

BIOINSUMOS E SUSTENTABILIDADE: EVIDÊNCIAS EMPÍRICAS SOBRE ADOÇÃO, ADOÇÃO, POLÍTICAS E ESTRUTURA DE MERCADO NO BRASIL

Bioinputs and sustainability: empirical evidence on adoption, policies, and market structure in Brazil

Luis Eduardo Pacifici Rangel, Juliana Lopes Lima, Marcos Antônio Gomes Pena Júnior, Warley Henrique da Silva

RESUMO: Este estudo analisa empiricamente os determinantes da adoção de bioinsumos no Brasil e a estrutura de seu mercado, investigando o impacto de políticas públicas. Utilizando uma abordagem quantitativa com dados estaduais, aplicaram-se modelos Logit e Diferença-em-Diferenças (DiD). Os resultados indicam que políticas como o Plano ABC e o Programa Nacional de Bioinsumos (PNB) apresentam associação positiva, mas não demonstram impacto causal direto e significativo na adoção no curto prazo. A adoção é predominantemente impulsionada por fatores econômicos e estruturais: defensivos biológicos correlacionam-se mais com desenvolvimento técnico-institucional (IDH, Agrônomos), enquanto inoculantes respondem fortemente a variáveis de mercado (Valor Bruto da Produção) e acesso a crédito sustentável. A análise de concentração revelou um mercado de inoculantes competitivo e fragmentado, contrastando com a relativa concentração no segmento de defensivos biológicos. Conclui-se que o crescimento do setor segue uma lógica de mercado, com as políticas atuando mais como catalisadoras indiretas do que como motores principais. O estudo evidencia a necessidade de políticas diferenciadas e integradas, aliando crédito, assistência técnica e regulação para consolidar uma transição sustentável.

Palavras-chave: Política Pública; Bioinsumos; Sustentabilidade.

ABSTRACT: This study empirically analyzes the determinants of bioinput adoption in Brazil and its market structure, investigating the impact of public policies. Using a quantitative approach with state-level data, we applied Logit and Difference-in-Differences (DiD). The results indicate that policies such as the ABC Plan and the National Bioinputs Program (PNB) show a positive association but do not demonstrate a direct and significant causal impact on short-term adoption. Adoption is predominantly driven by economic and structural factors: biological control products are more correlated with technical-institutional development (HDI, agronomists), while inoculants respond strongly to market variables (Gross Production Value) and access to sustainable credit. Market concentration analysis revealed a competitive and fragmented market for inoculants, contrasting with the relative concentration in the biological control segment. It is concluded that the sector's growth follows a market logic, with policies acting more as indirect catalysts than as primary drivers. The study highlights the need for differentiated and integrated policies, combining credit, technical assistance, and regulation to consolidate a sustainable transition.

Keywords: Public Policy; Bioinputs; Sustainability.

Sobre os autores



Luis Eduardo Pacifici Rangel

Engenheiro Agrônomo, Especialista em Agropecuária Sustentável (CCAS), ex-Secretário de Defesa Agropecuária e Ex-Diretor de Análise Econômica e Políticas Públicas do MAPA



Juliana Lopes Lima

Engenheira Agrônoma pela Universidade de Brasília (2013). Coordenadora de Produção, Analista de Sistemas de Qualidade e Investigadora Forense AsureQuality (AQ), Wellington, Nova Zelândia (2017 a 2022).



Marcos Antônio Gomes Pena Júnior

Economista e Especialista em Planejamento e Estratégias de Desenvolvimento e em Gestão do Agronegócio. Liderou o Sistema de Inteligência Estratégica da Embrapa - Agropensa



Warley Henrique da Silva

Analista Técnico no Sebrae Nacional. Atua como gestor nacional do setorial de Pesca e Aquicultura. É engenheiro, mestre e doutorando em Agronegócios pela UnB.

1. Introdução

O contexto brasileiro na área de Bioinsumos pode ser caracterizado como um conjunto de projetos, planos e programas que estabelecem contato entre a produção de ações governamentais, o conhecimento científico e acadêmico e a necessidade de atendimento as demandas dos consumidores finais de alimentos, para adoção de insumos sustentáveis para a agropecuária.

A incorporação de bioinsumos no setor agropecuário não ocorre de maneira isolada, mas sim inserida em um contexto mais amplo de formulação de políticas públicas voltadas à sustentabilidade e inovação no setor produtivo. A crescente demanda por alternativas aos insumos químicos tradicionais impulsionou diversos governos a desenvolverem programas e regulamentações que incentivam a adoção de bioinsumos.

Nesse contexto, o monitoramento contínuo é necessário, pois sua implementação precisa ser ajustada conforme novas evidências científicas e mudanças no contexto social (Agum et al., 2015).

O Programa Nacional de Bioinsumos (PNB) é a representação institucional, formalmente instituída com a publicação do Decreto nº 10.375 de 26 de maio de 2020. O PNB foi concebido com o objetivo de ampliar e fortalecer o setor de bioinsumos do Brasil, promovendo um conjunto de inovações, considerando práticas e processos, capazes de oferecer alternativas ao uso continuado de insumos de custo e riscos elevados (Vidal et al., 2021).

Os bioinsumos são elementos (produtos, processos ou tecnologias) originados de seres vivos (animais, plantas ou da atividade microbiana) que se destinam à produção ou ao processamento de diversos produtos agropecuários com o objetivo de estimular o crescimento e desenvolvimento destes, influenciando a forma como animais, plantas e outros organismos respondem a estímulos produtivos e a interação com produtos e processos físico-químicos e biológicos (Brasil, 2020).

O estímulo ao uso de bioinsumos tornou-se um tema cada vez mais presente na formulação de políticas públicas, embora sua implementação varie em intensidade e estratégia. Esse incentivo está interligado a programas mais amplos, como o Plano ABC, voltado para a adaptação climática na agropecuária, e a PNAP, que fomenta a transição para a agroecologia e a produção orgânica.

Face ao exposto, é importante compreender o comportamento desse mercado, considerando os principais fatores que determinam sua trajetória. A proposta de análise desse estudo consiste em: (a) identificar e mensurar os resultados alcançados pelas políticas governamentais na adoção de produtos biológicos para controle de pragas e inoculantes no Brasil; e (b) analisar como a regulamentação influenciou a oferta de produtos e a atual conformação desse mercado.

2. Revisão de Literatura

2.1 Breve contexto sobre análise de cenários versus análise de políticas públicas

A análise de cenários é uma abordagem metodológica usada para explorar futuros possíveis e estruturar decisões diante da incerteza. Em vez de prever um único futuro, ela constrói múltiplas narrativas ou projeções baseadas em variáveis críticas e incertezas estruturais, permitindo que organizações ou pesquisadores considerem diferentes caminhos possíveis. Segundo Schoemaker (1995), os cenários são descrições razoáveis e consistentes de como o ambiente pode evoluir, e sua força está em ampliar a visão estratégica frente à complexidade. Van Notten et al. (2003) reforçam que os cenários podem ser qualitativos ou quantitativos, exploratórios ou normativos, sendo úteis tanto na formulação de políticas públicas quanto na avaliação de tendências de mercado.

Esse contexto é relevante na análise de mercados dinâmicos e sensíveis a fatores externos, como o setor de bioinsumos. Por meio da comparação entre projeções anteriores e os eventos reais ocorridos, é possível identificar quais forças tem maior relevância em moldar o comportamento do mercado (sejam elas econômicas, tecnológicas, regulatórias ou ambientais). Godet (2000) destaca que a análise de cenários deve ser vista como um processo contínuo de aprendizado estratégico, em que os erros e acertos do passado informam decisões futuras.

A formulação de políticas públicas se traduz em projetos e programas que requerem monitoramento contínuo, pois sua implementação precisa ser ajustada conforme novas evidências científicas e mudanças no contexto social. Já a expressão análise de Política Pública (*Policy Analysis*) foi usada para estabelecer contato entre a produção de ações governamentais e o conhecimento científico e acadêmico (Agum et al., 2015).

As “políticas públicas” são um conjunto de programas ou ações governamentais necessárias e suficientes, integradas e articuladas para a provisão de bens ou serviços à sociedade, financiadas por recursos orçamentários ou por benefícios de natureza tributária, creditícia e financeira (IPEA, 2018).

A avaliação de resultados de políticas públicas é crucial para determinar o alcance dos objetivos estabelecidos e seus efeitos na sociedade. Essa avaliação, ainda segundo os autores, abrange a análise de impacto, que busca estabelecer uma relação causal entre os resultados do programa e as mudanças nas condições relacionadas ao público prevista na política pública. O conjunto de programas ou ações governamentais necessárias e suficientes, integradas e articuladas para a provisão de bens ou serviços à sociedade, financiadas por recursos orçamentários ou por benefícios de natureza tributária, creditícia e financeira (Ramos et al., 2012).

No contexto brasileiro, pesquisas recentes têm se dedicado a compreender os impactos de diferentes políticas públicas implementadas no setor rural. Carneiro e Motebello (2024) avaliaram resultados do Plano ABC, do Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (PRONAF), do Programa de Aquisição de Alimentos (PAA) e do Programa Nacional de Alimentação Escolar (PNAE). James et al., (2023) avaliaram indicadores da PNAPO em municípios brasileiros. Costa Jr. et al., (2019) avaliaram o impacto de duas políticas públicas complementares, uma federal, o Plano ABC, e outra do estado de Santa Catarina, o Programa de Desenvolvimento da Pecuária Bovina de Santa Catarina.

O estudo de Vidal et al. (2021) resgatou a história da construção do PNB, descrevendo seu processo de criação, contexto e atores envolvidos, mas não avaliou o impacto da política em si. Em outras palavras, as pesquisas recentes ainda não exploraram suficientemente a avaliação da PNB. Ainda, observa-se a existência de lacunas que precisam ser preenchidas neste campo de conhecimento.

As avaliações para o cenário brasileiro atual devem contar com a percepção de impacto das políticas públicas. O presente trabalho utiliza a avaliação dos objetos e instrumentos explícitos de um dado programa e seus resultados efetivos com base nas informações disponíveis, as relaciona com as metas alcançadas (Arretche, 2013).

A proposta de uma avaliação do cenário atual e como ele se formou, busca demarcar a diferença atribuída à política de forma inequívoca. A ideia central dessa avaliação é isolar o efeito da política pública dos demais fatores que possivelmente contribuíram para a mudança observada e debater, portanto o tema dos bioinsumos sobe a visão de causalidade (IPEA, 2018).

2.2 Os bioinsumos no contexto das políticas públicas

Ao longo das últimas décadas, diferentes países têm adotado estratégias variadas para fomentar o uso de bioinsumos, integrando-os a programas de desenvolvimento rural, segurança alimentar e mitigação dos impactos ambientais da agricultura. No Brasil, a formalização do PNB representa um marco nesse processo, alinhando-se a outras iniciativas como o Plano ABC e a Política Nacional de Agroecologia e Produção Orgânica (PNAPO). No entanto, a implementação dessas políticas enfrenta desafios significativos, que vão desde a regulação e padronização até a aceitação dos bioinsumos por parte dos produtores.

É importante compreender que a chamada “política pública” só se consolida formalmente no Brasil com a publicação do PNB. Entretanto, diversos fragmentos de iniciativas e ações conectadas com os objetivos dessa política, já estavam sendo trabalhados antes mesmo de seu lançamento.

O fomento ao uso de bioinsumos vem sendo promovido pelos diferentes governos por meio de diferentes estratégias que devem ser conectadas, mesmo que de forma indireta, em um grande arcabouço de políticas públicas.

No final dos anos 50, surgiu o conceito do manejo integrado de pragas (MIP), que tem como base o uso de várias estratégias de controle: plantas resistentes, inseticidas seletivos aos inimigos naturais, medidas culturais, uso de parasitóides e predadores, além do uso de entomopatógenos (Valicente, 2009).

Na década de 1960, a “Comissão Nacional da Soja” decidiu que a fixação biológica de nitrogênio deveria ser um parâmetro considerado nos programas brasileiros de melhoramento da soja o que resultou na prática generalizada da inoculação, com ganhos ambientais, como a menor emissão de gases de efeito estufa (Amancio et al, 2014).

No início do séc. XXI, com um ambiente político e institucional mais favorável à circulação das ideias agroecológicas, conceitos difusos comporiam uma visão tridimensional de desenvolvimento, na qual a eficiência econômica combinou-se requisitos de justiça social e de prudência ecológica (Moreira, 2000; Niederle, 2019).

Diante desse cenário, compreender o papel das políticas públicas na disseminação e fortalecimento do setor de bioinsumos é essencial para avaliar seu impacto e identificar estratégias para aprimoramento. A seguir, são apresentadas as principais iniciativas e marcos regulatórios mais relevantes que estruturam o setor de bioinsumos (figura 1).

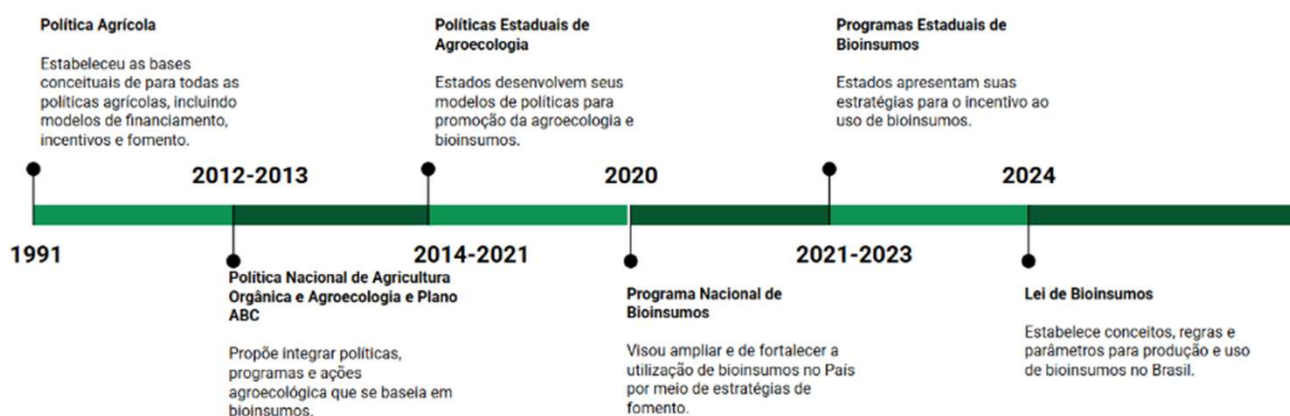


Figura 1. Série histórica dos principais atos que consolidam as políticas relacionadas a bioinsumos no Brasil (Fonte: elaboração dos autores).

A PNAPO e o Plano Nacional de Agroecologia e Produção Orgânica – PLANAPO (Decreto nº 7.794, de 20 de agosto de 2012), tiveram o objetivo de integrar e implementar programas e ações indutoras da transição agroecológica e da produção orgânica no Brasil (Brasil, 2012).

Já o Plano ABC foi publicado em 2013, com proposta de execução para o período de 2010 a 2020, vinculado à Política Nacional sobre Mudanças do Clima - PNMC (Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009), apresentando um forte caráter de desenvolvimento nacional com transformação para uma agropecuária mais sustentável.

Ambos os planos e políticas citados incluem os bioinsumos como tecnologias ligadas a seus objetivos de transformação agroecológica, produção sustentável e resiliência as mudanças climáticas.

A publicação de normas em 2005 e 2006, foram importantes para o tratamento diferenciado de produtos biológicos no controle de pragas, culminando em com o Decreto nº 6.913/2009 que dispensa de registro para produção de agrotóxicos para uso próprio os produtos fitossanitários com uso aprovado para a agricultura orgânica (Brasil, 2009; Bortoloti, 2024).

Foi nesse contexto que o PNB, publicado como política pública por meio do Decreto 10.375 de 26 de maio de 2020, trouxe entre seus objetivos e diretrizes: estimular a adoção de práticas sustentáveis e promover ações de estímulo à produção e o consumo de bioinsumos (Brasil, 2020).

O programa visou ampliar e fortalecer o setor, por meio de inovações em temas no âmbito jurídico e econômico. Isso se materializaria como um investimento em uma nova fronteira do conhecimento, tanto para a bioeconomia quanto para a geração de conhecimento científico e tecnológico, reduzindo impactos da agropecuária no Brasil (Vidal, 2021).

Diversas abordagens regulatórias foram sendo desenvolvidas para permitir a ambientação dessas tecnologias nas exigências da legislação, como podemos observar na tabela 1.

Tabela 1. Detalhamento entre políticas, programas e iniciativas normativas com seus respectivos objetivos, estratégias e instrumentos para bioinsumos no Brasil.

Política/Programa/Iniciativa	Objetivos	Base legal	Estratégias e Instrumentos
Política Agrícola	Estabelece as ações e instrumentos da política agrícola, relativamente às atividades agropecuárias	Lei 8.171 de 17 de janeiro de 1991.	Fomento: crédito rural; tributação e incentivos fiscais; investimentos públicos e privados.
Lei de Agricultura Orgânica	Sistema orgânico de produção agropecuária que adotam técnicas específicas com métodos culturais, biológicos em contraposição ao uso de materiais sintéticos	Lei 10.831 de 23 de dezembro de 2003.	Regulação: procedimentos de registro, cadastramento, licenciamento e outros mecanismos de controle
Conjunto de Normas para produtos biológicos	Define regras específicas para bioinsumos de controle de pragas no Brasil	Instruções Normativas nº 32/2005; nº 1/2006; nº 2/2006; nº 3/2006.	Regulação: regras e procedimentos diferenciados, específicos e simplificados para registro de bioinsumos de controle de pragas.
Regras para Produto fitossanitário com uso aprovado para a agricultura orgânica	Registros com base em informações, testes e estudos agrônômicos, toxicológicos e ambientais	Decreto 6.913 de 23 de julho de 2009.	Regulação: regras para produtos da agricultura orgânica, simplificados como forma de fomento a utilização.
Política Nacional de Agroecologia e Produção Orgânica	Integrar, articular e adequar políticas, programas e ações indutoras da transição agroecológica e da produção orgânica e de base agroecológica	Decreto 7.794 de 20 de agosto de 2012	Fomento: crédito rural e demais mecanismos de financiamento; medidas fiscais e tributárias; mecanismos de controle da transição agroecológica; mecanismos de regulação e compensação de preços.
Programa Paraná Agroecológico (Paraná)	Fomentar a agroecologia por meio de sistemas integrados e sustentáveis	Decreto 12.431 de 23 de outubro de 2014.	Governança: propõe promover e apoiar ações integradas para agroecologia no Paraná
Política Estadual de Agroecologia e Produção Orgânica (São Paulo)	Promover práticas agroecológicas e fortalecer a produção orgânica no estado.	Lei nº 16.684, de 19 de março de 2018	Fomento: linhas de crédito especial, de subsídio; estímulo tributário diferenciado; mecanismos de pagamento por serviços ambientais

Política/Programa/Iniciativa	Objetivos	Base legal	Estratégias e Instrumentos
Política Estadual de Agroecologia e Produção Orgânica (Amazonas)	Promover a agroecologia como ferramenta de desenvolvimento sustentável na Amazônia	Lei nº 4.581, de 11 de abril de 2018.	Fomento: medidas fiscais e tributárias que favoreçam as cadeias de valor de serviços e produtos orgânicos; pagamentos ou benefícios sociais por serviços ambientais
Programa Nacional de Bioinsumos	Ampliar e fortalecer a utilização de bioinsumos no País para beneficiar o setor agropecuário	Decreto 10.375 de 26 de maio de 2020.	Regulatório: atualizar as normas referentes aos bioinsumos; Governança: promover ações de estímulo à produção de bioinsumos e adoção de sistemas de produção sustentáveis; apoiar processos de incubação de empresas e de pequenos negócios
Política Estadual de Agroecologia e Produção Orgânica (Pernambuco)	Desenvolver sistemas de produção agrícola sustentáveis e fortalecer os mercados de produtos orgânicos	Lei nº 17.158, de 08 de janeiro de 2021.	Fomento: linhas de crédito especial; tratamento tributário diferenciado para tecnologias; compras governamentais
Programa Estadual de Bioinsumos de Goiás	Incentivar o uso e desenvolvimento de bioinsumos na agricultura	Lei nº 21.005, de 14 de maio de 2021.	Governança e promoção: promover a utilização de bioinsumos; discutir e propor normas específicas para os bioinsumos.
Programa Estadual de Bioinsumos de Mato Grosso do Sul	Ampliar e fortalecer a produção e o uso de bioinsumos na agropecuária, promovendo práticas sustentáveis no estado	Lei Estadual nº 5.966, de 27 de outubro de 2022.	Governança e promoção: promover ações de estímulo ao uso de bioinsumos; desenvolver instrumentos eficazes de comunicação
Programa Estadual de Bioinsumos de Mato Grosso	Ampliar e fortalecer a adoção e desenvolvimento da utilização de bioinsumos	Lei nº 12.117 de 18 de maio de 2023.	Fomento: atividades de fomento e incentivo: ações relacionadas à concessão de benefícios tributários e crédito em condições especiais
Política Estadual de Bioinsumos de Minas Gerais	promover o desenvolvimento, a produção e o uso de bioinsumos na agricultura com a redução do uso de insumos químicos	Lei nº 24.441 de 18 de setembro de 2023.	Governança e promoção: incentivar a produção, o processamento, a distribuição de bioinsumos estimular a instalação de unidades produtoras de bioinsumos
Lei de Bioinsumos	produção e uso de bioinsumos para uso agrícola, pecuário, aquícola e florestal	Lei nº 15.070 de 23 de dezembro de 2024.	Regulatório: produção, a importação, a exportação, o registro, a comercialização, o uso de bioinsumos para uso agrícola, pecuário, aquícola e florestal

O trabalho de Moraes (2019) trouxe argumentos que demonstram que nem a regulação nem o esforço para sua implementação são processos politicamente neutros: eles resultam, em parte, do poder relativo de grupos sociais, cujos membros formam redes tanto dentro quanto fora do Estado. Este desequilíbrio amplia as chances de que órgãos de Estado sejam capturados por grupos regulados distorcendo as relações de mercado, reduzindo concorrência e criando oligopólios, o que vem influenciando a dinâmica das políticas sobre bioinsumos e agropecuária sustentável.

A materialização desse conceito é a Lei 15.070 de 23 de dezembro de 2024, que estabelece as regras para a produção, comercialização e uso de bioinsumos no Brasil. As expectativas dessa lei para um impulsionamento da oferta de tecnologias e seus impactos positivos na sustentabilidade da agropecuária são imensos.

No contexto internacional, as inovações em bioinsumos agrícolas na Argentina e no Brasil auxiliam na fixação de nitrogênio pelas plantas, biofertilizantes que promovem o crescimento vegetal e biopesticidas para controle de pragas. Além disso, o avanço em fitovacinas que preparam o “sistema imunológico” das plantas contra patógenos e bioherbicidas que podem reduzir o uso de herbicidas sintéticos. Empresas desses países desempenham um papel importante nessas inovações, contribuindo para o crescimento da bioeconomia em nações em desenvolvimento (Rodríguez et al., 2024).

Em uma análise das políticas agrícolas relacionadas aos bioinsumos na América do Sul, entre 2000 e 2020, agentes microbianos de biocontrole representaram, em média, 60% de todos os novos bioinsumos registrados no Brasil. No entanto, o estudo aponta que o desenvolvimento ainda se concentra em bactérias e fungos, dando menos atenção à macrofauna, como insetos utilizados no controle de pragas (Diaz et al., 2021).

Em 2024, existiam cerca de 629 produtos biológicos registrados no Brasil para controle de pragas, sendo que aproximadamente 20% dos produtores rurais no planeta adotam esses bioinsumos. No Brasil estima-se que 55% das propriedades os utilizam, contra apenas 6% nos Estados Unidos. O Brasil conta com pelo menos 170 Biofábricas, podendo tratar uma área de aproximadamente 25 Milhões de hectares e um mercado que cresce até 20% ao ano (FAPESP, 2023).

O papel dos bioinoculantes como alternativas sustentáveis aos fertilizantes e pesticidas químicos é relevante porque não apenas fornecem nutrientes, mas também promovem o crescimento das plantas, mobilizam e solubilizam nutrientes e ajudam na descontaminação do solo. Diante das mudanças climáticas, o uso de bioinsumos pode ser uma opção adequada para mitigar os efeitos adversos na agricultura (Patel et al., 2023).

Diante do panorama apresentado, fica evidente que os bioinsumos têm se consolidado como uma alternativa estratégica para a promoção de uma agropecuária mais sustentável, tanto no Brasil quanto no cenário internacional.

A adoção desses insumos, no entanto, não se dá de forma espontânea, podendo ser influenciada por políticas públicas, estrutura regulatória e incentivos econômicos. Experiências internacionais demonstram que a criação de marcos legais sólidos, aliada a investimentos em pesquisa e desenvolvimento, pode impulsionar a aceitação e a eficácia desses produtos no mercado agrícola.

No contexto brasileiro, o Programa Nacional de Bioinsumos e outras iniciativas correlatas ainda enfrentam desafios estruturais e de implementação, o que reforça a necessidade de análises mais aprofundadas sobre sua efetividade e impacto.

3. Metodologia

A análise desse estudo envolveu uma abordagem quantitativa, utilizando modelos econométricos, para a avaliação de impacto em variáveis que representam a adoção do uso de bioinsumos. O período analisado foi de 2014 a 2023, momento em que as diferentes Unidades da Federação iniciaram a implementação de seus programas estaduais de agroecologia, agricultura de baixo carbono e bioinsumos. Foram analisadas as 27 Unidades da Federação no Brasil, a partir da presença ou ausência de programas regionais. Os Estados que não implementaram políticas voltadas para bioinsumos foram utilizados como grupo de controle (contrafactual) na análise da variável dependente.

Foram consultadas diferentes bases de dados para as análises econométricas como listado na tabela 2. Os dados administrativos de registro para análise de concentração foram obtidos das bases do Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA).

Utilizamos duas abordagens estatísticas complementares: regressão Logit e análise de Diferenças-em-diferenças (DiD). A escolha de cada modelo se baseou na natureza da variável dependente e na necessidade de capturar diferentes aspectos da relação entre as variáveis explicativas e a adoção de bioinsumos.

O modelo Logit foi utilizado para examinar os fatores que influenciam a probabilidade de adoção de políticas de bioinsumos, dada sua natureza binária (0 = não implementou, 1 = implementou). Este modelo é apropriado para estimar relações entre variáveis explicativas e um desfecho categórico, permitindo interpretar os resultados em termos de odds ratios. A equação do modelo Logit é representada por:

$$P(Y_i=1|X_i) = \frac{1}{1 + e^{-(\beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \dots + \beta_k X_{ki})}}$$

Onde:

$P(Y=1|X)$: Probabilidade de adoção de bioinsumos;

β_0 : Intercepto do modelo;

$\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$: Coeficientes das variáveis independentes;

X_1, X_2, \dots, X_k : Variáveis explicativas (ex.: área agrícola, PIB agropecuário, IDH, programas de agroecologia).

A DiD foi aplicada com o objetivo de estimar o efeito causal das políticas públicas sobre a adoção e o volume de uso de bioinsumos no Brasil, controlando por fatores estruturais e temporais não observados. Essa abordagem compara a variação média das variáveis dependentes (defensivos biológicos e inoculantes) entre unidades tratadas — aquelas inseridas em contextos de políticas específicas, como a PNB e o Plano ABC — e unidades de controle, não expostas diretamente às mesmas políticas, antes e depois da sua implementação. O modelo pode ser formalizado como:

$$Y_{it} = \alpha + \beta_1 \textit{Tratamento} + \beta_2 \textit{Pós}_t + \delta(\textit{Tratamento} \times \textit{Pós}_t) + \epsilon_{it}$$

Em que Y representa a variável de interesse para a unidade i no tempo t ; *Tratamento* é uma dummy que indica a exposição à política; *Pós t* o período posterior à implementação; e delta captura o efeito causal da política pública. Esse estimador permite isolar o impacto das políticas ao descontar tendências gerais e choques comuns às duas amostras. Assim, o DiD complementa os modelos de regressão Logit ao fornecer uma medida de variação temporal associada à intervenção governamental, permitindo avaliar a efetividade do marco regulatório e dos instrumentos financeiros sobre a adoção de tecnologias biológicas em diferentes contextos regionais.

Para assegurar mais confiabilidade nos resultados e a consistência das inferências, foram conduzidos testes complementares ao modelo de DiD tradicional. Primeiramente, aplicou-se o método de Propensity Score Matching (PSM-DiD) para reduzir o viés de seleção entre unidades tratadas e de controle, permitindo estimar o efeito médio das políticas sobre grupos comparáveis. Em seguida, estimou-se um modelo de Diferenças-em-Diferenças com efeitos fixos em duas dimensões (Two-Way Fixed Effects – TWFE), incorporando controles por estado e por tempo, de modo a capturar heterogeneidades não observadas e variações estruturais entre regiões e períodos. Todas as estimações seguiram o nível de significância de 5% ($\alpha = 0,05$), com intervalos de confiança de 95%, utilizando as bibliotecas *statsmodels* e *linearmodels* em ambiente Python.

Para avaliar o grau de concentração e desigualdade no mercado de bioinsumos no Brasil, foram aplicados os indicadores econômicos como: Índice de Herfindahl-Hirschman (HHI); Índices de Concentração CR(k) (CR4 e CR10); e o Índice de Gini. Utilizamos ainda a Curva de Lorenz que complementa a análise representando graficamente a distribuição cumulativa da participação de mercado das empresas. Os cálculos foram realizados utilizando Python, com as bibliotecas *numpy*, *pandas* e *matplotlib* para visualização gráfica.

Os dados para análise econométrica incluíram informações do Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), Associação Nacional de Promoção e Inovação da Indústria de Biológicos (ANPII Bio), Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA), Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e outras fontes relevantes, abrangendo o período de 2014 a 2023, com as 27 Unidades da Federação no Brasil, conforme tabela 2.

Tabela 2. Descrição das variáveis utilizadas no modelo econométrico para análise das Unidades da Federação quanto aos efeitos das políticas de bioinsumos.

Variável	Grupo	Indicador (unidade de medida)	Fonte
Uso de adoção de defensivos biológicos	Variável dependente	Quantidade em toneladas ou litros	Séries históricas estaduais (IBAMA)
Uso de adoção de inoculantes	Variável dependente	Quantidade em doses	Séries históricas estaduais (ANPII Bio)
Programa Estadual de Agroecologia	Variável independente (dummy)	1 = Implementada; 0 = Não	Diário Oficial do Estado
Programa Estadual de Bioinsumos	Variável independente (dummy)	1 = Implementada; 0 = Não	Diário Oficial do Estado
Programa Estadual ABC	Variável independente (dummy)	1 = Implementada; 0 = Não	Diário Oficial do Estado
Área Agrícola Utilizável	Variável Agrícola	Controle	Área agrícola utilizada (ha)
VPB Agropecuário	Variável Econômico	Controle	Número de agricultores que produzindo com IG no município (número)
IDH-M	Variável Econômico	Controle	Escala de 0 a 1
Agricultores Orgânicos	Variável Agrícola	Controle	Agricultores orgânicos em cada município (número)
Crédito sustentável	Variável Econômico	Controle	Valores em milhões de reais
Quantidade de projetos sustentáveis	Variável Moderadora		1 = Implementada; 0 = Não
Área com projetos sustentáveis	Variável Agrícola	Controle	Área agrícola utilizada (ha)
Engenheiros Agrônomos	Variável moderadora		Número de profissionais registrados

*BACEN: Banco Central do Brasil; CONFEA: Conselho Nacional de Engenharia e Agronomia.

4. Resultados e discussão

4.1 Análise de Eficácia de Políticas Públicas

A aplicação dos modelos estatísticos visou identificar os determinantes da adoção de bioinsumos na agropecuária brasileira, com base nas variáveis estruturais e políticas descritas na tabela 2 deste estudo. A análise foi realizada de forma comparativa entre os produtos do tipo defensivos e inoculantes, permitindo distinguir os efeitos das políticas públicas e dos fatores econômicos sobre diferentes segmentos do mercado.

Os métodos aplicados permitem extrair conclusões complementares uma vez que pudemos observar resultados diferentes nos modelos escolhidos. O modelo Logit, estimado para identificar os fatores que influenciam a probabilidade de adoção de defensivos, apresentou a Área Agrícola com coeficiente positivo e significativo, o que sugere que unidades territoriais mais extensas apresentam maior probabilidade de adoção de bioinsumos defensivos (figura 2).

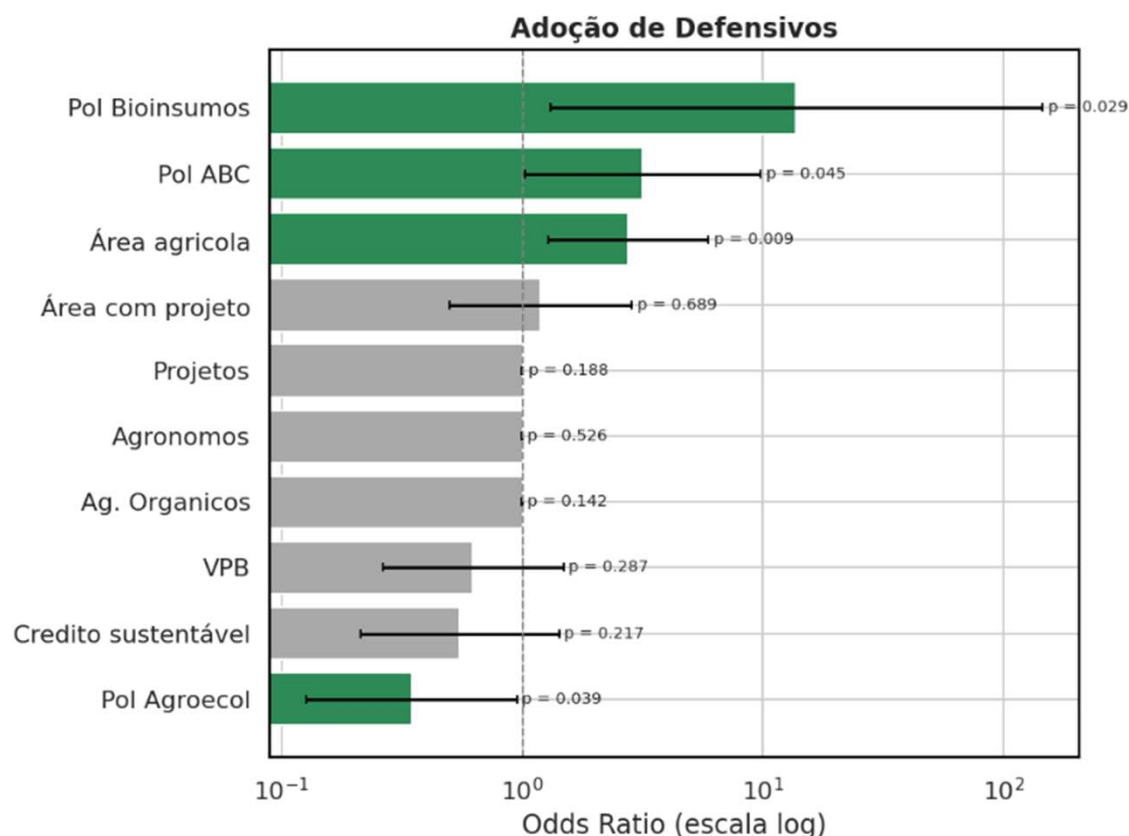


Figura 2. Resultados da regressão Logit obtidos utilizando o pacote programação Python, com as bibliotecas statsmodels.

As regressões Logit mostraram coeficientes positivos e significativos para as variáveis Política de Bioinsumos, Política ABC e Área Agrícola, embora apenas esta última tenha apresentado a maior relevância estatística ($p < 0,009$). As demais apresentaram sinais coerentes com a hipótese de estímulo à adoção, mas que precisaram de maior esclarecimento por serem variáveis dummy.

A relação da área agrícola total com maior probabilidade de adoção de defensivos está alinhada ao comportamento esperado de economias de escala: propriedades maiores tendem a adotar pacotes tecnológicos mais completos e sistematizados, o que inclui uso mais frequente de defensivos. Essa tendência sugere que grandes empreendimentos precisam equalizar os custos dos impactos do uso de produtos químicos no controle de pragas, em função de redução de custos e a necessidade de uma implementação real do conceito de manejo integrado de pragas – MIP.

Os resultados mostram que as três políticas públicas com $p < 0.05$ sugerem associação de marcos regulatórios e a adoção de defensivos biológicos, mas não permitem afirmar causalidade direta, uma vez que as análises complementares de DiD e TWFE não confirmaram impacto estatisticamente significativo. A política de agroecologia apresentou valor negativo significativo ($p < 0.039$) no modelo Logit é contraintuitivo e precisa de análises mais aprofundadas.

No caso da adoção de inoculantes, o modelo Logit revelou resultados consistentes. As variáveis mais relevantes foram *crédito sustentável* ($p = 0,002$) e *projetos implementados* ($p = 0,022$) (figura 4).

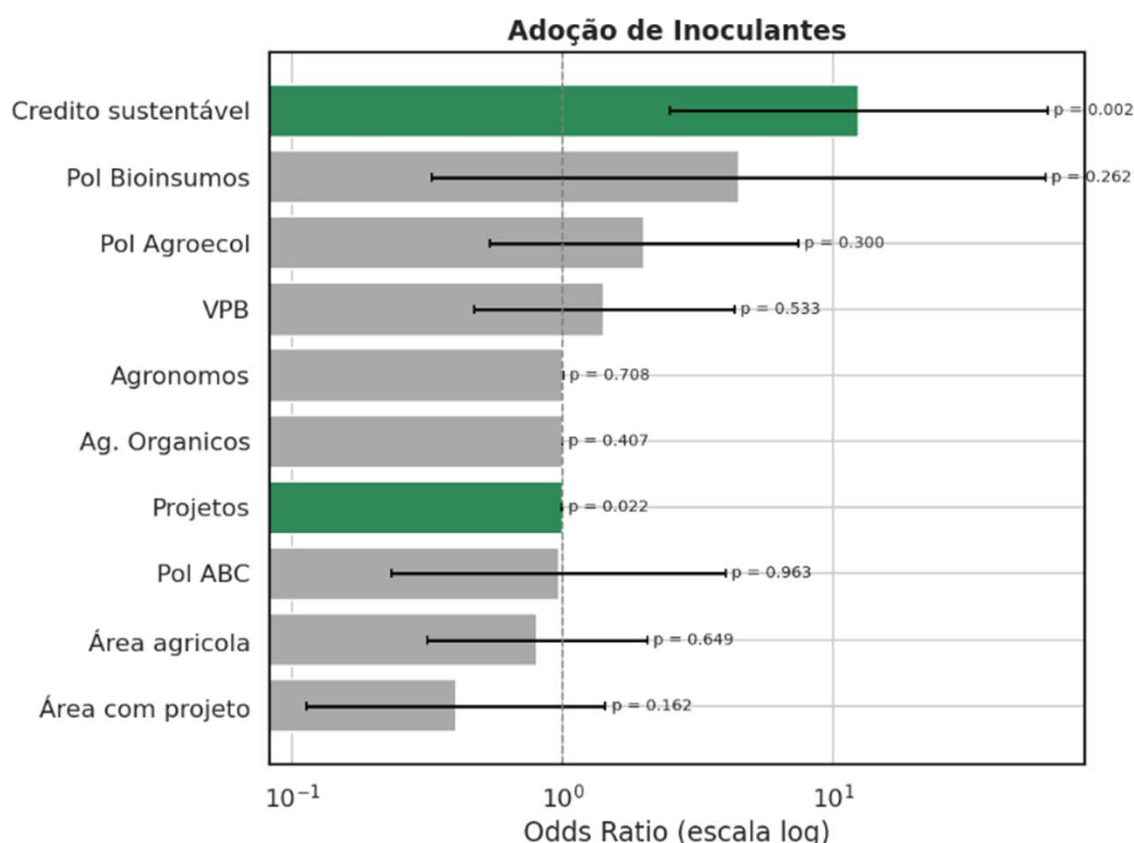


Figura 4. Resultados da regressão Logit para inoculantes obtidos utilizando o pacote programação Python, com as bibliotecas statsmodels.

Esses resultados indicam que o uso de inoculantes — insumos típicos de sistemas de fixação biológica de nitrogênio — está fortemente associado à disponibilidade de crédito rural sustentável e à execução de projetos específicos financiamento. A significância estatística elevada do crédito sustentável confirma o papel das políticas públicas como vetor de estímulo a difusão tecnológica.

Vale notar que, diferentemente dos defensivos, as variáveis de políticas estruturantes (como *Política ABC* e *Política Agroecológica*) não apresentaram significância estatística no caso dos inoculantes. Isso sugere que a adoção desses insumos pode estar relacionada a fatores econômicos e de investimento do que por normativos ou regulatórios. Em outras palavras, o impacto relevante na redução de custos com fertilizantes vinda da utilização de inoculantes vincula esse insumo as questões financeiras.

De modo geral, os resultados das regressões Logit revelam padrões distintos de influência entre políticas e tipos de insumo. Enquanto os defensivos respondem positivamente à estruturação de políticas de sustentabilidade e à escala produtiva, os inoculantes estão mais sensíveis a incentivos financeiros e projetos específicos. Essa diferenciação é fundamental para a formulação de instrumentos de política pública mais direcionados: estratégias de expansão dos bioinsumos devem priorizar o crédito rural verde e a assistência técnica especializada, enquanto políticas de regulação devem continuar a influenciar positivamente o uso de defensivos biológicos.

A segunda etapa da análise consistiu em estimar modelos DiD para verificar os efeitos causais das políticas sobre o volume de uso de defensivos e inoculantes. Essa abordagem permite comparar a evolução temporal entre grupos de tratamento (“com política”) e de controle (“sem política”), controlando por variações não observadas e tendências gerais (figura 5).

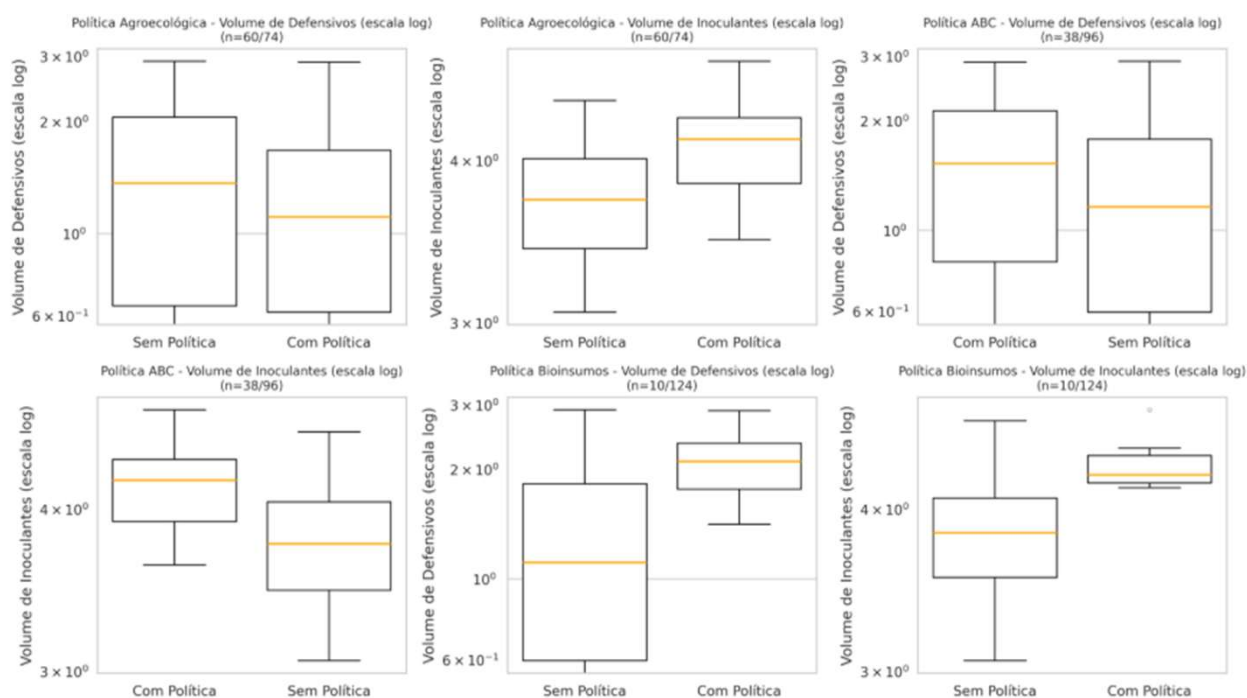


Figura 5. Análise de diferença-em-diferenças (Diff-in-Diff) entre Unidades da Federação com e sem políticas públicas agroambientais

Os resultados indicam que as políticas analisadas apresentaram coeficientes positivos em alguns modelos, mas sem significância estatística. A tendência geral aponta efeitos heterogêneos e de pequena magnitude, o que sugere que os programas ainda estão em fase de difusão e maturação institucional.

Já a Política Agroecológica confirmou o efeito negativo sobre o volume de defensivos biológicos, embora não significativo estatisticamente. Essa direção pode estar relacionada aos incentivos que essa política oferece para a redução gradual da dependência do mercado formal, estimulando a produção própria de bioinsumos “*on farm*”, mas que merece ser mais aprofundada.

No caso dos inoculantes, o modelo DiD revelou que o crédito sustentável e os projetos vinculados à Política de Bioinsumos apresentaram efeitos positivos e ainda sem significância estatística sobre o volume utilizado. Esse resultado confirma a hipótese de estudos internacionais sobre políticas de transição verde, nos quais instrumentos financeiros são determinantes para acelerar a adoção de tecnologias biológicas (Rodríguez et al., 2024; Patel et al., 2023).

Em contrapartida, a *Política ABC* não apresentou efeito significativo sobre os inoculantes, reforçando a distinção observada nas regressões Logit: enquanto contribui para o manejo biológico de pragas, sua efetividade enquanto política de estímulo a adoção não se confirmou. Essa desconexão estatística evidencia uma possível independência da adoção dessa tecnologia da política pública formal, atribuindo sua adoção a uma tendência natural do mercado, principalmente na soja, que tem o uso de inoculantes como modelo “*bussines as usual*”.

A PNB, instituída apenas em 2020, ainda se encontra em fase inicial de implementação e de consolidação institucional, o que limita a capacidade de mensurar seus efeitos nas séries históricas utilizadas. A defasagem temporal entre a criação da política e a coleta de dados pode explicar a ausência de diferenças estatísticas significativas nos *boxplots* entre os grupos “com” e “sem” política. Trata-se, portanto, de um caso em que o marco regulatório é mais recente que a trajetória dos dados disponíveis, dificultando a identificação de efeitos causais relevantes em análises longitudinais.

Os resultados indicam que as políticas mais consolidadas (como o Plano ABC) apresentam reflexos detectáveis sobre o comportamento dos produtores e do mercado de insumos, enquanto as políticas emergentes (como a PNB) ainda demandam tempo e mecanismos de monitoramento para gerar séries consistentes de avaliação.

A análise de DiD com pareamento por escore de propensão (PSM-DiD) confirmou os resultados anteriores, não identificando efeitos estatisticamente significativos das políticas avaliadas sobre o uso de defensivos nem sobre o volume de inoculantes. Mesmo após o pareamento dos grupos tratados e controle por características estruturais — como área agrícola, valor bruto da produção e acesso ao crédito — o coeficiente de interação tratamento \times período manteve-se não significativo. Esse resultado reforça a evidência de que as políticas analisadas ainda não produziram impactos mensuráveis no curto prazo, sendo as variações observadas mais associadas a tendências gerais do setor e a fatores econômicos externos do que a mudanças induzidas por intervenção pública.

A estimação do modelo de DiD com efeitos fixos em duas dimensões (Two-Way Fixed Effects – TWFE) não identificou efeitos estatisticamente significativos das políticas analisadas sobre o uso de defensivos nem sobre o volume de inoculantes. Os coeficientes associados às políticas individuais (Pol Agroecológica, Plano ABC e Política Nacional de Bioinsumos) apresentaram sinais positivos para defensivos e heterogêneos para inoculantes, porém com níveis de significância superiores a 0,10, indicando ausência de impacto detectável após o controle por efeitos fixos de tempo e de unidade federativa. No modelo agregado, que considera a presença simultânea de qualquer política, o coeficiente manteve-se não significativo, reforçando que a implementação formal das políticas ainda não se traduziu em efeitos médios estatisticamente mensuráveis sobre as variáveis analisadas.

Assim, os resultados do PSM-DiD e TWFE complementam as evidências obtidas pelos modelos Logit e Dif-Dif tradicionais, apontando que os efeitos diretos das políticas nacionais ainda não são estatisticamente discerníveis no curto prazo, embora o contexto institucional e produtivo apresente forte influência sobre os padrões observados.

4.2 Análise de concentração de mercado

Para avaliar o grau de concentração do mercado de bioinsumos no Brasil, foram aplicados os seguintes indicadores descritos na Tabela 3.

Tabela 3. Avaliação da concentração do mercado de bioinsumos no Brasil por diferentes métricas.

Métricas de Concentração	Empresas de Inoculantes	Matéria Prima de Inoculante	Empresa de Controle Biológico	Matéria Prima de Controle Biológico
Índice de Herfindahl-Hirschman (HHI)	0,039	0,202	0,186	0,067
Razão de Concentração (CR4)	0,274	0,776	0,177	0,449
Razão de Concentração (CR10)	0,525	0,946	0,328	0,635
Índice de Gini	0,210	0,119	0,337	0,403

Os índices de concentração revelam características distintas entre o mercado de empresas de bioinsumos e o fornecimento de matérias-primas. O Índice de Herfindahl-Hirschman (HHI), que mede a concentração do mercado, apresentou valores muito baixos para empresas de inoculantes (0,039) e empresas de controle biológico (0,0186), indicando um mercado altamente competitivo e fragmentado.

No entanto, o HHI da matéria-prima de inoculantes (0,202) sugere uma concentração moderada, o que implica que poucos fornecedores controlam a maior parte do fornecimento de insumos básicos. Esse padrão é confirmado pelos índices de Razão de Concentração (CR4 e CR10), que mostram que as quatro maiores empresas controlam 27,4% do mercado de inoculantes e 17,7% do mercado de controle biológico, enquanto, no caso da matéria-prima, os quatro maiores fornecedores dominam 77,6% e 44,9% desses mercados, respectivamente.

O Índice de Gini evidencia o grau de concentração e desigualdade na distribuição de mercado entre as empresas atuantes. Para os segmentos de inoculantes e controle biológico, os valores de 0,210 e 0,337 indicam distribuição relativamente equilibrada e concentração moderada. Já no caso das matérias-primas, os valores de 0,119 para inoculantes e 0,403 para controle biológico revelam uma assimetria maior, especialmente neste último, onde poucas empresas detêm acesso a um maior número de insumos específicos.

Aplicamos a Curva de Lorenz a fim de representar a distribuição das variáveis que medem a desigualdade, como neste caso, na concentração de mercado. No gráfico, o eixo horizontal representa a proporção acumulada de empresas (ou agentes do mercado), enquanto o eixo vertical indica a proporção acumulada da participação de mercado (figura 8).

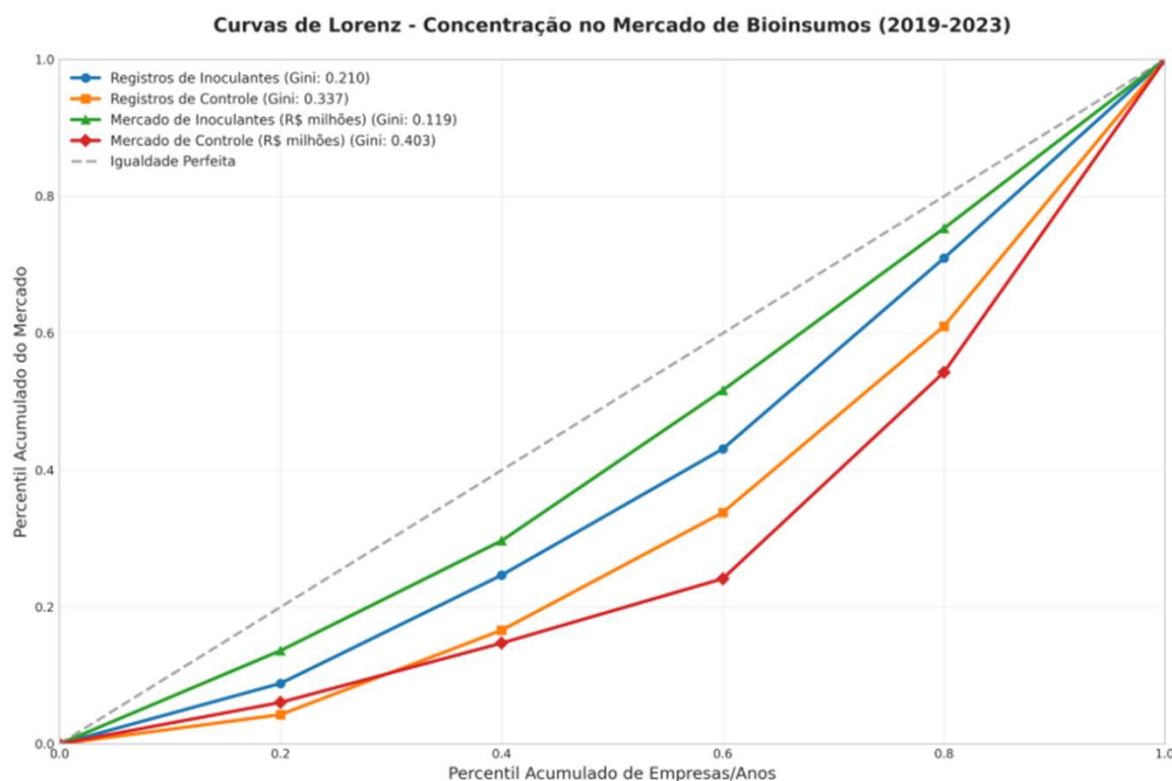


Figura 8. Curva de Lorenz para variáveis de concentração do mercado de bioinsumos no Brasil (Fonte: MAPA).

A linha de 45 graus, conhecida como linha de igualdade perfeita, representa uma distribuição totalmente igualitária, onde todas as empresas teriam a mesma participação de mercado. Quanto maior a área entre a curva e a linha de igualdade, maior a desigualdade ou concentração no mercado. Em nosso caso, a concentração das matérias-primas é maior do que as empresas, em ambos os casos, seja para controle ou para inoculantes.

A análise gráfica dos indicadores de concentração nos permite uma visualização intuitiva da desigualdade na distribuição de registros e de valores de mercado dos bioinsumos. As curvas referentes aos inoculantes situam-se mais próximas da linha de igualdade perfeita, tanto em termos de registros (Gini = 0,210) quanto de valor de mercado (Gini = 0,119), indicando menor concentração e maior dispersão entre empresas.

Esse padrão é consistente com os baixos valores de HHI (0,039) e CR4 (0,274) observados na tabela 3, e sugere que o mercado de inoculantes no Brasil é mais competitivo, com um número expressivo de fabricantes atuando de forma descentralizada e sem domínio de poucos agentes. Em contraste, as curvas dos defensivos biológicos (controle biológico) estão mais afastadas da linha de igualdade, com Gini de 0,337 para registros e 0,403 para valor de mercado, revelando nível de concentração mais elevado e maior desigualdade na participação das empresas.

4.3 Análises e discussão dos achados

Os resultados empíricos obtidos permitem discutir a adoção de bioinsumos no Brasil sob múltiplas dimensões — socioeconômica, institucional e tecnológica — em diálogo com a literatura sobre inovação agroambiental. O conjunto dos modelos (Logit e DiD) evidencia que a difusão de defensivos biológicos e inoculantes não segue um padrão único, refletindo trajetórias distintas de maturidade tecnológica e de inserção nas políticas públicas de sustentabilidade agrícola.

A primeira constatação é a forte heterogeneidade dos determinantes da adoção, confirmando o argumento de Agum et al. (2015) de que decisões tecnológicas no campo resultam de uma combinação de fatores econômicos, sociais e institucionais. No caso dos defensivos biológicos, as variáveis associadas à estrutura produtiva e à capacidade técnica, como IDH, presença de agrônomos e área de projetos, apresentaram maior peso no modelo Logit. Esse resultado converge com estudos de Niederle et al. (2019), que destacam o papel do capital humano e do conhecimento técnico na adoção de práticas agroecológicas e de controle biológico.

Por outro lado, os inoculantes mostraram dependência mais forte de variáveis econômicas, especialmente Valor da Produção Bruta (VPB) e crédito sustentável, o que corrobora a visão de Costa Jr. et al. (2019) sobre a importância do acesso ao crédito e à liquidez para a adoção de inovações agrícolas. Os resultados indicam que o uso de inoculantes é mais sensível à disponibilidade de financiamento e à escala produtiva do que à presença de políticas regulatórias. Essa constatação reforça achados de Rodríguez et al. (2024), segundo os quais tecnologias de menor visibilidade política e menor complexidade regulatória tendem a difundir-se com base em incentivos econômicos diretos, não necessariamente mediadas por políticas ambientais formais.

O Plano ABC e a PNB apresentaram coeficientes positivos nas regressões Logit, para a adoção de defensivos biológicos, mas os modelos de DiD e TWFE, por sua vez, não confirmaram efeitos causais, indicando que os impactos diretos das políticas permanecem incipientes. Esses resultados apontam que as políticas estruturadas e de caráter normativo exercem papel indutor e legitimador, mais do que transformador imediato, sobre práticas de manejo sustentável. Segundo Vidal et al. (2021), políticas de inovação ambiental tendem a ser mais eficazes quando fortalecem sistemas de conhecimento e regulação, criando “infraestruturas institucionais” que reduzem incertezas e conferem legitimidade às novas tecnologias.

O modelo DiD complementa essa leitura ao demonstrar que o efeito das políticas é temporalmente diferenciado. Enquanto o Plano ABC mostra impacto consolidado, refletindo mais de uma década de implementação, a PNB ainda apresenta efeitos difusos e de curto alcance. Essa defasagem temporal é coerente com a literatura de avaliação de políticas Arretche (2013) e Ramos & Schabbach (2012), que aponta que inovações tecnológicas exigem períodos de maturação antes que seus efeitos se tornem observáveis nas estatísticas agregadas. O crescimento moderado do uso de bioinsumos mesmo entre unidades sem política sugere um processo endógeno de difusão tecnológica, impulsionado pela oferta comercial crescente e pela redução de custos, fenômeno semelhante ao identificado por Díaz et al. (2021) em setores emergentes da bioeconomia.

Esses achados dialogam com a literatura sobre transições sustentáveis Moreira (2000) e Niederle et al. (2019), segundo a qual inovações verdes emergem em “nichos” que requerem tanto apoio institucional quanto incentivos econômicos. No Brasil, os bioinsumos são um segmento estruturado de mercado, diferenciado dos demais países do mundo em termos de escala e tecnologia. A evidência empírica sobre concentração de mercado reforça essa distinção: o segmento de inoculantes apresenta índices de Herfindahl-Hirschman ($HHI = 0,039$) e Gini (0,210) baixos, indicando alta competitividade e ampla participação de pequenas empresas; já o controle biológico mostra HHI de 0,186 e Gini de 0,337, sugerindo oligopolização em torno de poucas firmas com maior capacidade tecnológica e acesso a matérias-primas restritas.

Outra implicação é a importância de políticas de assistência técnica e extensão rural. A variável “Agrônomos” apresentou peso relevante (11,2%) no modelo de defensivos, confirmando que a presença de profissionais qualificados é condição para a correta utilização de agentes biológicos e para a confiança dos produtores nesses insumos. De acordo com Niederle et al. (2019), a inovação agrícola depende de redes de aprendizagem e de capital social que conectam produtores, pesquisadores e agentes públicos. Assim, fortalecer os serviços de ATER e a capacitação em bioinsumos é essencial para ampliar sua adoção de forma segura e eficiente.

5. Considerações finais

Os resultados obtidos neste estudo demonstram que o cenário atual de bioinsumos no Brasil é resultado de uma combinação de fatores econômicos, estruturais e institucionais, e não apenas do efeito direto das políticas públicas. A análise dos modelos Logit e DiD revelou que a adoção de defensivos biológicos e inoculantes segue lógicas distintas, refletindo trajetórias de maturidade tecnológica e de inserção de mercado que se desenvolveram de forma desigual ao longo da última década.

No caso dos defensivos biológicos, os fatores determinantes foram representados por variáveis que expressam estrutura produtiva e capacidade técnica, como a presença de agrônomos e a área de projetos voltados a práticas sustentáveis. Esses resultados indicam que a adoção desse tipo de bioinsumo está fortemente condicionada ao capital humano, à assistência técnica e à capacidade institucional local, o que reforça o papel dos serviços de extensão rural e das redes de governança territorial. Políticas públicas como o Plano ABC e a PNB mostraram uma associação positiva nos modelos estatísticos (Logit), mas não um impacto causal mensurável nos modelos de DiD, o que indica uma influência secundária e indireta.

Já no caso dos inoculantes, a análise revelou predominância de fatores econômicos e financeiros, especialmente o Valor da Produção Bruta (VPB) e o acesso ao crédito sustentável. Isso sugere que a expansão dos inoculantes no Brasil decorre mais da racionalidade produtiva e das oportunidades de financiamento verde do que da ação normativa das políticas agroambientais. A resposta significativa ao crédito sustentável indica que o sistema financeiro rural, quando orientado para finalidades climáticas e ambientais, pode ser um vetor efetivo de difusão tecnológica, ainda que em ritmo desigual entre regiões. Tal padrão reforça a ideia de que incentivos econômicos direcionados podem ser mais eficazes para tecnologias de menor barreira regulatória, desde que acompanhados de instrumentos de monitoramento e de verificação de impacto ambiental.

Outro achado importante diz respeito à estrutura de mercado. A análise de concentração mostrou que o setor de inoculantes é relativamente competitivo e descentralizado, com baixos índices de concentração e ampla presença de pequenas e médias empresas. Em contraste, o segmento de defensivos biológicos permanece mais concentrado, dependente de poucos fornecedores de matérias-primas e com barreiras técnicas e regulatórias mais expressivas. Esse cenário de assimetria entre segmentos reforça a necessidade de estratégias de política diferenciadas: enquanto o setor de inoculantes se beneficia de instrumentos de crédito e expansão de mercado, o de defensivos requer coordenação regulatória, qualificação técnica e estímulo à pesquisa aplicada.

Essas evidências atualizadas sugerem que as políticas públicas de bioinsumos ainda não atingiram maturidade suficiente para alterar de forma significativa as dinâmicas de adoção e de mercado. Contudo, o estudo demonstra que os efeitos das políticas são perceptíveis nas interações institucionais e na formação de ambientes favoráveis à inovação, especialmente onde há integração entre crédito rural, capacitação técnica e governança local. A influência positiva observada do Plano ABC e da PNB sobre defensivos biológicos, mesmo que moderada, indica que as políticas de mitigação de carbono e bioeconomia estão convergindo gradualmente, ainda que com lacunas de coordenação e de integração setorial.

O crescimento expressivo do número de registros de novos produtos biológicos também merece destaque. Embora parte desse aumento decorra da modernização dos processos de registro e da ampliação de categorias de bioinsumos, ele reflete a entrada de novos agentes econômicos e a ampliação da base produtiva, ainda que com dependência elevada de poucas matérias-primas. Isso revela um processo de diversificação empresarial que ainda não se traduziu em ampla democratização tecnológica, mas aponta para uma tendência de consolidação de um setor emergente com elevado potencial de inovação.

As novas evidências também permitem revisar a hipótese inicial de desconexão entre políticas e resultados. Os dados atualizados indicam que a eficácia das políticas públicas depende menos de sua existência formal e mais de sua articulação prática com instrumentos econômicos e com a infraestrutura de assistência técnica. Em outras palavras, a presença de políticas como o Plano ABC e a PNB cria um arcabouço institucional necessário, mas insuficiente, caso não venha acompanhada de mecanismos operacionais que convertam diretrizes em incentivos concretos para produtores, cooperativas e empresas do setor.

Diante desse quadro, é possível afirmar que o desenvolvimento do mercado de bioinsumos no Brasil segue um modelo híbrido, no qual o avanço econômico e a inovação tecnológica precedem a consolidação normativa. As políticas públicas analisadas têm papel de catalisadoras, mas não de motor principal, dessa expansão. Para que possam assumir esse papel, é indispensável o fortalecimento de bases de dados públicas, consistentes e integradas, que permitam avaliar com maior precisão a efetividade das políticas e a real dimensão do mercado — especialmente em relação aos inoculantes, cujo monitoramento ainda é fragmentado.

A consolidação recente da Lei nº 15.070/2024, que unifica as categorias de bioinsumos em um marco regulatório único, representa um avanço, mas seu êxito dependerá da qualidade da regulamentação infralegal e da capacidade institucional dos órgãos de registro e fiscalização. A harmonização das bases de dados, a definição de métricas de desempenho e a integração com instrumentos de crédito e de certificação ambiental serão fatores decisivos para que o país consolide uma estratégia de bioeconomia agrícola sólida e mensurável.

6. Referências

- AGUM, R.; RISCADO, P.; MENEZES, M. Políticas públicas: conceitos e análise em revisão. *Agenda política*, v. 3, n. 2, p. 12-42, 2015.
- AMANCIO, C. O. da G. et al. A rede FBN ABC: compromisso com a promoção dos benefícios da fixação biológica do nitrogênio (FBN) através dos inoculantes. 2014.
- ARRETCHE, Marta TS. Tendências no estudo sobre avaliação de políticas públicas. *Terceiro Milênio: Revista Crítica de Sociologia e Política*, v. 1, n. 1, p. 126-133, 2013.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PROMOÇÃO E INOVAÇÃO DA INDÚSTRIA DE BIOLÓGICOS (ANPII BIO). Estatísticas do setor de bioinsumos. Brasília, DF: ANPII Bio, [s.d.]. Disponível em: <https://anpiibio.org.br/estatisticas/>. Acesso em: 27 out. 2025.
- BORTOLOTTI, G.; SAMPAIO, R. M. Desafios e estratégias no desenvolvimento dos bioinsumos para controle biológico no Brasil. *Revista Tecnologia e Sociedade*, v. 20, n. 60, p. 291-307, 2024.
- BRASIL. Decreto nº 7.794, de 20 de agosto de 2012. Institui a Política Nacional de Agroecologia e Produção Orgânica. *Diário Oficial da União*, 21 ago. 2012.
- BRASIL. INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS (IBAMA). Relatórios de comercialização de agrotóxicos. Brasília, DF: IBAMA, [s.d.]. Disponível em: <https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/quimicos-e-biologicos/agrotoxicos/relatorios-de-comercializacao-de-agrotoxicos>. Acesso em: 27 out. 2025.
- BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA (MAPA). *Agrotóxicos*. Brasília, DF: MAPA, [s.d.]. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/agrotoxicos>. Acesso em: 27 out. 2025.
- CARNEIRO, J. A.; MONTEBELLO, A. E. S. Políticas públicas, compras sustentáveis e agricultura familiar no Brasil – 2013 a 2023. *RGSA – Revista de Gestão Social e Ambiental*, v. 2, n. 14.
- COSTA JR. N. B.; BALDISSERA, T. C.; PINTO, C. E.; GARAGORRY, F. C.; MORAES, A.; FACCIO CARVALHO, P. C. Public policies for low carbon emission agriculture foster beef cattle production in southern Brazil. *Land Use Policy*, v. 80, p. 269-273, 2019.
- CROPLIFE BRASIL (CLB). Mercado de bioinsumos cresceu 15% na safra 2023/2024. São Paulo: CropLife Brasil, 2024. Disponível em: <https://croplifebrasil.org/mercado-de-bioinsumos-cresceu-15-na-safra-2023-2024/>. Acesso em: 27 out. 2025.
- DIÁZ, M. A.; LIMA, F.; COSTA, R. Policies and Potential of Bioinputs in Agriculture: A South American Perspective. *HAL Archives*, 2021. Disponível em: <https://hal.science/cirad-03236912/document>. Acesso em: 8 fev. 2025.
- FAPESP. Registro de produtos para controle biológico de pragas ultrapassa o de agroquímicos no Brasil. Agência FAPESP, 2023.
- GODET, Michel. The art of scenarios and strategic planning: tools and pitfalls. *Technological Forecasting and Social Change*, v. 65, n. 1, p. 3-22, 2000.

JAMES, D.; BLESCH, J.; LEVERS, C.; RAMANKUTTY, N.; BICKSLER, A. J.; MOTTET, A.; WITTMAN, H. The state of agroecology in Brazil: An indicator-based approach to identifying municipal “bright spots”. *Elementa: Science of the Anthropocene*, v. 11, n. 1, 2023.

MORAES, R. F. Agrotóxicos no Brasil: padrões de uso, política da regulação e prevenção da captura regulatória. Texto para Discussão, 2019.

NIEDERLE, P. A. et al. A trajetória brasileira de construção de políticas públicas para a agroecologia. 2019.

PATEL, R.; SINGH, A.; KUMAR, P. Bioinoculants as Natural Biological Resources for Sustainable Agriculture. *PubMed Central*, 2023. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8780112/>. Acesso em: 8 fev. 2025.

RAMOS, M. P.; SCHABBACH, L. M. O estado da arte da avaliação de políticas públicas: conceituação e exemplos de avaliação no Brasil. *Revista de Administração Pública*, v. 46, p. 1271–1294, 2012.

RODRÍGUEZ, A.; MARTÍNEZ, C.; GARCÍA, J. Agricultural Bioinputs Innovations: Commercial Products in Argentina and Brazil. *Sustainability*, v. 16, n. 7, p. 2763, 2024. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/16/7/2763>. Acesso em: 8 fev. 2025.

SCHOEMAKER, Paul J. H. Scenario planning: a tool for strategic thinking. *Sloan Management Review*, v. 36, n. 2, p. 25-40, 1995.

SOUZA, J. D. Observatório dos agrotóxicos: produção e comunicação de dados. 2021. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Goiás (Brazil).

VALICENTE, F. H. Controle biológico de pragas com entomopatógenos. 2009.

VAN NOTTEN, Philip W. F. et al. An updated scenario typology. *Futures*, v. 35, n. 5, p. 423–443, 2003.

VIDAL, M. C. et al. Bioinsumos: a construção de um Programa Nacional pela Sustentabilidade do Agro Brasileiro. *Economic Analysis of Law Review*, v. 12, n. 3, p. 557-574, 2021.

XAVIER, V. L. Programa Nacional de Bioinsumos: proposição de um sistema de monitoramento de biofábricas. <http://repositorio.enap.gov.br/handle/1/7351> (2022).