

Propagação regional dos efeitos econômicos das enchentes de 2024 no Rio Grande do Sul: evidências a partir da matriz insumo-produto

*Regional propagation of the economic effects of the 2024 floods in Rio Grande do Sul:
evidence from an input-output framework*

Eduardo Botti Abbade

Departamento de Ciências Administrativas – UFSM. Santa Maria, RS, Brasil.

SOBER GT04. Meio ambiente, agroecologia, sustentabilidade e mudanças climáticas

Resumo: Este artigo analisa os impactos interregionais e intersetoriais das enchentes de maio de 2024 no Rio Grande do Sul por meio de um modelo insumo-produto interregional com contas satélite ambientais. A partir do relatório da Emater/RS-Ascar, as perdas físicas nos setores primários foram monetizadas e tratadas como choques exógenos negativos de demanda final na agricultura e na pecuária do estado. A simulação foi realizada na matriz interestadual brasileira de 2019, composta por 27 estados e 68 setores, permitindo estimar efeitos totais sobre produto, valor adicionado, massa salarial, tributos, emissões de CO₂, uso de água e consumo de energia. Os resultados indicam que um choque direto de R\$ 4,02 bilhões gera contração total de R\$ 6,55 bilhões no produto, R\$ 3,23 bilhões no valor adicionado, R\$ 0,70 bilhão na massa salarial e R\$ 0,24 bilhão em tributos, com transbordamentos para insumos industriais, utilidades, transporte e serviços. Os efeitos interestaduais alcançam sobretudo São Paulo, Rio de Janeiro, Paraná e Santa Catarina. Nas contas satélite, a contração de curto prazo corresponde a -2,75 milhões de t de CO₂, -4.207,88 hm³ de água e -145,30 mil tep de energia, resultados que devem ser interpretados como reflexos da queda da atividade econômica, e não como ganhos permanentes de eficiência ambiental. Conclui-se que desastres climáticos em estados especializados no agronegócio produzem perdas sistêmicas e reforçam a importância de políticas de adaptação, financiamento do risco e infraestrutura resiliente.

Palavras-chave: enchentes, insumo-produto interregional, desastres climáticos, agronegócio, Rio Grande do Sul

Abstract: This article examines the interregional and intersectoral impacts of the May 2024 floods in Rio Grande do Sul through an interregional input-output model with environmental satellite accounts. Based on the Emater/RS-Ascar report, physical losses in primary activities were monetized and treated as exogenous negative final-demand shocks in the state's agriculture and livestock sectors. The simulation used the 2019 Brazilian interregional matrix with 27 states and 68 sectors, allowing the estimation of total effects on output, value added, wage bill, taxes, CO₂ emissions, water use, and energy consumption. The results show that a direct shock of BRL 4.02 billion generates a total contraction of BRL 6.55 billion in output, BRL 3.23 billion in value added, BRL 0.70 billion in the wage bill, and BRL 0.24 billion in taxes, with spillovers to industrial inputs, utilities, transport, and services. Interstate effects are especially strong in São Paulo, Rio de Janeiro, Paraná, and Santa Catarina. In satellite accounts, the short-run contraction corresponds to -2.75 Mt CO₂, -4,207.88 hm³ of water, and -145.30 thousand toe of energy, which should be interpreted as consequences of lower economic activity rather than permanent environmental efficiency gains. The study concludes that climate disasters in agriculturally specialized states produce systemic losses and strengthen the case for adaptation, risk financing, and resilient infrastructure.

Keywords: floods, interregional input-output, climate disasters, agribusiness, Rio Grande do Sul

1. Introdução

Eventos climáticos extremos têm ampliado os riscos à estabilidade socioeconômica e, de forma crítica, à segurança alimentar (CAMPBELL et al., 2016; IPCC, 2019). Em economias

com forte especialização agropecuária, choques climáticos localizados podem gerar perdas que extrapolam o espaço diretamente atingido, alcançando cadeias produtivas, mercados consumidores e finanças públicas em diferentes regiões. No Brasil, essa questão assume importância estratégica porque a produção de grãos, carnes e alimentos processados depende de redes interestaduais densas, nas quais a interrupção de um elo repercute sobre fornecedores, distribuidores e prestadores de serviços (SALVADOR, 2021; SOUZA; HADDAD, 2022; ZILLI et al., 2020).

Entre abril e maio de 2024, o Rio Grande do Sul enfrentou a mais severa enchente de sua história recente, com danos disseminados por grande parte dos municípios, forte interrupção logística, perdas humanas, destruição de infraestrutura e prejuízos expressivos na agropecuária (EBC, 2024; IFRC, 2024; PILLAR; OVERBECK, 2024). Além dos impactos imediatos sobre pessoas e ativos, o desastre comprometeu estradas, pontes, sistemas de armazenagem, serviços públicos e fluxos de abastecimento, ampliando o risco de perdas produtivas e de desorganização do sistema alimentar.

A literatura frequentemente mensura os efeitos de desastres climáticos a partir de perdas agregadas ou de falhas diretas de safra. Contudo, permanece uma lacuna na compreensão de como perdas físicas específicas em setores primários e em infraestrutura se convertem em contrações econômicas amplas via encadeamentos intersetoriais e interregionais. Essa lacuna é especialmente relevante para estados agrícolas integrados a cadeias industriais e logísticas nacionais.

Diante desse contexto, este artigo quantifica as repercussões interregionais e intersetoriais das enchentes de maio de 2024 no Rio Grande do Sul por meio de um modelo insumo-produto interestadual com contas satélite ambientais. As perdas físicas registradas pela Emater/RS-Ascar são monetizadas e tratadas como choques exógenos negativos de demanda final nos setores de agricultura e pecuária do estado. Em seguida, a análise estima impactos totais sobre produto, valor adicionado, massa salarial, tributos, emissões de CO₂, uso de água e consumo de energia, bem como discute os principais canais de propagação e suas implicações de política.

A pertinência desse enfoque decorre do peso do Rio Grande do Sul nas cadeias agroalimentares brasileiras. O estado ocupa posição de destaque na produção de grãos, carnes, leite e alimentos processados e, por isso, interrupções produtivas localizadas têm potencial para repercutir além das áreas diretamente inundadas. No caso de 2024, as enchentes comprometeram simultaneamente produção primária, armazenagem, transporte, energia e

serviços, criando um ambiente em que perdas físicas e gargalos logísticos reforçaram-se mutuamente. Essa combinação torna inadequadas leituras restritas aos danos imediatos e justifica o uso de um instrumental capaz de captar encadeamentos intersetoriais e interregionais.

Além da relevância econômica, o episódio evidencia a crescente interdependência entre risco climático, segurança alimentar e estabilidade fiscal. Desastres dessa magnitude afetam renda de produtores, arrecadação tributária, custos de reconstrução e regularidade do abastecimento, com repercussões sobre preços e bem-estar. Ao mapear esses efeitos por meio de um modelo insumo-produto, o artigo busca oferecer uma base analítica transparente para discutir prioridades de adaptação, financiamento de risco e investimentos em infraestrutura resiliente.

2. Revisão da literatura

A literatura sobre redes de produção mostra que choques idiossincráticos podem gerar efeitos agregados relevantes quando os vínculos entre setores são densos e a substituição de insumos é limitada no curto prazo (ACEMOGLU et al., 2012; BAQAEE; FARHI, 2019; BARROT; SAUVAGNAT, 2016). Em tal contexto, um desastre localizado pode comprometer a oferta de insumos, reduzir a demanda intermediária e provocar perdas em cascata que atingem regiões não diretamente expostas ao evento climático (CARVALHO, 2014; SUN et al., 2024).

No campo dos desastres, estudos baseados em insumo-produto e em pegadas econômicas têm mostrado que enchentes, ondas de calor e outros extremos ambientais produzem efeitos indiretos significativos sobre logística, energia, comércio e serviços, além de pressionarem receitas fiscais e renda do trabalho (HALLEGATTE, 2008; OKUYAMA, 2007; OKUYAMA; SANTOS, 2014; WILLNER; OTTO; LEVERMANN, 2018). Esse argumento é particularmente importante em sistemas alimentares, nos quais perdas na produção primária podem repercutir sobre armazenagem, processamento, transporte e preços, agravando vulnerabilidades sociais e territoriais.

Também é crescente a incorporação de contas satélite ambientais em modelos insumo-produto. Essa extensão permite traduzir variações de atividade econômica em mudanças associadas nas emissões, no uso de água e no consumo energético. Ainda assim, reduções ambientais observadas em cenários de desastre não devem ser interpretadas como ganhos de eficiência, mas como consequência mecânica de uma retração da produção, da renda e da mobilidade (OSEI-OWUSU; READ; THOMSEN, 2023; WIEDMANN; LENZEN, 2018).

No plano teórico, a literatura de redes de produção sustenta que o impacto agregado de um choque localizado depende menos de sua origem geográfica isolada e mais da posição dos setores atingidos na estrutura de encadeamentos da economia. Setores intensivos em conexões para trás e para frente transmitem perdas de forma mais ampla, especialmente quando a substituição de fornecedores é limitada no curto prazo. Em economias especializadas regionalmente, como a brasileira, choques em cadeias agroindustriais podem afetar desde fabricantes de insumos até serviços financeiros, de transporte e comércio, mesmo fora da área diretamente afetada (ACEMOGLU et al., 2012; BAQAEE; FARHI, 2019; CARVALHO, 2014).

No campo específico dos desastres, aplicações de modelos insumo-produto têm mostrado utilidade para estimar efeitos de curto prazo de enchentes, furacões, secas e interrupções de infraestrutura. A principal vantagem está na transparência contábil com que o modelo traduz um choque exógeno em variações totais de produto e renda, preservando a coerência entre atividades econômicas e relações de insumo. Embora a abordagem não incorpore plenamente substituições, preços e adaptação dinâmica, ela permanece particularmente adequada para avaliar a fase inicial de propagação de desastres, quando rigidez tecnológica, restrições logísticas e baixa flexibilidade operacional tendem a prevalecer (HALLEGATTE, 2008; OKUYAMA, 2007; OKUYAMA; SANTOS, 2014).

A incorporação de contas satélite ambientais também acrescenta uma dimensão interpretativa importante. Em situações de desastre, reduções de emissões e de uso de recursos não podem ser lidas como ganhos de sustentabilidade, mas sim como consequência mecânica da retração da atividade econômica. Ainda assim, mensurar tais variações é relevante porque explicita a intensidade material das cadeias afetadas e ajuda a compreender como riscos climáticos e pressões ambientais se distribuem pelo espaço econômico. Assim, a combinação entre modelo insumo-produto interregional e contas satélite oferece uma visão mais abrangente do evento, conectando perdas econômicas, dependências produtivas e uso de recursos.

3. Metodologia

3.1. Fontes de dados e calibração do choque

A principal fonte de danos físicos foi o relatório técnico da Emater/RS-Ascar sobre os impactos das chuvas e cheias extremas de maio de 2024 no Rio Grande do Sul (EMATER, 2024). O documento consolida perdas em unidades físicas em atividades agrícolas, pecuárias e

florestais, a partir de levantamentos de campo, escritórios municipais de extensão e articulação com autoridades locais. Para operacionalizar essas perdas no modelo insumo-produto, o estudo converteu os dados físicos em valores monetários com base em referências de preços do produtor provenientes do PAM/IBGE, Agrolink e CEPEA/ESALQ, além de coeficientes técnicos específicos quando necessário.

Como a matriz insumo-produto utilizada tem ano-base 2019, as perdas também foram expressas em preços compatíveis com essa estrutura. Essa dupla valoração permite, de um lado, reportar a magnitude do desastre em valores correntes de 2024 e, de outro, implementar o choque em uma estrutura tecnológica coerente com o sistema de Leontief empregado na simulação. Itens classificados como não estimados no manuscrito original foram excluídos do choque monetário para evitar arbitrariedades de mensuração.

Os valores monetários estimados foram interpretados como choques exógenos negativos de demanda final nos setores de agricultura e pecuária do Rio Grande do Sul, procedimento amplamente empregado em avaliações de impacto de desastres com base em insumo-produto (HALLEGATTE, 2008; OKUYAMA, 2007). Em preços de 2019, o choque totalizou R\$ 4.019,72 milhões, sendo R\$ 3.963,86 milhões na agricultura e R\$ 55,86 milhões na pecuária, conforme dados da Tabela 1.

A calibração do choque exigiu escolhas metodológicas relevantes. Parte das perdas reportadas pela Emater/RS-Ascar estava expressa em unidades físicas diretamente monetizáveis, como toneladas de grãos, litros de leite e número de animais. Em outros casos, contudo, a valoração direta seria conceitualmente frágil, como em mudas florestais ou itens para os quais não havia preços consistentes ao nível do produtor. A exclusão dessas observações da monetização não elimina a existência dos danos, mas evita inflar o choque econômico com valores excessivamente dependentes de hipóteses auxiliares. Trata-se de uma opção conservadora que privilegia a robustez da simulação.

Também merece destaque a compatibilização temporal entre dados de perdas e estrutura da matriz insumo-produto. Como o sistema interregional utilizado possui ano-base 2019, foi necessário expressar as perdas em preços compatíveis com essa base para manter a coerência entre coeficientes técnicos, intensidades e vetor de choque. Em seguida, os resultados foram atualizados para 2024 por meio do deflator implícito do PIB e convertidos em dólares com a taxa média de câmbio informada pelo Banco Mundial. Essa dupla apresentação reforça a utilidade do exercício: preserva a consistência interna da simulação e, ao mesmo tempo, facilita a comunicação contemporânea dos valores monetários estimados.

3.2. Modelo insumo-produto inter-regional

A simulação foi realizada na matriz insumo-produto interestadual do Brasil para 2019, composta por 27 estados e 68 setores (HADDAD et al., 2025). Nesse sistema, o vetor de produto total é determinado pela combinação entre requisitos intermediários e demanda final exógena. A solução do modelo é dada pela inversa de Leontief, que capta os requerimentos diretos e indiretos necessários para atender variações na demanda final.

Formalmente, a variação total do produto é obtida por $\Delta x = (I - A)^{-1} \cdot \Delta f$, em que A representa a matriz de coeficientes técnicos e Δf corresponde ao vetor de choque. A partir de coeficientes proporcionais por setor-região, derivam-se também as variações em valor adicionado, massa salarial e tributos. O estudo ainda utiliza coeficientes de intensidade ambiental para calcular as variações associadas de CO₂, água e energia.

Todos os resultados monetários são primeiramente reportados em preços constantes de 2019. Em seguida, os valores foram atualizados para preços correntes de 2024 com base no deflator implícito do PIB brasileiro e convertidos em dólares pela taxa média de câmbio fornecida pelo Banco Mundial, conforme descrito no manuscrito original. Trata-se de uma estratégia compatível com o objetivo de preservar a coerência estrutural do modelo e, simultaneamente, favorecer a comparabilidade contemporânea dos resultados.

3.3. Escopo analítico e limitações

A abordagem de Leontief é particularmente adequada para avaliar os efeitos estruturais de curto prazo de um desastre, pois assume coeficientes fixos e baixa capacidade de substituição imediata. Ainda assim, o modelo é estático, não incorpora ajustes de preços, estoques, recomposição de oferta ou demanda de reconstrução. Assim, os resultados devem ser interpretados como efeitos estruturais de curto prazo condicionados à tecnologia produtiva de 2019.

Essa delimitação é substantiva para a interpretação dos resultados. Em um horizonte mais longo, agentes econômicos podem reorganizar cadeias de suprimento, importar insumos, substituir fornecedores, adiar consumo, redirecionar investimentos e adaptar tecnologias. Nenhum desses mecanismos aparece plenamente na estrutura estática do modelo. Portanto, as estimativas aqui apresentadas não devem ser entendidas como previsão de trajetória macroeconômica total do pós-desastre, mas como medida estrutural do potencial de propagação imediata do choque através da rede produtiva brasileira. Nesse sentido, o exercício ilumina a

vulnerabilidade sistêmica associada ao evento, mesmo sem pretender representar a totalidade dos ajustes posteriores.

4. Resultados e discussão

4.1. O choque direto nas atividades primárias

A monetização das perdas físicas mostra que a maior parcela do choque direto concentrou-se na produção agrícola, especialmente em soja, milho, arroz e milho para silagem. Em valores de 2019, as perdas agrícolas somaram R\$ 3.963,86 milhões, enquanto as perdas na pecuária chegaram a R\$ 55,86 milhões. A Tabela 1 sintetiza o choque total e alguns dos itens mais relevantes em sua composição, evidenciando o peso da agropecuária na magnitude inicial do desastre.

Tabela 1 – Danos e perdas numéricas no setor de produção primária (Rio Grande do Sul, maio de 2024)

Categoria de impacto	Perda (quantidade)	Valor monetário de referência por unidade (R\$) para 2024	Valor monetário de referência por unidade (R\$) para 2019	Perda monetária estimada (milhões de R\$) [2024]	Perda monetária estimada (milhões de R\$) [2019]
Perdas no setor primário				7.091,90	4.019,72
I. Perdas na produção agrícola (t)				6.995,96	3.963,86
Grãos (perdas de produção)				6.456,10	3.705,88
Soja	2.714.151 t	1.978,54 ^a 2.002,88 ^b	1.115,88 ^a 1.193,70 ^b	5.403,09	3.134,27
Milho (silagem)	721.336 t	400,00 ^d	271,52 ^h	288,53	195,86
Arroz	160.664 t	2.083,68 ^a 2.243,50 ^b	838,64 ^a 859,28 ^b	347,61	136,40
Milho	354.189 t	922,36 ^a 953,27 ^b	543,69 ^a 536,74 ^b	332,16	191,34
Feijão	18.244 t	4.406,86 ^a 4.852,24 ^b	2.733,38 ^a 2.513,30 ^b	84,46	47,86
Canola (colza)/aveia	132 t	1.805,13 ^b	1.174,89 ^b	0,24	0,16
Grãos armazenados				93,26	36,60
Arroz (comprometido em silos)	43.106 t	Idem Arroz	Idem Arroz	93,26	36,60
Produção de frutas (perdas)				227,88	95,20
Tangerina	62.053,00 t	2.204,36 ^a	969,82 ^a	136,79	60,18
Laranja	40.986,50 t	1.895,36 ^a	648,90 ^a	77,68	26,60
Morango	4.900,01 t	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.
Maçã	2.700,00 t	2.860,94 ^a	1.638,15 ^a	7,72	4,42
Limão	2.524,43 t	2.252,20 ^a	1.586,24 ^a	5,69	4,00
Produção de hortaliças (perdas)				218,72	126,17
Batata	51.885,50 t	2.718,37 ^a	1.726,58 ^a	141,04	89,58
Brócolis	39.258,37 t	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.
Mandioca	21.999,70 t	2.260,65 ^a	1.014,55 ^a	49,73	22,32
Batata-doce	12.742,50 t	2.192,53 ^a	1.119,86 ^a	27,94	14,27
Alface	11.612,13 t	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.
Repolho	8.509,39 t	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.
II. Pecuária e produção animal				95,94	55,86
Mortes de animais				71,69	44,22
Aves comerciais	1.198.489 head	4,39 / kg ^e	2,47 / kg ^e	8,55 ^f	4,81
Gado de corte	14.806 head	8,64 / kg (live weight) ^b	5,38 / kg (live weight) ^b	57,57	35,85
Suínos	14.794 head	5,42 / kg ^b	3,46 / kg ^b	5,58 ^g	3,56
Gado leiteiro	2.451 head	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.
Piscicultura (perdas)	937,93 t	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.
Apicultura comercial (perdas)	16.054 hives	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.
Produção de leite não coletada				24,25	11,65
Total de leite não coletado	9.625.918 liters	2,5189 / liter ^c	1,21 / liter ^b	24,25	11,65
III. Produção florestal (plantas afetadas)					
Eucalipto	571.655 plants	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.
Erva-mate	438.880 plants	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.
Acácia	84.050 plants	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.
Pinus	32.102 plants	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.

Fonte: Adaptado de relatório publicado pela Emater/RS-Ascar, intitulado “Impactos das chuvas e cheias extremas no Rio Grande do Sul em maio de 2024” (EMATER, 2024).

Nota: ^a Com base na base PAM-IBGE para o RS (IBGE, 2025b); ^b Com base na base Agrolink para o RS (Agrolink, 2025a); ^c Com base na base CEPEA/ESALQ para o RS (ESALQ, 2026); ^d Com base em relatório da Agrolink (Agrolink, 2025b). ^e Com base na base Agrolink para SC (Agrolink, 2025a); ^f utilizando peso médio de 2,5 kg/cabeça (Agrocere, 2022), e empregando uma estimativa de razão de 65% de rendimento de processamento de uma ave viva em carne desossada, correspondente à proporção do peso vivo efetivamente convertida em carne desossada apta à comercialização (Agriculture Institute, 2023); ^g Com base em dados reportados no relatório *Produção e Abate de Suínos no Rio Grande do Sul*, o peso vivo médio dos suínos no momento do abate é de 94 kg (ACSURS, 2024), e, com base em estimativas-padrão do setor, o rendimento de carcaça de um suíno vivo corresponde a aproximadamente 74% do seu peso vivo, representando a fração efetivamente disponível para produção e comercialização de carne (Embrapa, 2025); ^h Com base em estudo anterior (Alves et al., 2025); n.e. = não estimado.

A composição do choque direto ajuda a compreender por que os efeitos indiretos se disseminam com tanta intensidade. Soja, milho e arroz possuem forte encadeamento com fornecedores de fertilizantes, defensivos, combustíveis, transporte, armazenagem e serviços financeiros. Além disso, parte relevante dessas cadeias está espacialmente articulada com outras unidades da federação, sobretudo no Sul e no Sudeste. Assim, mesmo quando a perda física ocorre no território gaúcho, a queda da demanda por insumos e serviços repercute em setores instalados em estados distintos, reforçando o caráter nacional do desastre.

A presença de perdas em grãos armazenados e de dificuldades de coleta de leite também mostra que o choque não se limitou à produção no campo. Houve comprometimento de estágios intermediários fundamentais para a continuidade da cadeia, como estocagem, logística e escoamento. Essa característica aproxima o evento de um choque sistêmico sobre o sistema agroalimentar regional, no qual produção, armazenamento e circulação foram afetados quase simultaneamente. Isso ajuda a explicar por que o impacto agregado estimado supera o valor do choque direto monetizado nos setores primários.

4.2. Efeitos agregados nacionais

A Tabela 2 resume os efeitos econômicos e ambientais agregados. Os resultados indicam contração total de R\$ 6,55 bilhões no produto em preços de 2019, equivalente a R\$ 9,35 bilhões em valores correntes de 2024. O valor adicionado recua R\$ 3,23 bilhões, a massa salarial diminui R\$ 0,70 bilhão e os tributos caem R\$ 0,24 bilhão. Entre os tributos, o ICMS responde pela maior parcela da retração, revelando um canal relevante de pressão fiscal subnacional em momentos de maior necessidade de gasto emergencial.

Tabela 2 - Impactos agregados econômicos e ambientais estimados

Indicador	Unidade	Valor
Produto total	1.000.000 BRL 2019	- 6.547,85
	1.000.000 BRL 2024 a	- 9.353,17
	1.000.000 USD 2024 b	- 1.735,28
Valor adicionado total	1.000.000 BRL 2019	- 3.232,11
	1.000.000 BRL 2024 a	- 4.616,86
	1.000.000 USD 2024 b	- 856,56
Massa salarial total	1.000.000 BRL 2019	- 700,75
	1.000.000 BRL 2024 a	- 1.000,97
	1.000.000 USD 2024 b	- 185,71
Tributos totais	1.000.000 BRL 2019	- 238,87
	1.000.000 BRL 2024 a	- 341,21
	1.000.000 USD 2024 b	- 63,30
Emissões de CO2	t 2019	-2.754.681,68
Uso de água	hm3 2019	-4207,88
Consumo de energia	1000 tep 2019	-145,30

Fonte: elaboração própria com base nos resultados.

Nas contas satélite, a retração de curto prazo corresponde a -2,75 milhões de toneladas de CO₂, -4.207,88 hm³ de água e -145,30 mil tep de energia. Esses resultados não representam ganhos permanentes de eficiência ambiental, mas refletem a queda da atividade econômica decorrente do desastre. Em outros termos, o modelo capta o encolhimento temporário das pressões ambientais associado à contração da produção.

A decomposição tributária também acrescenta um elemento relevante à interpretação econômica do desastre. A perda estimada em ICMS responde por parcela expressiva da retração tributária total, sugerindo pressão direta sobre a capacidade fiscal subnacional no momento em que se ampliam as necessidades de gasto com emergência, assistência e reconstrução. Em uma federação como a brasileira, em que estados e municípios possuem responsabilidades centrais na resposta imediata a desastres, esse canal fiscal é particularmente importante para o desenho de mecanismos compensatórios e de financiamento contingente.

No caso das contas satélite ambientais, os resultados reforçam que cadeias agroalimentares movimentam grandes volumes de água, energia e emissões incorporadas. Quando a produção é interrompida, tais pressões diminuem de forma mecânica, mas isso ocorre simultaneamente à destruição de renda, emprego e produto. Logo, a leitura ambiental deve ser feita em chave de metabolismo econômico: a retração revela a intensidade material das cadeias atingidas, e não uma transição sustentável. Essa distinção é indispensável para evitar interpretações normativamente equivocadas sobre os efeitos ambientais de um desastre.

4.3. Propagação intersetorial

A estrutura produtiva brasileira amplia o choque inicial por meio de seus encadeamentos. A agricultura absorve a maior parte da contração total, com redução de R\$ 4.058,17 milhões no produto e R\$ 2.388,62 milhões no valor adicionado. Em seguida, destacam-se setores intensivos em insumos e serviços de apoio à agropecuária, como fabricação de químicos orgânicos e inorgânicos, pesticidas e outros químicos, refino de petróleo, comércio atacadista e varejista, utilidades, transporte terrestre e intermediação financeira. Esses resultados são coerentes com a literatura sobre redes de produção, segundo a qual a dependência de insumos intermediários amplifica choques localizados.

A Tabela 3 apresenta os principais impactos intersetoriais. O padrão observado sugere que a agropecuária gaúcha opera como elo relevante na articulação entre produção primária, insumos industriais, energia e logística. Assim, perdas localizadas em um estado especializado geram retrações que alcançam setores fornecedores e prestadores de serviços em todo o país.

Tabela 3 - Principais impactos intersetoriais do choque das enchentes (R\$ milhões, preços de 2019)

Setor	Δ Produto	Δ Valor adicionado	Δ Massa salarial
Agricultura, apoio e pós-colheita	- 4.058,17	- 2.388,62	- 346,86
Químicos orgânicos/inorgânicos, resinas e elastômeros	- 554,13	- 84,45	- 37,64
Pesticidas, desinfetantes, tintas e outros químicos	- 273,01	- 50,67	- 27,62
Refino de petróleo e coque	- 260,12	- 30,70	- 4,89
Comércio atacadista e varejista	- 254,42	- 152,13	- 73,19
Eletricidade, gás natural e utilidades	- 148,11	- 57,77	- 9,07
Transporte terrestre	- 142,71	- 54,60	- 27,59
Intermediação financeira, seguros e previdência	- 122,20	- 80,16	- 29,28
Extração de petróleo e gás natural	- 74,04	- 33,65	- 5,32
Pecuária e atividades de apoio	- 69,89	- 32,24	- 8,67

Fonte: elaboração própria com base nos resultados.

Em termos ambientais setoriais, a maior variação absoluta concentra-se na agricultura, seguida por pecuária, transporte terrestre, utilidades e químicos. Esse padrão indica que a redução das pressões ambientais acompanha a retração dos setores diretamente ligados ao complexo agroindustrial e aos serviços de suporte. Tais resultados são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Principais variações setoriais em CO₂, água e energia

Setor	Δ CO ₂ (t 2019)	Δ Água (hm ³)	Δ Energia (10 ^{^3} tep)
Agricultura, apoio e pós-colheita	-2.378.186,84	-4.184,47	-83,15
Pecuária e atividades de apoio	-171.475,39	-10,63	-1,43
Transporte terrestre	-59.899,29	-0,01	-26,73
Eletricidade, gás natural e utilidades	-40.679,13	-0,04	-3,56
Químicos orgânicos/inorgânicos, resinas e elastômeros	-28.509,48	-0,29	-6,85
Silvicultura, pesca e aquicultura	-27.328,10	-11,69	-0,32
Refino de petróleo e coque	-15.918,19	-0,07	-6,26
Produtos minerais não metálicos	-11.660,82	-0,02	-3,33

Fonte: elaboração própria com base nos resultados.

4.4. Dimensão inter-regional e implicações

O manuscrito evidencia forte propagação interestadual, com destaque para São Paulo, Rio de Janeiro, Paraná e Santa Catarina, estados fortemente integrados às cadeias produtivas do Sul e Sudeste. Essa distribuição espacial reforça a ideia de pegada econômica do desastre: mesmo quando o evento climático é territorialmente localizado, seus efeitos são nacionalmente distribuídos por meio das relações de comércio inter-regional e das cadeias de suprimento.

Do ponto de vista de política pública, os resultados sustentam três implicações principais. Primeiro, investimentos em infraestrutura logística, armazenagem e utilidades resilientes podem reduzir a propagação de choques agrícolas. Segundo, instrumentos de gestão de risco rural e adaptação climática tendem a reduzir a severidade das interrupções produtivas. Terceiro, os transbordamentos interestaduais indicam a necessidade de coordenação federativa

e de mecanismos de financiamento do risco que reconheçam o caráter sistêmico de desastres em regiões agrícolas centrais.

Sob a ótica setorial, os resultados também sugerem prioridades para o setor privado. Empresas fornecedoras de insumos, operadores logísticos, armazenadores, frigoríficos e agroindústrias dependentes de matéria-prima regionalmente concentrada podem reduzir vulnerabilidade por meio de diversificação geográfica de fornecedores, revisão de estoques críticos, redundância logística e investimentos em infraestrutura adaptada a eventos extremos. Em cadeias altamente integradas, a gestão do risco climático não é apenas questão ambiental, mas componente da continuidade operacional e da estabilidade financeira.

A dimensão interestadual dos efeitos reforça, por fim, que desastres climáticos não devem ser interpretados como problemas estritamente locais. O caso gaúcho mostra que uma ruptura produtiva em estado fortemente especializado pode atingir centros industriais e de serviços que, à primeira vista, estão fora da zona do evento. Essa constatação dá suporte a políticas federais de adaptação e reconstrução com enfoque de rede, voltadas não apenas para a área diretamente atingida, mas também para os corredores logísticos, sistemas de armazenamento e setores-chave que condicionam a resiliência do abastecimento nacional.

Há ainda uma dimensão distributiva que merece atenção. Choques climáticos sobre cadeias agroalimentares tendem a afetar com maior intensidade produtores, trabalhadores e consumidores com menor capacidade de absorver perdas ou de acessar alternativas de abastecimento. Assim, mesmo quando o modelo evidencia contrações agregadas em produto, renda e tributos, parte relevante do problema reside na forma desigual como esses custos se distribuem entre territórios, empresas e domicílios. Em termos de política pública, isso reforça a importância de mecanismos de proteção social, apoio a pequenos produtores e coordenação logística para evitar que a ruptura inicial da produção se converta em insegurança alimentar e aprofundamento de vulnerabilidades econômicas (BURKE et al., 2015; FAO, 2022; HSIANG et al., 2017).

Outra implicação importante diz respeito à infraestrutura crítica. Estradas, pontes, sistemas de energia, armazenagem e ativos de transporte funcionam como mediadores do encadeamento econômico estimado pelo modelo; quando falham simultaneamente, o choque deixa de ser apenas agrícola e passa a comprometer a circulação de insumos e produtos em escala ampliada. Por isso, estratégias de adaptação orientadas por rede — com priorização de corredores logísticos, redundâncias operacionais e proteção de ativos essenciais — podem gerar

dividendos de resiliência superiores aos observados em políticas setoriais isoladas (COLUSSI et al., 2024; KOKS et al., 2019; QUANTE et al., 2024; WORLD BANK, 2019).

5. Considerações finais

Este artigo mostrou que as enchentes de maio de 2024 no Rio Grande do Sul produziram efeitos econômicos e ambientais que superam amplamente o choque direto nas atividades primárias do estado. A contração total estimada em produto, valor adicionado, massa salarial e tributos evidencia como desastres climáticos em estados especializados no agronegócio podem se propagar por redes produtivas densas, alcançando setores industriais, logísticos e de serviços em diferentes regiões do Brasil.

A análise também reforça que os resultados das contas satélite ambientais devem ser interpretados com cautela. As reduções estimadas em CO₂, água e energia decorrem da retração da atividade econômica no curto prazo e não configuram melhora estrutural de eficiência. Desse modo, a principal contribuição do estudo está em oferecer um mapa transparente da propagação do choque, útil para planejamento de adaptação, desenho de instrumentos de financiamento do risco e priorização de investimentos em infraestrutura resiliente.

Como agenda futura, o manuscrito sugere extensões dinâmicas ou híbridas que incorporem ajustes de preços, substituição entre fornecedores, restrições de capacidade e demanda de reconstrução, de modo a representar com maior realismo a reorganização das redes produtivas após eventos climáticos extremos.

Adicionalmente, agendas futuras podem combinar a estrutura interregional aqui empregada com dados mais desagregados sobre fluxos de transporte, armazenamento e localização de ativos críticos, permitindo mapear gargalos específicos da cadeia agroalimentar e avaliar cenários de adaptação. Também é promissora a incorporação de módulos dinâmicos de recuperação e de demanda de reconstrução, de forma a distinguir o efeito recessivo inicial do eventual estímulo posterior associado à reposição de ativos e à reorganização da oferta. Essas extensões aprofundariam a utilidade do modelo para o desenho de estratégias públicas e privadas de resiliência climática.

Referências

ACEMOGLU, D.; CARVALHO, V. M.; OZDAGLAR, A.; TAHBAZ-SALEHI, A. The Network Origins of Aggregate Fluctuations. *Econometrica*, v. 80, p. 1977-2016, 2012.

- ACSURS. Produção e Abate de Suínos. ACSURS, 2024. Disponível em:
<<https://acsurs.com.br/suinocultura/producao-e-abate/>>. Acesso em: 30 jan. 2026
- AGRICULTURE INSTITUTE. Understanding Meat Yield in Poultry Processing - Agriculture Notes by Agriculture.Institute. , 17 dez. 2023. Disponível em: <<https://agriculture.institute/poultry-products-technology/understanding-meat-yield-poultry-processing/>>. Acesso em: 30 jan. 2026
- AGROCERES. Reflexões do agro: quando abater meu lote de frangos de corte? - Blog da Agrocere Multimix. , 15 set. 2022. Disponível em: <<https://agrocere multimix.com.br/blog/quando-abater-meu-lote-de-frangos-de-corte-idade-de-abate/>>. Acesso em: 30 jan. 2026
- AGROLINK. Cotações agropecuárias preço ao produtor do Soja, Milho, Boi, Vaca, Café, Feijão, Arroz, Tomate, Mandioca, Batata e outras culturas e espécies. Disponível em:
<<https://www.agrolink.com.br/cotacoes/>>. Acesso em: 30 jan. 2026a.
- AGROLINK. Milho Silagem: Colheita avança e produtividade surpreende no Rio Grande do Sul. Disponível em: <<https://www.agroin.com.br/noticias/28544/milho-silagem-colheita-avanca-e-produtividade-surpreende-no-rio-grande-do-sul>>. Acesso em: 30 jan. 2026b.
- ALVES, Fernanda Franco et al. Produtividade e custos de produção de silagem de milho para suplementação de vacas leiteiras no período de seca em Rio Maria – PA. OBSERVATÓRIO DE LA ECONOMÍA LATINOAMERICANA, v. 23, n. 8, p. e11057–e11057, 18 ago. 2025.
- BAQAEE, D. R.; FARHI, E. The Macroeconomic Impact of Microeconomic Shocks: Beyond Hulten's Theorem. Econometrica, v. 87, p. 1155-1203, 2019.
- BARROT, J.-N.; SAUVAGNAT, J. Input specificity and the propagation of idiosyncratic shocks in production networks. Quarterly Journal of Economics, v. 131, p. 1543-1592, 2016.
- BURKE, M.; HSIANG, S. M.; MIGUEL, E. Global non-linear effect of temperature on economic production. Nature, v. 527, p. 235-239, 2015.
- CAMPBELL, B. M. et al. Reducing risks to food security from climate change. Global Food Security, v. 11, p. 34-43, 2016.
- CARVALHO, V. M. From micro to macro via production networks. Journal of Economic Perspectives, v. 28, p. 23-48, 2014.
- COLUSSI, J.; PAULSON, N.; SCHNITKEY, G.; ZULAUF, C. Catastrophic Floods in Southern Brazil: Implications for Agricultural Sector. Farmdoc Daily, v. 14, 2024.
- EBC. Rio Grande do Sul: Rain damage reaches BRL 88.9B. 2024. Disponível em:
<https://agenciabrasil.ebc.com.br/>. Acesso em: 29 set. 2025.
- EMATER. Impactos das chuvas e cheias extremas no Rio Grande do Sul em maio de 2024. Relatório SysPerdas EmaterRS, 2024.
- EMBRAPA. Embrapa Suínos e Aves - Portal Embrapa. Disponível em:
<<https://www.embrapa.br/suinos-e-aves>>. Acesso em: 30 jan. 2026.
- ESALQ. Consultas ao Banco de Dados do Site. Desenvolvimento de Sites. Disponível em:
<<https://www.cepea.org.br/br/>>. Acesso em: 30 jan. 2026.
- FAO. The State of Food Security and Nutrition in the World 2022. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2022.
- HADDAD, E. A.; ARAÚJO, I. F. de; ROCHA, A.; VALE, V. de A. Matriz interestadual de insumo-produto para o Brasil, 2019. Revista Brasileira de Estudos Regionais e Urbanos, v. 19, p. 607-638, 2025.
- HALLEGATTE, S. An Adaptive Regional Input-Output Model and its Application to the Assessment of the Economic Cost of Katrina. Risk Analysis, v. 28, p. 779-799, 2008.

- HSIANG, S.; KOPP, R.; JINA, A.; RISING, J.; DELGADO, M.; MOHAN, S.; RASMUSSEN, D. J. et al. Estimating economic damage from climate change in the United States. *Science*, v. 356, p. 1362-1369, 2017.
- IBGE. Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/home/pimpfbr/brasil>>. Acesso em: 30 ago. 2025.
- IFRC. Brazil: Rio Grande do Sul floods. 2024. Disponível em: <https://www.ifrc.org/>. Acesso em: 29 set. 2025.
- IPCC. The Intergovernmental Panel on Climate Change. 2019. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/>. Acesso em: 20 ago. 2019.
- KOKS, E. E.; ROZENBERG, J.; ZORN, C.; TARIVERDI, M.; VOUSDOKAS, M.; FRASER, S. A.; HALL, J. W.; HALLEGATTE, S. A global multi-hazard risk analysis of road and railway infrastructure assets. *Nature Communications*, v. 10, p. 2677, 2019.
- MILLER, R. E.; BLAIR, P. D. Input-Output Analysis: Foundations and Extensions. 2. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2009.
- OKUYAMA, Y. Economic Modeling for Disaster Impact Analysis: Past, Present, and Future. *Economic Systems Research*, v. 19, p. 115-124, 2007.
- OKUYAMA, Y.; SANTOS, J. R. Disaster impact and input-output analysis. *Economic Systems Research*, v. 26, p. 1-12, 2014.
- OSEI-OWUSU, A. K.; READ, Q. D.; THOMSEN, M. Potential Energy and Environmental Footprint Savings from Reducing Food Loss and Waste in Europe: A Scenario-Based Multiregional Input-Output Analysis. *Environmental Science & Technology*, v. 57, p. 16296-16308, 2023.
- PILLAR, V. D.; OVERBECK, G. E. Learning from a climate disaster: The catastrophic floods in southern Brazil. *Science*, v. 385, p. eadr8356, 2024.
- QUANTE, L.; WILLNER, S. N.; OTTO, C.; LEVERMANN, A. Global economic impact of weather variability on the rich and the poor. *Nature Sustainability*, v. 7, p. 1419-1428, 2024.
- SALVADOR, M. de A. Danos sociais e econômicos decorrentes de desastres naturais em consequência de fenômenos meteorológicos no Brasil: 2010-2019. 2021.
- SOUZA, B.; HADDAD, E. Climate change in Brazil: dealing with uncertainty in agricultural productivity models and the implications for economy-wide impacts. *Spatial Economic Analysis*, v. 17, p. 83-100, 2022.
- SUN, Y. et al. Global supply chains amplify economic costs of future extreme heat risk. *Nature*, v. 627, p. 797-804, 2024.
- WIEDMANN, T.; LENZEN, M. Environmental and social footprints of international trade. *Nature Geoscience*, v. 11, p. 314-321, 2018.
- WILLNER, S. N.; OTTO, C.; LEVERMANN, A. Global economic response to river floods. *Nature Climate Change*, v. 8, p. 594-598, 2018.
- WORLD BANK. The Global Facility for Disaster Reduction and Recovery (GFDRR). 2019. Disponível em: <https://ppp.worldbank.org/>. Acesso em: 21 fev. 2026.
- ZILLI, M. et al. The impact of climate change on Brazil's agriculture. *Science of the Total Environment*, v. 740, p. 139384, 2020.