanotecnologias, a fim de garantir a devida consideração dos princípios de responsabilidade e precaução (Silva, 2006)

5 CENÁRIO MUNDIAL EM NANOTECNOLOGIA

A ascensão da nanociência e nanotecnologia durante o biênio de 1997-1998 marcou um ponto crucial na história científica e tecnológica, desencadeando uma competição global por recursos na indústria (SKRENSKI, 2021). Países líderes como Estados Unidos, União Europeia, Japão e China investiram maciçamente nesse campo, com outros países, como Coreia do Sul, Taiwan, Austrália e diversas nações da América Latina e África, seguindo o mesmo caminho de desenvolvimento. Essa evolução significativa se desenrolou num contexto de intensificação das interações internacionais, impulsionando avanços acelerados na ciência, educação e pesquisa industrial. O potencial econômico da nanotecnologia se destaca na formação de uma nova geração de profissionais multidisciplinares, imprescindíveis para impulsionar o avanço científico e tecnológico (Ramos; Pasa, 2008).

No campo das pesquisas, embora as primeiras investigações bibliométricas em nanotecnologia datem de 1997, sua explosão como área de pesquisa é inegável. Os Estados Unidos têm estado no pódio quando o assunto é pesquisa e desenvolvimento de nanotecnologia (Embrapa, 2024). Turchi mostra em suas

pesquisas sobre financiamento das Universidades americanas os fortes investimentos de agências governamentais como a National Science Foundation (NSF) e a National Institutes of Health (NIH), além de investimentos do setor privado, o país tem avançado em diversas áreas, incluindo medicina, eletrônica e materiais avançados. O Plano Nacional de Controle de Qualidade (PNCQ) evidencia o uso de nanopartículas para tratamento de câncer, nanomateriais para eletrônicos mais rápidos e duráveis, e revestimentos nanoestruturados para melhorar a eficiência energética. A União Europeia também tem investido fortemente na nanotecnologia através de programas como o Horizon 2020 e Horizon Europe. Esses programas financiam pesquisas colaborativas entre universidades, centros de pesquisa e indústrias em todos os estados membros. A UE se concentra em aplicações que vão desde saúde e meio ambiente até segurança alimentar e energia sustentável. A nanotecnologia é utilizada em sensores para monitoramento ambiental, em embalagens inteligentes que prolongam a vida útil dos alimentos e em novas tecnologias de armazenamento de energia (HORIZON, 2021). A China tem emergido como um dos principais atores no campo da nanotecnologia, com significativos investimentos governamentais e uma rápida expansão de sua capacidade de pesquisa (Soares, 2024). O país foca tanto na pesquisa fundamental quanto nas aplicações práticas, incluindo eletrônicos, medicina e energia. A China tem feito avanços notáveis na área da medicina utilizando nanopartículas para detectar e tratar o câncer com precisão, reduzindo os efeitos colaterais do uso excessivo de medicamentos.

O Laboratório de Química do Estado Sólido revela que o Japão é conhecido por sua forte base de pesquisa em nanotecnologia e por suas inovações em eletrônicos e materiais. Empresas japonesas estão na vanguarda do desenvolvimento de materiais nanoestruturados para a indústria eletrônica, incluindo semicondutores e dispositivos optoeletrônicos. O Japão também investe em aplicações para biochips, materiais absorventes à base de nanotubos de carbono e materiais inorgânicos. A revista *Ciência e Cultura* relata que no Brasil, a nanotecnologia é vista como uma área estratégica para o desenvolvimento científico e tecnológico. O governo brasileiro tem apoiado a pesquisa em nanotecnologia através de agências como o CNPq e a FAPESP. Entre as aplicações, destacam-se as máscaras de proteção facial com nanomateriais, que foram amplamente utilizadas durante a pandemia de COVID-19, e possuem propriedades antimicrobianas e de filtragem aprimorada. Além disso, o

país investe no desenvolvimento de nanomedicamentos e tratamentos avançados, como a imunoterapia com nanofármacos para câncer. Há também um foco significativo na descontaminação de água utilizando nanomateriais, o que contribui para a saúde pública e o meio ambiente.

A análise geográfica da produção científica revela uma mudança: a Ásia tornou-se o epicentro da nanotecnologia, com a China liderando o ranking, publicando o dobro do que o segundo colocado, os Estados Unidos. O cenário se completa com a ascensão de países emergentes como Irã, Índia, Coreia do Sul e Brasil. A Europa, apesar de apresentar avanços em universidades do Reino Unido, Suécia e Áustria desde os anos 1990, demorou a implementar políticas de apoio à nanotecnologia em comparação com Estados Unidos e Japão. Contudo, a partir de 2000, governos europeus investiram na criação de institutos de pesquisa e no fomento da pesquisa universitária, considerando a nanotecnologia prioridade estratégica (Aleixandre-Tudó *et al*, 2023).

Em 16 de dezembro de 2023, a Nano Science, Technology and Industry Information (StatNano) relatou a comercialização de 11.171 produtos de nanotecnologia provenientes de 3.910 empresas localizadas em 68 países distintos (StatNano, 2023). Esse anúncio destaca a expansão e a presença global significativa de produtos desenvolvidos com base em nanotecnologia, refletindo um crescimento notável nesse setor em diversas partes do mundo. No âmbito do investimento governamental em nanotecnologia no ano de 2020, um relatório apontou a Índia como o principal investidor, seguido por países como Japão, Malásia, Nova Zelândia e Coreia do Sul. Já os Estados Unidos ocuparam a sétima posição nesse ranking, indicando uma diversificação dos investimentos em nanotecnologia em escala global (StatNano, 2023).

Além disso, no contexto das patentes registradas na European Patent Organization (EPO) em 2023, os Estados Unidos lideraram com 570 patentes, seguidos pela Alemanha com 198 e pela França com 173. No entanto, o Brasil ocupou o 30º lugar com apenas 3 patentes, enquanto o México ficou na 38ª posição, contabilizando 2 patentes. Já ao analisar as patentes registradas no United States Patents and Trademark Office (USPTO) em 2023, os Estados Unidos mantiveram uma posição dominante com 3354 patentes, seguidos pela Coreia do Sul com 698 e China com 614. O Brasil alcançou o 27º lugar com 8 patentes, enquanto o México ficou na

40ª posição, com 2 patentes registradas. Esses dados evidenciam as diferentes posições ocupadas pelos países no contexto das patentes em organizações internacionais, revelando o panorama da inovação e do desenvolvimento tecnológico em nanotecnologia (StatNano, 2023).

A proteção da propriedade intelectual ganha destaque como um pilar essencial para a competitividade da indústria no campo da nanotecnologia. O crescimento contínuo do número de patentes desde os anos 1980 reflete o desafio constante de gerenciar coletivamente a propriedade intelectual, em particular no domínio das nanotecnologias. Novos empreendedores são chamados não apenas a liderar inovações, mas também a integrá-las estrategicamente com inteligência empresarial para uma gestão eficaz (Ramos; Pasa, 2008).

5.1 REGULAÇÃO EM NANOTECNOLOGIA

A nanotecnologia emerge como um mercado altamente promissor, atraindo investimentos consideráveis de empresas e governos globais para sua pesquisa e desenvolvimento. A empolgação em torno dos benefícios potenciais das nanotecnologias impulsiona os cientistas a sintetizar novos materiais e antecipar aplicações inovadoras. Contudo, é essencial investigar minuciosamente os riscos e a segurança associados aos nanomateriais, tanto em relação à saúde humana quanto ao meio ambiente. Compreender a resposta de células, organismos e tecidos à presença de nanopartículas torna-se crucial (Lazzaretti; Hupffer, 2020). As propriedades atraentes das nanopartículas também introduzem riscos, pois o aumento da reatividade decorrente do aumento da relação superfície-volume e as diversas manifestações físico-químicas em escala nanométrica podem resultar em atividade biológica e toxicidade distintas das conhecidas. Logo, antes de implementar métodos adequados baseados na análise quantitativa de riscos, é necessário considerar que as nanotecnologias podem acarretar consequências adversas ambientais, sanitárias e de segurança. Evidências clínicas já indicam a presença de nanopartículas em tecidos patológicos e no sangue, demonstrando sua capacidade de viajar livremente pelo organismo, sem barreiras aparentes para se acumularem em qualquer órgão. A incapacidade de degradação de muitas dessas partículas pelo nosso organismo levanta questões sobre a falta de meios efetivos para sua eliminação. Portanto,

sugere-se uma abordagem precatória para regular essa tecnologia, visando evitar danos potenciais e reações públicas adversas (Gatti, 2014).

Embora haja necessidade de abordagens regulatórias dinâmicas e ajustáveis para as nanotecnologias, adaptando-se ao progresso contínuo do conhecimento sobre seus impactos, a integração recente entre fatores regulatórios e inovação demonstra potencial. Assegurar o desenvolvimento seguro e sustentável da nanotecnologia requer uma governança efetiva que alie segurança, sustentabilidade e atendimento às metas sociais à inovação, promovendo-a para propósitos específicos. Essa governança exige um diálogo, colaboração e gerenciamento elevados entre diversas instituições e partes interessadas, envolvendo desde desenvolvedores, sintetizadores e comerciantes de nanotecnologias até reguladores e representantes da sociedade civil, buscando um processo proativo e adaptativo (Lazzaretti; Hupffer, 2020)

Vários países e blocos econômicos têm desenvolvido suas próprias abordagens regulatórias para a nanotecnologia, influenciando as práticas e políticas globais. A União Europeia (UE) adota uma abordagem precaucionária, focando na avaliação de riscos e na segurança de nanomateriais antes de sua comercialização. A Agência Europeia de Produtos Químicos (ECHA) desempenha um papel central na regulação dos nanomateriais, exigindo que esses sejam registrados e avaliados sob o Regulamento REACH (Registro, Avaliação, Autorização e Restrição de Produtos Químicos). Além disso, a Diretiva sobre Produtos Cosméticos da UE inclui requisitos específicos para nanomateriais usados em cosméticos, exigindo testes de segurança e rotulagem adequada (European Commission, 2011). Nos Estados Unidos, a regulação de nanomateriais é conduzida por várias agências, incluindo a Agência de Proteção Ambiental (EPA), a Administração de Alimentos e Medicamentos (FDA) e a Comissão de Segurança de Produtos de Consumo (CPSC). Cada uma dessas agências possui diretrizes específicas para a avaliação de riscos e segurança de nanomateriais em diferentes contextos, como produtos químicos, alimentos, medicamentos e produtos de consumo (U.S. EPA, 2022). Já o Japão adota uma abordagem colaborativa, envolvendo governo, academia e indústria na criação de diretrizes para a segurança e avaliação de riscos de nanomateriais. A Sociedade Japonesa de Nanotecnologia e o Ministério da Economia, Comércio e Indústria (METI)

são os principais órgãos responsáveis pela regulação e promoção da nanotecnologia no país (METI, 2009).

No caso do Brasil, o país tem investido na criação de uma estrutura regulatória para a nanotecnologia, buscando alinhar-se com as melhores práticas internacionais e promover a inovação de maneira segura e responsável. A Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa) é responsável pela regulação de produtos que utilizam nanotecnologia no Brasil, especialmente em setores como alimentos, cosméticos e medicamentos. A agência tem desenvolvido guias e resoluções que estabelecem requisitos para a avaliação de segurança e eficácia de produtos contendo nanomateriais. Em 2017, a Anvisa publicou a Resolução RDC nº 66, que estabelece critérios para a avaliação de segurança de nanomateriais em produtos de higiene pessoal, cosméticos e perfumes (Anvisa, 2014). O Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI) coordena diversas iniciativas para promover a pesquisa e desenvolvimento em nanotecnologia, incluindo a criação de redes de pesquisa e centros de excelência. O Plano de Ação em Ciência, Tecnologia e Inovação (PACTI) abarca diretrizes para o desenvolvimento sustentável e seguro da nanotecnologia no Brasil (MCTI, 2020). A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) tem trabalhado na criação de normas técnicas para nanomateriais, visando harmonizar as práticas de avaliação e uso de nanotecnologia com os padrões internacionais (ABNT, 2015).

O México também tem avançado na criação de um ambiente regulatório favorável para a nanotecnologia, com enfoque em segurança, inovação e desenvolvimento econômico. A Comissão Federal para a Proteção contra Riscos Sanitários (Cofepris) é responsável pela regulação de produtos de saúde e segurança no México, incluindo aqueles que utilizam nanotecnologia. A agência tem desenvolvido diretrizes específicas para a avaliação de segurança de nanomateriais em produtos farmacêuticos, alimentos e cosméticos (Cofepris, 2018). O Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) promove a pesquisa e inovação em nanotecnologia através de financiamentos e programas de desenvolvimento científico. O Conselho trabalha em colaboração com instituições acadêmicas e industriais para fomentar a pesquisa e o desenvolvimento de tecnologias baseadas em nanomateriais (Conacyt, 2021). As Normas Oficiais Mexicanas (NOM) incluem diretrizes e requisitos para a avaliação e uso de nanomateriais em diversos setores. Essas normas são

elaboradas em conformidade com os padrões internacionais, buscando assegurar a segurança e eficácia dos produtos nanotecnológicos (NOM, 2016).

Embora haja necessidade de abordagens regulatórias dinâmicas e ajustáveis para as nanotecnologias, adaptando-se ao progresso contínuo do conhecimento sobre seus impactos, a integração recente entre fatores regulatórios e inovação demonstra potencial. Assegurar o desenvolvimento seguro e sustentável da nanotecnologia requer uma governança efetiva que alie segurança, sustentabilidade e atendimento às metas sociais à inovação, promovendo-a para propósitos específicos. Essa governança exige um diálogo, colaboração e gerenciamento elevados entre diversas instituições e partes interessadas, envolvendo desde desenvolvedores, sintetizadores e comerciantes de nanotecnologias até reguladores e representantes da sociedade civil, buscando um processo proativo e adaptativo (Lazzaretti; Hupffer, 2020). Apesar das discussões recentes sobre a regulamentação das nanotecnologias na maioria dos países que exploram produtos e aplicações com nanopartículas, o foco atual na regulamentação está em organismos não governamentais e internacionais. Esses incluem a OCDE, a União Europeia, as normas ISO, além de entidades como a REACH, a European Agency for Safety and Health at Work, OSHA, NIA, FDA e outras instituições em países asiáticos e nos Estados Unidos. Entretanto, ainda não existe uma legislação global específica para os nanomateriais, resultando no registro individual de nanoproductos por meio das agências reguladoras de cada país (Lazzaretti; Hupffer, 2020).

6 COMPARANDO AS AGENDAS DO BRASIL E DO MÉXICO EM NANOTECNOLOGIA

Embora os estudos em nanotecnologia remontem à década de 1980, um avanço significativo ocorreu a partir do ano 2000, impulsionado pela implementação sistemática de programas públicos. Nesse período, os Estados Unidos inauguraram a National Nanotechnology Initiative (NNI), catalisando um movimento global em que numerosos países, tanto desenvolvidos quanto em desenvolvimento, adotaram políticas destinadas a fomentar esse campo emergente. Na América Latina, ao longo dos primeiros anos do século XXI, 13 nações incorporaram a nanotecnologia como uma área estratégica em suas políticas de ciência, tecnologia e inovação (PCTI). O Brasil e o México, como as duas maiores economias da região e historicamente

dotados das maiores capacidades científicas, assumiram papéis de destaque no desenvolvimento e na promoção dessa tecnologia (Invernizzi *et al.*, 2019).

6.1 BRASIL E A NANOTECNOLOGIA

É crucial entender como o Brasil tem se posicionado no cenário de inovação e desenvolvimento tecnológico em relação à nanotecnologia. Olhando para trás, é inegável reconhecer os esforços que o Brasil tem empreendido desde o início do século XXI para se inserir nessa jornada. Em 2001, redes e institutos de pesquisa foram criados, lançando as bases para uma presença nacional nesse campo. O Programa de Desenvolvimento da Nanociência e Nanotecnologia, estabelecido em 2003, e a sua incorporação como área estratégica no Plano Plurianual 2004-2006 do Ministério de Ciência e Tecnologia, representaram passos significativos nessa direção. Entretanto, foi em 2005, com o lançamento do Programa Nacional de Nanotecnologia (PNN), alinhado com a Política de Desenvolvimento Industrial, Tecnológico e de Comércio Exterior (PITCE), que o Brasil demonstrou um compromisso mais robusto com a nanotecnologia. Esse compromisso foi reafirmado nos planos plurianuais subsequentes, evidenciando a continuidade do esforço nacional nessa área, culminando em 2012 com a promulgação da Iniciativa Brasileira de Nanotecnologia (IBN), que revitalizou o PNN (Barbosa; Bagattolli; Invernizzi, 2018).

No entanto, os instrumentos direcionados a promover a inovação nas empresas possuem lacunas preocupantes. Embora tenham tido avanços, como o primeiro edital de fomento empresarial específico para a área da Financiadora de Estudos e Projetos (Finep) em 2004, e a inclusão da nanotecnologia na Subvenção Econômica à Inovação em 2006, é impossível ignorar a descontinuidade e as oscilações nos investimentos desde 2007. A falta de consistência nos recursos destinados à nanotecnologia e a ausência de priorização nos editais específicos faz com que o Brasil perca em relação a esse recurso (Barbosa; Bagattolli; Invernizzi, 2018).

É evidente que o potencial revolucionário da nanotecnologia e sua posição na fase inicial de sua trajetória tecnológica exigem uma abordagem mais consistente e sustentada por parte das políticas públicas de fomento à inovação. O governo brasileiro, ao incluir a nanotecnologia entre as prioridades e prometer equipará-la ao

avanço obtido na biotecnologia, reconhece a importância estratégica desse campo para o futuro da economia nacional e mundial. Os resultados de vanguarda alcançados pela nanotecnologia brasileira, especialmente na área farmacêutica e de interface com a biotecnologia, corroboram a necessidade de um compromisso contínuo e robusto com essa área. Os nanocarreadores, por exemplo, representam uma conquista significativa, com aplicações em cosméticos e medicamentos, incluindo quimioterápicos antitumorais. As iniciativas do Ministério de Ciência e Tecnologia, desde os primeiros cursos de capacitação até a criação de grupos de trabalho e programas específicos, demonstram um esforço constante para impulsionar a nanotecnologia no Brasil. No entanto, é importante que esses esforços sejam acompanhados por políticas de fomento à inovação mais consistentes e sustentadas ao longo do tempo (Ramos; Pasa, 2008).

Ao olhar para os indicadores de patentes, fica evidente que há um longo caminho a percorrer. O Brasil ainda ocupa uma posição modesta nesse cenário, tanto em termos de depósitos de patentes quanto em comparação com outros países. É fundamental que haja um apoio contínuo e eficaz para incentivar a pesquisa, o desenvolvimento e a comercialização de tecnologias baseadas em nanotecnologia (Ramos; Pasa, 2008).

6.2 MÉXICO E A NANOTECNOLOGIA

No México, a política de ciência e tecnologia (C&T) está entrelaçada com o movimento em direção à economia do conhecimento, impulsionado por organismos internacionais que reconhecem a importância da C&T para transformar economias emergentes e em desenvolvimento. Embora o país se encontre em uma posição intermediária, ocupando o 59º lugar na capacidade de transição para a economia do conhecimento, suas políticas de C&T são orientadas para criar uma economia mais competitiva e geradora de empregos. As políticas públicas mexicanas refletem a importância atribuída à C&T como motor de crescimento econômico, conforme o Plano Nacional de Desenvolvimento (PND) 2007-2012, que estabelece diretrizes para a construção de uma economia competitiva. Complementarmente, o Programa Especial de Ciência e Tecnologia (PECYT) 2008-2012 destaca o papel estratégico da C&T na promoção da produtividade e competitividade. As mudanças na legislação de C&T fortaleceram o compromisso do México com a inovação, enfatizando a

importância da colaboração entre empresas, setor científico e governo; no entanto, os desafios financeiros têm sido um obstáculo significativo para a implementação eficaz das políticas de C&T, criando uma lacuna entre as ambições dos planos e a realidade das limitações de recursos (Conacyt, 2021).

A política mexicana especificamente em relação à nanotecnologia reflete os objetivos e a dinâmica contidos na política de C&T, ou seja, a busca pela competitividade e pelo fortalecimento da cadeia produtiva para melhorar as vantagens comerciais. Nesse contexto, o México ocupa uma posição de destaque no desenvolvimento da nanotecnologia em comparação com outros países da América Latina, sendo o segundo após o Brasil. Foi no Programa Especial de C&T 2001-2006 que a nanotecnologia foi reconhecida como uma área estratégica dentro do campo dos materiais avançados, em 2001. Mais tarde, o Programa Especial de Ciência, Tecnologia e Inovação 2008-2012 reafirmou a importância da nanotecnologia, colocando-a entre as nove áreas prioritárias para o país. Apesar da identificação da necessidade de um programa nacional e de uma rede de intercâmbio científico na área, conforme mencionado no Programa de 2001, o primeiro objetivo não foi alcançado. Apenas em 2010, a Rede Nacional de Nanociência e Nanotecnologia (RNN) foi estabelecida, mostrando um atraso considerável nesse aspecto. Dessa forma, as iniciativas para promover a nanotecnologia ocorreram de forma descentralizada, integradas em programas e ações já existentes dentro da política mexicana de C&T (Conacyt, 2021).

As primeiras redes de pesquisa foram constituídas de maneira orgânica por cientistas. Em 2006, o Conacyt lançou uma convocatória para a execução de grandes projetos de pesquisa científica ou tecnológica em áreas estratégicas, os quais foram implementados por meio de redes temáticas (Conacyt, 2021).

6.3 COMPARANDO AS AGENDAS

O Brasil e o México, como duas das maiores economias da América Latina, têm investido na pesquisa e desenvolvimento de nanotecnologias. Ambos os países reconhecem o potencial transformador desta tecnologia emergente e estão trabalhando para estabelecer infraestruturas regulatórias e políticas de apoio.

Contudo, existem diferenças marcantes na forma como cada nação aborda a promoção, regulamentação e aplicação da nanotecnologia.

O Brasil tem investido em infraestrutura de pesquisa, com diversos institutos e centros de excelência dedicados à nanotecnologia, como o Laboratório Nacional de Nanotecnologia (LNNano) e a Rede Nacional de Nanotecnologia (RNN). Esses esforços são complementados por iniciativas governamentais como o PACTI, que alocam recursos substanciais para a pesquisa em nanotecnologia. O Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI) desempenha um papel central na coordenação dessas atividades, promovendo colaborações entre universidades, indústrias e instituições de pesquisa (MCTI, 2020). No México, a infraestrutura de nanotecnologia também é robusta, mas com um enfoque mais colaborativo entre o governo, a academia e o setor privado. O Conacyt lidera os esforços de financiamento e coordenação de pesquisas em nanotecnologia, estabelecendo parcerias com instituições acadêmicas e industriais para fomentar o desenvolvimento de tecnologias baseadas em nanomateriais. Além disso, a participação ativa do setor privado tem sido crucial para impulsionar a inovação e a comercialização de produtos nanotecnológicos no país (Conacyt, 2021).

Como citado, a estrutura regulatória do Brasil para a nanotecnologia é liderada pela Anvisa, que estabelece diretrizes específicas para a avaliação de segurança e eficácia de produtos contendo nanomateriais. A Anvisa (2014) publicou várias resoluções, como a RDC nº 66 de 2017, que aborda a segurança de nanomateriais em produtos de higiene pessoal, cosméticos e perfumes. A ABNT também desempenha um papel importante, criando normas técnicas para harmonizar as práticas nacionais com os padrões internacionais (ABNT, 2015). No México, a Cofepris é a principal agência responsável pela regulação de produtos nanotecnológicos, com diretrizes específicas para a avaliação de segurança em produtos farmacêuticos, alimentos e cosméticos. As NOMs estabelecem requisitos detalhados para a avaliação e uso de nanomateriais, alinhando-se com os padrões internacionais para garantir a segurança e eficácia dos produtos. A colaboração entre Cofepris e Conacyt é essencial para a formulação de políticas e a implementação de regulamentações eficazes (Cofepris, 2018).

Tanto o Brasil quanto o México têm buscado fortalecer suas posições no cenário global de nanotecnologia através de colaborações internacionais e iniciativas

regionais. O Brasil participa de maneira ativa de redes e consórcios internacionais, como o Programa Ibero-Americano de Ciência e Tecnologia para o Desenvolvimento (CYTED), que promove a cooperação em ciência e tecnologia entre países ibero-americanos. Essas colaborações facilitam o intercâmbio de conhecimentos, o desenvolvimento de projetos conjuntos e a capacitação de recursos humanos em nanotecnologia (CYTED, 2020). O México, por sua vez, tem estabelecido parcerias estratégicas com países da América do Norte, Europa e Ásia. A participação em iniciativas como a Rede Latino-Americana de Nanotecnologia e a colaboração com instituições como a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), são exemplos de como o México está integrando seus esforços de nanotecnologia em um contexto global. Essas parcerias ajudam a fortalecer a infraestrutura de pesquisa, a harmonizar regulamentações e a promover a inovação tecnológica (OCDE, 2021).

Apesar dos avanços significativos, ambos os países enfrentam desafios na implementação de políticas eficazes e na promoção de um ambiente regulatório que balanceie inovação e segurança. No Brasil, a burocracia e a fragmentação das políticas públicas podem dificultar a coordenação de esforços entre diferentes agências e setores. Além disso, a necessidade de maior investimento em educação e capacitação em nanotecnologia é um desafio constante (MCTI, 2020). O México enfrenta desafios similares, incluindo a necessidade de fortalecer a infraestrutura de pesquisa e desenvolvimento e de melhorar a coordenação entre as diferentes entidades reguladoras. A dependência de financiamento externo e a necessidade de uma maior integração com o setor privado também são questões que precisam ser abordadas para assegurar um crescimento sustentável da nanotecnologia no país (Conacyt, 2021). No entanto, as oportunidades para ambos os países são vastas. A crescente demanda por produtos nanotecnológicos e a capacidade de inovação de suas instituições de pesquisa colocam Brasil e México em posições estratégicas para liderar o desenvolvimento de tecnologias emergentes na América Latina. Com políticas eficazes e investimentos contínuos, ambos os países têm o potencial de se tornarem líderes globais em nanotecnologia.

7 CONCLUSÃO

A nanotecnologia representa uma das áreas mais promissoras da ciência e da inovação tecnológica contemporânea, com um potencial significativo para revolucionar diversos setores da economia e melhorar a qualidade de vida global devido à sua vasta aplicação. Conforme abordado ao longo desta monografia, a manipulação de materiais em escala nanométrica permite a criação de produtos com propriedades únicas, desde novos medicamentos e sistemas de diagnóstico até materiais mais resistentes e eficientes (Barbosa; Bagattolli; Invernizzi, 2018).

No cenário mundial, os investimentos em nanotecnologia têm crescido substancialmente, liderados por países como Estados Unidos, China, Japão e a União Europeia. A pesquisa bibliométrica destaca o aumento expressivo da produção científica na área, com a Ásia emergindo como o epicentro dessa inovação tecnológica. A expansão global do setor é refletida pelo crescimento do número de produtos nanotecnológicos comercializados e patentes registradas, demonstrando a intensa competição e a inovação contínua (Statnano, 2023), criando um mercado dinâmico e inovador.

A regulação da nanotecnologia, entretanto, permanece um desafio significativo. Há a necessidade de políticas eficazes que garantam a segurança dos nanomateriais para a saúde humana e o meio ambiente é fundamental. Pesquisas indicam que as nanopartículas podem apresentar riscos toxicológicos e ambientais devido às suas propriedades reativas em escala nanométrica, o que pode acarretar impactos na saúde e no meio ambiente (Gatti, 2014). Portanto, uma abordagem regulatória precatória é recomendada para mitigar potenciais danos e garantir o desenvolvimento seguro e sustentável da nanotecnologia (Lazzaretti; Hupffer, 2020).

Ao comparar as agendas de Brasil e México, observa-se que ambos os países apresentam esforços para integrar a nanotecnologia em suas economias e que, ainda, enfrentam desafios substanciais em termos de inovação e desenvolvimento tecnológico na área. Esses dois países possuem um número limitado de patentes e uma infraestrutura de pesquisa ainda em desenvolvimento, refletindo uma dependência tecnológica que precisa ser superada para poderem competir de forma mais eficaz no cenário global (Ferreira, 2009). A falta de investimento contínuo e de políticas públicas para a nanotecnologia pode limitar o avanço dos países na área. Também nota-se que o Brasil e o México estão engajados

a acompanhar e contribuir para o avanço global da nanotecnologia por parcerias e redes internacionais e regionais, como o Brasil na participação no CYTED e o México na adesão à Rede Latino-Americana da Nanotecnologia.

Em síntese, a nanotecnologia não só promete avanços significativos em diversos campos, mas também exige uma atenção meticulosa às questões de regulação e segurança. Os esforços globais para fomentar a pesquisa e o desenvolvimento nessa área devem ser acompanhados por políticas eficazes que garantam a proteção ambiental e a saúde pública, enquanto se busca uma distribuição equitativa dos benefícios tecnológicos para todas as nações (Silva; Pinto, 2020). A agenda de nanotecnologia no Brasil e no México não avança de forma significativa devido a uma combinação de fatores estruturais e conjunturais. Ambos os países enfrentam desafios relacionados à descontinuidade e insuficiência de investimentos em pesquisa e desenvolvimento (P&D), o que compromete a competitividade e a capacidade de inovação no setor. Além disso, a falta de políticas públicas consistentes e de longo prazo, aliada a uma infraestrutura de pesquisa ainda em consolidação, limita o potencial de desenvolvimento de tecnologias emergentes. No âmbito regulatório, a ausência de uma governança clara e harmonizada para nanomateriais gera incertezas, impactando tanto a comercialização quanto a segurança de produtos nanotecnológicos. Essa situação é agravada pela baixa produção de patentes, que reflete uma dependência tecnológica significativa de países mais avançados. Apesar de esforços em parcerias internacionais, como a participação do Brasil no CYTED e do México na Rede Latino-Americana de Nanotecnologia, essas iniciativas ainda não são suficientes para superar os entraves que impedem a plena integração de ambos os países na liderança global da nanotecnologia. Para países como Brasil e México, a implementação de políticas públicas robustas, investimentos em pesquisa e desenvolvimento, juntamente com a colaboração internacional, são cruciais para que esses países aproveite os benefícios da nanotecnologia, melhorar suas infraestruturas de pesquisas e padronizar a regulamentação de produtos nanotecnológicos (Shea; Grinde; Elmslie, 2011).

REFERÊNCIAS

ABNT. **Norma Técnica ABNT NBR ISO/TR 13121:2015** - Nanotecnologias - Avaliação e gestão de riscos de nanomateriais manufaturados. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2015. Disponível em: <https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=351461>. Acesso em: 28 jul. 2024.

ALEIXANDRE-TUDÓ, J. L., *et al.* Nanotechnology in Food Science and Technology: A Bibliometric Analysis of Tendencies, Funding, and Challenges. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 71, n. 12, p. 4164-4177, 2023.

ALMEIDA, Paulo Roberto de. **Política comercial brasileira em perspectiva histórica: características constantes, comportamento errático**. Revista Eletrônica SSRN, jan. 2013. DOI: 10.2139/ssrn.3483346. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/337411855_Brazilian_Trade_Policy_in_Historical_Perspective_Constant_Features_Erratic_Behavior. Acesso em: 21 set. 2024.

AMARAL, F. **Programa de parcerias de investimentos - PPI e o Direito da infraestrutura**. Revista Eletrônica da PGE-RJ, [S. l.], v. 1, n. 1, 2018. DOI: 10.46818/pge.v1i1.8. Disponível em: <https://revistaeletronica.pge.rj.gov.br/index.php/pge/article/view/8>. Acesso em: 21 set. 2024.

ANVISA. **Resolução RDC nº 66, de 8 de outubro de 2014**. Agência Nacional de Vigilância Sanitária, 2014. Disponível em: http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2014/rdc0066_08_10_2014.html. Acesso em: 28 jul. 2024.

Araujo de Souza, Thais Andreia, Vieira, Marieli, & Silva da Cunha, Marina. (2020). **Evidências sobre mudança estrutural, heterogeneidade estrutural e regional: Uma análise da produtividade do trabalho brasileira no período 2004-2015**. Revista Economia e Sociedade, 35(75), 190. <https://doi.org/10.5007/1982-5153.2020v35n75p190>.

ARENÁS, Judith Licea de; CASTAÑOS-LOMNITZ, Heriberta; VALLES, Javier;

GONZÁLEZ, Eric. **Fuga de cérebros científica mexicana: causas e impacto.** Research Evaluation, v. 10, n. 2, p. 115-119, ago. 2001. Disponível em: <https://doi.org/10.3152/147154401781777079>. Acesso em: 22 set. 2024.

BARBOSA, M. C.; BAGATTOLLI, L.; INVERNIZZI, D. **Emerging Technologies and Innovation.** Nanotechnology Reviews, 2018.

BARBOSA, T., C.; BAGATTOLLI, C.; INVERNIZZI, N. **Política de inovação em nanotecnologia no Brasil: a trajetória dos instrumentos financeiros não reembolsáveis.** R. Tecnol. Soc. v. 14, n. 31, p. 56-74, mai./ago. 2018. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/rts/article/view/5970>. Acesso em: 16 de out. de 2023.

CALDERÓN-ALTAMIRANO, Elisa; CASTRO-CORIA, Eva. **Transferência de tecnologia universidade-indústria e sistema de inovação no México.** Vinculatégica EFAN, 31 de julho de 2019. DOI: 10.29105/vtga5.2-770. Disponível em: <https://www.semanticscholar.org/reader/cd774a16bfabcdfc3050c8e699fc3b44f6d3774e>. Acesso em: 21 set. 2024.

CAMARENA, Teresa Yurén; PASCACIO, Luis Enrique García. **Políticas de ciencia, tecnología e innovación en México: análisis y perspectivas.** CPU-e, Revista de Investigación Educativa, 2022. Disponível em: <https://cpue.uv.mx/index.php/cpue/article/view/2818/4620>. Acesso em: 21 set. 2024.

CARDOSO, Adalberto. **Informalidade e políticas públicas para superá-la: o caso do Brasil.** DOI: 10.1590/2238-38752016V622. Disponível em: https://www.semanticscholar.org/paper/INFORMALITY-AND-PUBLIC-POLICIES-TO-OVERCOME-IT.-THE-Cardoso/ade2cb65e871cd0f014104fcd7199761dad7842d?utm_source=direct_link. Acesso em: 21 set. 2024.

CASTELLANOS ELÍAS, J. **Industria automotriz y TLCAN: Las empresas estadounidenses.** Ola Financiera, [S. l.], v. 9, n. 25, p. 128–163, 2016. DOI: 10.22201/fe.18701442e.2017.25.57736. Disponível em:

<https://www.revistas.unam.mx/index.php/ROF/article/view/57736>. Acesso em: 21 set. 2024.

CAVALCANTE, Luiz Ricardo. **Consenso difuso, dissenso confuso: paradoxos das políticas de inovação no Brasil**. *Ciência Política*, 1 de agosto de 2013. Disponível em: <https://www.semanticscholar.org/paper/Consenso-Difuso%2C-Dissenso-Confuso%3A-Paradoxos-das-de-Cavalcante/90c098bbbd3d138e4d47ff801c68f8b4d9ab7ef>. Acesso em: 22 set. 2024.

CIÊNCIA E CULTURA. **A nanotecnologia na saúde**. Disponível em: <https://revistacienciaecultura.org.br/?artigos=a-nanotecnologia-na-saude>. Acesso em: 30 jul. 2024.

COFEPRIS. **Lineamientos para la Evaluación de Seguridad de Nanomateriales en Productos**. Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios, 2018. Disponível em: <https://www.gob.mx/cofepris>. Acesso em: 28 jul. 2024.

COLOMBO, N. da S.; FERREIRA, C. R. **Estrutura e desigualdade da renda na região nordeste, de 2004 a 2015**. *Revista de Economia Regional, Urbana e do Trabalho*, [S. l.], v. 8, n. 2, p. 87–111, 2020. DOI: 10.21680/2316-5235.2019v8n2ID16721. Disponível em: <https://periodicos.ufrn.br/rerut/article/view/16721>. Acesso em: 21 set. 2024.

CONACYT. **Informe General del Estado de la Ciencia, la Tecnología y la Innovación en México**. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, 2021. Disponível em: <https://www.Conacyt.gob.mx/index.php/el-Conacyt/informe-general>. Acesso em: 28 jul. 2024.

COSTA, Karen; MENEZES, H.; FRANZONI, Marcela. **Inovação e desenvolvimento: a importância das Relações Internacionais**. 20 de dezembro de 2016. Disponível em: <https://www.semanticscholar.org/paper/Inova%C3%A7%C3%A3o-e-desenvolvimento%3A-a-import%C3%A2ncia-das-Costa-Menezes/4f82c24cf9b8ece699b757b4c3bdee30dd4c0199>. Acesso em: 22 set. 2024.

COSTA, Karen; MENEZES, H.; FRANZONI, Marcela. **Inovação e desenvolvimento:**

a importância das relações internacionais. Semantic Scholar, 20 dez. 2016. Disponível em: <https://www.semanticscholar.org/paper/Inova%C3%A7%C3%A3o-e-desenvolvimento%3A-a-import%C3%A2ncia-das-Costa-Menezes/4f82c24cf9b8e699b757b4c3bdee30dd4c0199>. Acesso em: 22 set. 2024.

CRUZ, Ramón de la; DELFINA, María. **Desigualdad salarial y desplazamientos de la demanda calificada en México, 1993-1999.** "El Trimestre Económico", v. 71, n. 284, p. 625-680, 2004.

DANTAS, Aline Chianca; MASCARELLO, Júlia; SANT'ANNA, Nanahira de Rabelo e. **Brazil's international cooperation in science, technology, and innovation in the context of the COVID-19 pandemic.** Boletim de Economia e Política Internacional, n. 27, maio/ago. 2020. Disponível em: https://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/boletim_internacional/200930_bepi_27_a4.pdf. Acesso em: 22 set. 2024.

DAVIDOVICH, Luiz. **Desafios globais para a ciência, a tecnologia e a inovação.** Revista Tempo do Mundo, n. 28, abr. 2022. Disponível em: https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/13291/1/Tempo_Mundo_28_Introducao.pdf. Acesso em: 22 set. 2024.

DE BORTOLI, Arthur Facin; OLIVEIRA, Marlize Rubin; PEZARICO, Giovanna. **Estratégia nacional de ciência, tecnologia e inovação (2016-2019): uma análise das políticas de CTI no Brasil.** Colóquio – Revista do Desenvolvimento Regional, Faccat, Taquara/RS, v. 17, n. 4, p. 94-113, out./dez. 2020.

DE NEGRI, João Alberto i. **Investir em inovação é garantir o futuro.** Radar: tecnologia, produção e comércio exterior, n. 64, p. 27–30, 2020.

DOUGHERTY, Shaun. **Impulsionando o crescimento e reduzindo a informalidade no México.** 6 de março de 2015. DOI: 10.1787/5JS4W28DNN28-PT. Disponível em: <https://www.oecd-ilibrary.org/docserver/5js4w28dnn28-en.pdf?expires=1726937833&id=id&accname=guest&checksum=F393B2D1FB9647>

7A794A2A42B21ED10C. Acesso em: 21 set. 2024.

DUTRÉNIT, G. **Políticas de inovação para fortalecer as capacidades da fabricação avançada no México**. *Ciência Política*, 1 de junho de 2015. Disponível em: https://www.semanticscholar.org/paper/Pol%C3%ADticas-de-innovaci%C3%B3n-para-fortalecer-las-en-en-Dutr%C3%A9nit/ebb449402ac5465c527e2d71df525fd48176b69e?utm_source=direct_link. Acesso em: 20 set. 2024.

ESTRE, Felipe Bernardo. **Integração sem sentido: desafios da política brasileira para a integração regional**. Doutorado em Relações Internacionais, Universidade de São Paulo. [s.d.]. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/conjgloblal/article/view/58560/36220>. Acesso em: 21 set. 2024.

EUROPEAN COMMISSION. **Commission Recommendation of 18 October 2011 on the definition of nanomaterial**. Official Journal of the European Union, L 275, 2011. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32011H0696&from=EN>. Acesso em: 28 jul. 2024.

EXAME. **Pesquisadores chineses desenvolvem nanopartículas capazes de detectar e tratar câncer**. Disponível em: <https://exame.com/ciencia/pesquisadores-chineses-desenvolvem-nanoparticulas-capazes-de-detectar-e-tratar-cancer/>. Acesso em: 30 jul. 2024.

FARGONI, E. H. E. CIÊNCIA, **Trabalho e a fuga de cérebros do Brasil**. *Trabalho & Educação*, Belo Horizonte, v. 32, n. 2, p. 101–115, 2023. DOI: 10.35699/2238-037X.2023.40156. Disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/trabedu/article/view/40156>. Acesso em: 22 set. 2024.

FERREIRA, Eduardo Mohana Silva; SILVA, Enaire de Maria Sousa da; GARCEZ, Railson Marques. **Ciência, tecnologia e inovação (CT&I) como proxy para uma estratégia nacional de desenvolvimento econômico e social**. *Mundo Econômico*,

2023. DOI: 10.47592/mundec09015022. Disponível em: [https://www.semanticscholar.org/paper/CI%C3%80ANCIA%2C-TECNOLOGIA-E-INOVA%C3%87%C3%83O-\(CT%26I\)-COMO-PROXY-DE-Ferreira-Silva/8417af6811ddae79166d6450a433539d21484e06](https://www.semanticscholar.org/paper/CI%C3%80ANCIA%2C-TECNOLOGIA-E-INOVA%C3%87%C3%83O-(CT%26I)-COMO-PROXY-DE-Ferreira-Silva/8417af6811ddae79166d6450a433539d21484e06). Acesso em: 21 set. 2024.

FERREIRA, H. S.; RANGEL, M. C. **Nanotecnologia: aspectos gerais e potencial de aplicação em catálise**. Quím. Nova, São Paulo, v. 32, n. 7, p. 1860-1870, 2009. Acesso em: 16 out. 2023.

FERREIRA, P. H. **The Evolution of Nanoscience**. Nanotechnology Today, 2009.

FILIPPO, Agustín; GUAIPATIN, Carlos. **Modelo de intervenção nas cadeias globais de valor das indústrias pesadas e outros setores estratégicos no México**. Agosto de 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.18235/0003756>. Acesso em: 22 set. 2024.

FLORES PAREDES, J.; CALDERÓN MARTÍNEZ, M. G.; VIGUERAS GARCÍA, A. **México y Brasil en el Siglo XXI: Estrategias de Desarrollo Divergentes**. Revista Universitaria Digital de Ciencias Sociales (RUDICS), v. 2, n. 2, p. 103–135, 2011.

FLORES, Lídia Treio; NAVARRETTE, Carlos J.; GOMEZ, Jose. **Fatores que influenciam a decisão de terceirizar tecnologias de informação**. In: Procedimentos da AMCIS 2008, 2008. p. 189. Disponível em: <https://aisel.aisnet.org/amcis2008/189>. Acesso em: 21 set 2024.

GARDUÑO RIVERA, R. **La apertura comercial y su efecto en la distribución regional de México**. El Trimestre Económico, [S. l.], v. 81, n. 322, p. 413–439, 2014. DOI: 10.20430/ete.v81i322.118. Disponível em: <https://www.eltrimestreeconomico.com.mx/index.php/te/article/view/118>. Acesso em: 21 set. 2024.

GATTI, A. **Safety and Risks in Nanotechnology**. Environmental Nanotechnology, 2014.

GOMERO Gonzáles, Nicko Alberto. **Volatilidad de los commodities mineros y su incidencia en la economía nacional**. Quipukamayoc, [S. l.], v. 25, n. 48, p. 91–100, 2017. DOI: 10.15381/quipu.v25i48.13999. Disponível em: <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/quipu/article/view/13999..> Acesso em: 21 set. 2024.

GONÇALVES, R. **Competitividade internacional e integração regional: a hipótese da inserção regressiva**. Ciência Política: Revista de Economia Contemporânea, 2001. ID do corpus: 156126647.

GONZÁLEZ RIVAS, Marcela. **Abertura comercial, infraestrutura e bem-estar do sul do México**. Estudos Mexicanos/Estudios Mexicanos, v. 27, n. 2, p. 407-429, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1525/msem.2011.27.2.407>.

GUTIÉRREZ FLORES, L. **La distribución del ingreso en México: un análisis regional, 1990-2004**. Problemas del Desarrollo. Revista Latinoamericana de Economía, v. 39, n. 152, 5 oct. 2009.

HARVARD UNIVERSITY. **Atlas of Economic Complexity**. Disponível em: <https://atlas.cid.harvard.edu/>. Acesso em: 21 set. 2024.

HERNANDEZ MOTA, José Luis. **La transformación estructural de la economía mexicana: ¿milagro o desastre económico?** Economía UNAM, [online], v. 15, n. 45, p. 50-69, 2018. ISSN 1665-952X. Disponível em: <https://doi.org/10.22201/fe.24488143e.2018.45.405>. Acesso em: 21 set. 2024.

HESTI EKA DENATA; NOVERA LUTHFIANI; FATIMATUZ ZAHRO. **O IMPACTO DO NAFTA NO MÉXICO**. SIYAR Journal, [S. l.] , v. 3, n. 2, p. 131–141, 2023. DOI: 10.15642/siyar.2023.3.2.131-141. Disponível em: <https://jurnalfisip.uinsa.ac.id/index.php/siyar/article/view/508>. Acesso em: 21 set. 2024.

HORIZON EUROPE. **About Horizon Europe Programme**. Disponível em: https://horizon--europe-org-ua.translate.google.com/en/about-he/he-programme/?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=pt&_x_tr_hl=pt-BR&_x_tr_pto=sc. Acesso em: 30 jul. 2024.

LAZZARETTI, B.; HUPFFER, C. **Nanotechnology Regulation: A Precautionary Approach**. Journal of Nanotechnology and Safety, 2020.

LEITE, Andreia Sofia Duarte da Costa; PAIVA, Daniel da Silva; SOUZA, Jociane. **Políticas públicas de inovação: breve estudo sobre os marcos conceituais, desafios e suas perspectivas no Brasil**. Revista de Empreendedorismo e Gestão de Micro e Pequenas Empresas, 2021.

LÓPEZ ARÉVALO, Jorge Alberto. **O crescimento económico de México e a sua dependencia da política contracíclica dos Estados Unidos no marco da integración**. Revista Galega de Economía, v. 31, n. 1, 2022. ISSN 2255-5951. DOI: <https://doi.org/10.15304/rge.31.1.8004>.

LQES. **Nanotecnologia: Conheça as Novidades de 2001**. Disponível em: https://lqes.iqm.unicamp.br/canal_cientifico/lqes_news/lqes_news_cit/lqes_news_2001/lqes_news_novidades_12.html. Acesso em: 30 jul. 2024.

LUDEÑA, Mercy Escalante. **AVALIAÇÃO DE REDES DE INOVAÇÃO EM NANOTECNOLOGIA**-: a proposta de um modelo. 2008. 177 f. Tese (Doutorado) - Curso de Administração, Departamento de Administração, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

MARINI, Marcos Junior; DA SILVA, Christian Luiz. **Política de ciência e tecnologia e desenvolvimento nacional: reflexões sobre o plano de ação brasileiro**. Desenvolvimento em Questão, Editora Unijuí, ano 9, n. 17, p. 9-38, jan./jun. 2011.

MCTI. **Plano de Ação em Ciência, Tecnologia e Inovação 2020-2023**. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações, 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/assuntos/acoes-e-programas/plano-de-acao-em-ciencia-tecnologia-e-inovacao-pacti>. Acesso em: 28 jul. 2024.

MEDEIROS, José Adelino de; PERILO, Sérgio Alves. **Implantação e consolidação de um polo tecnológico: o caso de São José dos Campos**. Revista de Administração de Empresas, São Paulo, v. 30, n. 2, p. 35-45, abr./jun. 1990. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rae/a/zqmnffgzgWky54qNjWQJrmb/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em: 22 set. 2024.

MELO, J. N. de; SANTANA, J. R. de; SILVA, G. F. da. **CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO NO BRASIL: UMA ANÁLISE INTER-REGIONAL POR MEIO DE INDICADORES**. Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional, [S. l.], v. 15, n. 1, 2019. Disponível em: <https://www.rbgdr.net/revista/index.php/rbgdr/article/view/4321>. Acesso em: 21 set. 2024.

MELO, Luiz Martins de. **Financiamento à Inovação no Brasil: análise da aplicação dos recursos do Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FNDCT) e da Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) de 1967 a 2006**. Revista Brasileira de Inovação, Campinas, SP, v. 8, n. 1, p. 87–120, 2009. DOI: 10.20396/rbi.v8i1.8648976. Disponível em: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/rbi/article/view/8648976>. Acesso em: 22 set. 2024.

MENDONÇA, Marco; AURÉLIO, Alves ; FREITAS, Rogério. **Biotecnologia: Perfil dos grupos de pesquisa no Brasil**. [s.l.: s.n., s.d.]. Disponível em: <<https://www.econstor.eu/bitstream/10419/91004/1/597623287.pdf>>. Acesso em: 21 set. 2024.

MERCHAND ROJAS, M. A. **¿Es México un Estado reproductor de las desigualdades regionales?**. Revista Finanzas y Política Económica, [S. l.], v. 6, n. 2, p. 403–426, 2014. DOI: 10.14718/revfinanzpolitecon.2014.6.2.9. Disponível em: <https://revfinypolecon.ucatolica.edu.co/article/view/77>. Acesso em: 21 set. 2024.

METI. **Guidelines for Evaluating the Safety of Nanomaterials**. Ministry of Economy, Trade and Industry, 2009. Disponível em: <https://www.meti.go.jp/english/index.html>. Acesso em: 28 jul. 2024.

MIRANDA, Arturo Vicencio. **La industria automotriz en México: antecedentes, situación actual y perspectivas**. Facultad de Contaduría y Administración, UNAM, Artículos, núm. 221. Disponível em: <https://repositorio.unam.mx/contenidos/14244>. Acesso em: 21 set. 2024.

MOLINA, Arturo; AGUIRRE, Jose Manuel; BRECEDA, Monica; CAMBERO, Claudia. **Parques tecnológicos e desenvolvimento baseado em conhecimento no México: experiência do Tecnológico de Monterrey CIT²**. International Journal of Entrepreneurship and Innovation Management (IJEIM), v. 13, n. 2, 2011. Disponível em: <https://www.inderscience.com/offers.php?id=38859>. Acesso em: 22 set. 2024.

MORENO, RG; ÁLVAREZ BÉJAR, Alejandro Rogelio. **Análise das condições estruturais da indústria automotiva no México antes da entrada em vigor do T-MEC**. Economía, Negócios: Economía UNAM, 2021. ID do corpus: 238448810. Disponível em: https://www.semanticscholar.org/paper/An%C3%A1lisis-de-las-condiciones-estructurales-de-la-en-Moreno-B%C3%A9jar/d4955d33f026f389c41e10b211206662b6884217?utm_source=direct_link. Acesso em: 21 set. 2024.

NAKAMURA, André Luiz dos Santos. **A infraestrutura e a corrupção no Brasil**. Revista Brasileira de Estudos Políticos, Belo Horizonte, n. 117, p. 97-126, jul./dez. 2018. DOI: 10.9732/P.0034-7191.2018V117P97.

NASCIMENTO, Eduardo Castelã. **A abordagem evolucionária da inovação e sua relação com a trajetória dos investimentos em P&D no Brasil do século XXI: uma reflexão sobre os nexos com a inovação e o crescimento econômico**. Revista Americana de Empreendedorismo e Inovação, v. 6, n. 1, 2024. DOI: <https://doi.org/10.33871/26747170.2024.6.1.9050>.

NEGRI, F.; CAVALCANTE, L. R. **Evolução recente dos indicadores de produtividade no Brasil**. 2013.

NEGRI, F.; LAPLANE, M. **Investimento direto e transferência de tecnologia: Argentina, Brasil e México**. Física, 15 de outubro de 2007. Disponível em: <https://www.semanticscholar.org/paper/Investimento-direto-e-transferencia-de-tecnologia-%3ANegri-Laplane/1d70a1a88acd8c6d9f73c1f8a5c12424ffa28155>. Acesso em: 24 set. 2024.

NNI. **National Nanotechnology Initiative**: about nanotechnology. Disponível em: <https://www.nano.gov/about-nanotechnology>. Acesso em: 23 set. 2023.

NOM. **Normas Oficiais Mexicanas (NOM)**. Secretaría de Economía, 2016. Disponível em: <http://www.economia-noms.gob.mx/noms/inicio.do>. Acesso em: 28 jul. 2024.

PÉREZ CRUZ, OA. **Inovação e transferência de tecnologia no México. Uma análise empírica de dados em painel**. RIDE Revista Ibero-Americana de Pesquisa e Desenvolvimento Educacional , v. 10, não. 19, 8 de agosto. 2019.

QUINTAM, Carlos Paim Rifan; ASSUNÇÃO, Gerson Maico de. **Perspectivas e desafios do agronegócio brasileiro frente ao mercado internacional**. Revista Científica Multidisciplinar, v. 4, n. 7, 2023. ISSN 2675-6218. DOI: <https://doi.org/10.47820/recima21.v4i7.3641>.

RAMOS, B. G. Z.; PASA, T. N. B. C. O desenvolvimento da nanotecnologia: cenário mundial e nacional de investimentos. **Revista Brasileira de Farmácia**, Rio de Janeiro, v. 89, n. 2, p. 95-101, 2008. Acesso em: 10 dez. 2023.

SALAS, C. **Entre o desemprego e a insegurança no México: O NAFTA entra na sua segunda década**. 2006. Disponível em: <https://www.semanticscholar.org/paper/BETWEEN-UNEMPLOYMENT-AND-INSECURITY-IN-MEXICO-NAFTA->

Salas/be55bdc03b068e15d23dd62064995783659d5d3b. Acesso em: 21 set. 2024.

SANTOS, Gilmar Ribeiro dos; PALES, Raíssa Cota; RODRIGUES, Silvia Gomes. **Desigualdades regionais no Brasil – 1991-2010**. 23 de dezembro de 2014. DOI: 10.6020/1679-9844/3106. Disponível em: https://www.semanticscholar.org/paper/DESIGUALDADES-REGIONAIS-NO-BRASIL-%E2%80%93-1991-2010-Santos-Pales/9c68ed939ad80863d3d472f84b50b7896e0c7532?utm_source=direct_link. Acesso em: 21 set. 2024.

SHEA, C. M.; GRINDE, R.; ELMSLIE, B. Nanotechnology as general-purpose technology: empirical evidence and implications. **Technology Analysis & Strategic Management**, Durham, v. 23, n. 2, p. 175-192, fev. 2011.

SHEA, E.; GRINDE, K.; ELMSLIE, D. General Purpose Technologies and Their Impact. *Technological Forecasting and Social Change*, 2011.

SILVA, A. B.; PINTO, J. F. Historical Development of Nanotechnology. *Nano Today*, 2020.

SILVA, P D. Nanotecnologia. **Janus 2006: A Nova Diplomacia**. Lisboa, 2006. Acesso em: 16 out. 2023.

SILVA, T. DE PAULA; PINTO, G. SCOMBATTI. NANOTECNOLOGIA E SUA INFLUÊNCIA NA EVOLUÇÃO DA MEDICINA. **Revista Interface Tecnológica**, [S. l.], v. 17, n. 2, p. 269–280, 2020. Disponível em: <https://revista.fatectq.edu.br/interfacetecnologica/article/view/982>. Acesso em: 16 out. 2023.

SKRENSKI, José Henrique; MORAIS DA SILVA, José Lourenço Kutzke; STIGAR, Robson. **Nanotecnologia: conceitos e os impactos à saúde dos trabalhadores**. **Revista eletrônica multidisciplinar**. FACEAR. Fev. 2021. Disponível em: [https://revista.facear.edu.br/artigo/download/\\$/nanotecnologia-conceitos-e-os-impactos-a-saude-dos-trabalhadores](https://revista.facear.edu.br/artigo/download/$/nanotecnologia-conceitos-e-os-impactos-a-saude-dos-trabalhadores). Acesso em: 05 ago. 2024.

SOARES, Luiz Henrique. **O valor do conhecimento e o domínio da China**. *Jornal da USP*, 2024. Disponível em: <https://jornal.usp.br/artigos/o-valor-do-conhecimento-e-o-dominio-da-china/>. Acesso em: 30 jul. 2024.

STATNANO. **Global Nanotechnology Commercialization Report**. StatNano, 2023.

STEZANO, Federico; PADILLA-PÉREZ, Ramón. **Gobernanza y coordinación entre el ámbito federal y estatal en las instituciones y programas de innovación e competitividad em México**. Banco Interamericano de Desenvolvimento, División de Competitividad e Innovación, Departamento de Instituciones para el Desarrollo (IFD/CTI). Março 2013.

TAKAYAMA, Alessandro; PANHAN, Andre Marcelo. **Indústria 4.0: desafios e oportunidades para a indústria brasileira**. Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação, São Paulo, v. 8, n. 05, maio 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.51891/rease.v8i5.5591>. Acesso em: 22 set. 2024.

TOMANZINI, Rosana Corrêa. **Entendendo a cooperação entre a União Europeia e o Brasil: duas décadas de ações conjuntas**. Revista Brasileira de Políticas Públicas e Internacionais, v. 3, n. 1, p. 50-74, jun. 2018.

U.S. EPA. **EPA's Chemical Safety for Sustainability Research Program**. U.S. Environmental Protection Agency, 2022. Disponível em: <https://www.epa.gov/chemical-research>. Acesso em: 28 jul. 2024.

Yang, J., Li, W., Wang, D., Zhuang, Q., & Zhang, H. (2020). **Insights into the Roles of Amino Acids in the Interface of Nanoparticles and Biosystems**. *Molecules*, 25(1), 112. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6982820/pdf/molecules-25-00112.pdf>. Acesso em 30 de julho de 2024.