

**RESTRIÇÃO AO CRÉDITO RURAL PARA INVESTIMENTOS EM PRODUTOS
SUSTENTÁVEIS DIANTE DE DESASTRES NATURAIS NO BRASIL**

***RURAL CREDIT RESTRICTIONS ON INVESTMENTS IN SUSTAINABLE PRODUCTS
IN THE FACE OF NATURAL DISASTERS IN BRAZIL***

Luis Felipe de Souza Rodrigues

Universidade Estadual de Campinas. Campinas, SP, Brasil

Leonardo Flauzino de Souza

Universidade Federal de Mato Grosso. Cuiabá, MT, Brasil

Daniel Thomaz Giacomelli Nunes Maciel

Universidade Federal de Mato Grosso. Cuiabá, MT, Brasil

**GT4. Meio ambiente, agroecologia, sustentabilidade e mudanças
climáticas**

Resumo: O artigo investiga como desastres naturais afetam as decisões de investimento de produtores rurais brasileiros, com foco na adoção de práticas agrícolas sustentáveis. O problema de pesquisa consiste em compreender se choques climáticos alteram a alocação de recursos, especialmente diante de restrições de crédito, maior percepção de risco e necessidade de liquidez. Metodologicamente, utiliza-se um painel dinâmico para o período de 2013 a 2024, abrangendo as 27 unidades federativas, estimado via GMM-System, permitindo tratar endogeneidade, heterogeneidade não observada e persistência temporal, com especificação log-linear. Os resultados indicam que desastres naturais influenciam significativamente o crédito para investimentos sustentáveis, sobretudo eventos hidrológicos, que geram expansão imediata do crédito. Esse efeito reflete o aumento da demanda por liquidez após perdas, incentivando recomposição de capital e adoção de tecnologias resilientes. Contudo, essa resposta é não linear: a expansão inicial é seguida por contração, associada ao aumento da aversão ao risco, deterioração da solvência e endurecimento das condições de financiamento. Conclui-se que desastres funcionam simultaneamente como impulsionadores e restritores ao investimento sustentável. Embora elevem a demanda por instrumentos de mitigação de risco, fricções financeiras limitam sua continuidade, reforçando a necessidade de políticas que reduzam o risco percebido e ampliem o acesso ao crédito.

Palavras-chave: Desastres Naturais; Crédito Agrícola; Risco; Investimento Sustentável; Mudanças Climáticas.

Abstract: The article investigates how natural disasters affect the investment decisions of Brazilian rural producers, with a focus on the adoption of sustainable agricultural practices. The research problem is to understand whether climate shocks alter resource allocation, particularly in the presence of credit constraints, increased risk perception, and liquidity needs. Methodologically, a dynamic panel is used for the period from 2013 to 2024, covering the 27 federal units, estimated through the System GMM approach, which allows addressing endogeneity, unobserved heterogeneity, and temporal persistence, using a log-linear specification. The results indicate that natural disasters significantly influence credit directed toward sustainable investments, especially hydrological events, which generate an immediate expansion of credit. This effect reflects an increase in liquidity demand after losses, encouraging capital recomposition and the adoption of resilient technologies. However, this response is nonlinear: the initial expansion is followed by contraction, associated with increased risk aversion, deterioration of solvency, and tightening of financing conditions. It is concluded that disasters simultaneously act as drivers and constraints on sustainable investment. Although they increase demand for risk mitigation instruments, financial frictions limit their continuity, highlighting the need for policies that reduce perceived risk and expand access to credit.

Keywords: Natural Disasters; Agricultural Credit; Risk; Sustainable Investment; Climate Change.

1. Introdução

Os desastres naturais exercem um impacto devastador sobre a segurança alimentar em países pobres, afetando desde a produção imediata até a estabilidade econômica de longo

prazo. Em países em desenvolvimento, o setor agrícola absorve aproximadamente 22% de todos os danos e perdas causados por perigos naturais, um índice que sobe para 25% quando se considera especificamente desastres relacionados ao clima, como secas, inundações e tempestades. A seca é identificada como o perigo mais prejudicial para a agricultura, sendo responsável por cerca de 84% de todos os danos e perdas econômicas sofridos pelo setor (FAO, 2025).

Com isso, os desastres naturais transformam profundamente o comportamento psicológico e a conduta financeira dos agricultores, gerando um aumento substancial na aversão ao risco. A experiência direta com choques climáticos, como inundações e secas, leva os indivíduos a adotar comportamentos mais conservadores e a exigir prêmios de risco mais elevados para compensar a incerteza futura (Ren, 2025). Em produtores rurais, essa aversão se manifesta na disposição de sacrificar uma parcela do seu lucro esperado para garantir a estabilidade futura por meio de mecanismos de proteção (Sauer, 2011). Além disso, perdas de renda significativas estão diretamente correlacionadas com uma redução na inclinação para assumir riscos financeiros, uma vez que os produtores priorizam a preservação de seus ativos remanescentes (Wahdat, 2021).

Essa percepção alterada do risco atua como um motor para a adoção de tecnologias resilientes, além de seguros agrícolas como estratégia de mitigação a longo prazo. Agricultores que sofreram choques climáticos tendem a ser mais propensos a investir em tecnologias verdes. A experiência do desastre cria uma *path dependence*, na qual as medidas de adaptação prévias e as interações diretas com o evento moldam as escolhas de investimento atuais (Fiordelisi, 2024; Si, 2020). Como resultado, observa-se maior disposição para pagar seguros agrícolas e produtos financeiros especializados que possam amortecer perdas futuras. Dessa forma, desviando o foco da maximização de lucros imediatos para a busca por segurança e inovação (Sauer, 2011).

Isso gera uma relação entre o choque do desastre e a inclinação empreendedora rural que segue um padrão em formato de "U" ao longo do tempo (Zhang, 2023). No período imediatamente posterior ao evento, o desastre atua como um inibidor, forçando os agricultores a concentrarem seus recursos escassos na reconstrução urgente e em trabalhos de remuneração rápida, em vez de novas iniciativas. Contudo, à medida que os impactos negativos enfraquecem e um ponto crítico de recuperação é ultrapassado, a experiência pode se transformar em um catalisador para a inovação e para a busca de subsistências alternativas fora da agricultura tradicional. Com suporte governamental adequado e assistência social,

esse ponto de virada ocorre de forma mais precoce, permitindo que a crise seja convertida em oportunidade para a prática empreendedora e para a transformação estrutural da economia rural (Haen, 2007).

No entanto, também é necessário mobilizar capital privado para apoiar a transição para uma agricultura sustentável, uma vez que só o financiamento público é insuficiente para enfrentar a degradação dos ecossistemas e a vulnerabilidade climática. Mas existem barreiras críticas para os agricultores, incluindo altos custos iniciais, lacunas de conhecimento e uma insegurança temporária de renda que geralmente dura cerca de cinco anos até a estabilização da produtividade (Wedl e Kam, 2025). Para superar esses obstáculos, as soluções financeiras podem ser classificadas em quatro categorias principais: pagamentos por resultados ambientais (como créditos de biodiversidade e carbono), financiamento baseado em dívida (títulos verdes e empréstimos com termos favoráveis), compartilhamento de risco de transição (acordos de compra de longo prazo e seguros de transição) e finanças mistas (blended finance), que utilizam capital público para reduzir o risco de investimentos privados.

Portanto, o setor financeiro precisaria se adaptar, fundamentando-se na integração sistemática da redução do risco de desastres ao planejamento de desenvolvimento, priorizando a prevenção proativa sobre a simples resposta reativa pós-evento. Esse processo é operacionalizado por meio de medidas "suaves", como o mapeamento de riscos, previsões meteorológicas e sistemas de alerta precoce, e medidas "duras", que envolvem o reforço físico de infraestruturas em setores críticos como a gestão hídrica e a proteção costeira (Caravani, 2015). O objetivo final dessa dinâmica é garantir o "dividendo triplo", que consiste em evitar perdas materiais imediatas, estimular a confiança para novos investimentos econômicos e assegurar cobenefícios sociais e ambientais duradouros para as populações afetadas.

Diante desse contexto, o objetivo desta pesquisa é analisar se a ocorrência de desastres naturais influencia as decisões de investimento dos produtores rurais brasileiros, particularmente no que se refere à adoção de ativos associados a práticas agrícolas sustentáveis. Busca-se investigar se a experiência com eventos extremos, como hidrológicos, climatológicos ou meteorológicos, altera a propensão dos produtores a direcionar recursos para tecnologias resilientes, instrumentos de mitigação de risco e práticas produtivas ambientalmente sustentáveis. Além disso, a pesquisa pretende examinar se a relação entre a exposição a desastres e a inclinação ao investimento segue uma dinâmica não linear ao longo do tempo, possivelmente caracterizada por um padrão em formato de "U". Por fim, o estudo também avaliará se diferentes tipos de desastres naturais produzem efeitos heterogêneos sobre

essas decisões de investimento, considerando que eventos climáticos distintos podem gerar impactos econômicos e percepções de risco diferenciadas entre os produtores.

2. Mudança climática e restrição de crédito na agricultura

A atividade agrícola é marcada por um conjunto de riscos distintos de outras atividades, tais como: riscos institucionais devido a mudanças de orientação da política pública agrícola, riscos financeiros associados à perda da produção e incapacidade de pagamento de dívidas e riscos tecnológicos marcados pela necessidade de alto volume de investimento na reposição e substituição de capital. Esta composição de riscos cria um mercado de alta demanda por crédito e com participação pública e privada com inúmeros mecanismos de dispersão de riscos pelo sistema financeiro (Barry; Robison, 2001; Buainain et al., 2013, 2014).

A partir da literatura de racionamento de crédito (Greenwald; Stiglitz, 1993; Stiglitz; Weiss, 1981), propor-se-á um modelo intertemporal de equilíbrio parcial para restrição de crédito agrícola (Barry; Robison, 2001; Boucher; Carter; Guirking, 2008; Hoff; Stiglitz, 1990) sob a condição de choques climáticos e riscos físicos e de transição (Migliorelli, 2023; Semieniuk et al., 2021). A literatura de racionamento de crédito compreende estes riscos que impactam em aumento das taxas de juros cobradas pelos empréstimos, aumento da exigência de colateral e queda dos investimentos em estoque de capital por parte dos agricultores. De tal forma que os agricultores estabelecem uma função de lucro definida por:

$$\pi(R, \hat{r}) = \max[R - (1 + \hat{r})B; -C] \quad (1)$$

Onde R são os retornos reais esperados, $\hat{r}$ é a taxa real de juros estabelecida pelos bancos, B é o volume total de dívida contratada e C o colateral exigido pelos bancos. Por outro lado, o lucro da atividade bancária é definido por:

$$\rho(R, \hat{r}) = \min[C; (1 + \hat{r})B] \quad (2)$$

As equações 1 e 2 definem que sempre que o agricultor obtiver receitas descontadas do custo de pagamento da dívida superiores ao valor dos colaterais a serem entregues ($R - (1 + \hat{r})B > -C$), ele optará por pagar a dívida aos bancos, que irão receber $\rho(R, \hat{r}) = \min[C; (1 + \hat{r})B]$. Por outro lado, sempre que as receitas, descontadas o custo de pagamento da dívida, forem menores do que o valor dos colaterais a serem entregues ($R - (1 + \hat{r})B < -C$), o agricultor optará pelo default e o sistema bancário receberá apenas

os colaterais $p(R, \hat{r}) = C$. No entanto, sistema bancário não é indistinto entre fornecer crédito ao agricultor e fornecer crédito a outras atividades menos arriscadas, mesmo na presença de retornos esperados da atividade equivalentes, uma vez que:

$$\int_0^{\infty} f_R(R_a, \theta_a) dR = \int_0^{\infty} f_R(R_j, \theta_j) dR \quad (3)$$

$$\int_0^n f_R(R_a, \theta_a) dR > \int_0^n f_R(R_j, \theta_j) dR \quad (4)$$

Onde θ_a representa um investimento no setor agrícola e θ_j representa um investimento em um setor não-agrícola sujeito a um conjunto de riscos menores. As equações 3 e 4 estabelecem que os retornos esperados de ambos os investimentos, em tempo contínuo e a longo prazo, são equivalentes (equação 3), mas que o sistema bancário exige uma amortização desta dívida de forma antecipada para o investimento agrícola como forma de mitigação do conjunto de riscos maiores (equação 4). O principal corolário desta preferência dos bancos são as cobranças de taxas de juros maiores, exigência de maiores colaterais e menos prazo de financiamento, marcando um cenário de restrição de crédito (Hoff; Stiglitz, 1990; Stiglitz; Weiss, 1981).

No entanto, estas condições definidas pelo sistema bancário também alteram as preferências alocativas do agricultor de acordo com as funções de utilidade:

$$U(W) = \lambda U(K^a) + (1 - \lambda) U(M) \quad (5)$$

$$U(W) = \lambda U(R_a; \sigma_a) + (1 - \lambda) U(r_n; \sigma_r) \quad (6)$$

Onde W representa a riqueza total do agricultor (financiada e não financiada), K^a o estoque de capital e terra, M o estoque de riqueza líquida, r_n a taxa real de juros natural, σ_a e σ_r o desvio padrão dos retornos do investimento agrícola dos ativos líquidos, e λ a preferência exógena do agricultor na distribuição da riqueza. Neste sentido, as maiores taxas de juros dos empréstimos, maiores colaterais e menores prazos reduzem a preferência alocativa λ , reduzindo os investimentos em estoque de capital físico e terras e elevando a manutenção de volumes de riqueza líquida voltada ao pagamento de maiores colaterais e taxas de juros maiores em menores prazos (Boucher; Carter; Guirking, 2008; Tobin, 1958).

Além disso, o racionamento de crédito também pode implicar na ocorrência de choques de oferta (Greenwald; Stiglitz, 1993). Neste caso, a função de produção das firmas agrícolas pode ser definida como:

$$q_t^i = \begin{cases} f^i(K_t^i; L_t^i) + z_t, A_t^i = 0 \\ f^i[(K_t^i + \lambda A_t^i); L_t^i] + z_t, A_t^i = 0 \end{cases} \quad (7)$$

$$A_t^i = p_t^i q_{t-1}^i - w_{t-1}^i L_{t-1}^i - (1 + \hat{r}_{t-1}^i) B_{t-1}^i \quad (8)$$

Onde cada firma agrícola i contrata capital físico e terras (K_t^i) e trabalho (L_t^i) e está sujeita à possibilidade de que o custo marginal de falência (A_t^i) seja positivo, ou seja, suas receitas ($p_t^i q_{t-1}^i$) podem ser inferiores à soma de salários contratados ($w_{t-1}^i L_{t-1}^i$) e custos de financiamento $((1 + \hat{r}_{t-1}^i) B_{t-1}^i)$, e sob condições de choques estocásticos devido a intempéries não previsíveis ou boas condições climáticas $z_t \sim N(0, \sigma_z^2)$. Em uma condição de perfeito equilíbrio, no qual todo estoque de capital e terras (K_t^i) foi financiado com tomada de crédito (B_t^i), a taxa de juros cobrada pelos bancos ($\hat{r}_t^i$) se equivale à taxa natural de juros (r_n) e ao produto marginal do capital ($\frac{\partial f^i}{\partial K_t^i}$) e os salários são equivalentes ao produto marginal do trabalho, A_t^i será proporcional ao choque z_t tendendo à média nula no longo prazo.

No caso de racionamento de crédito, onde as taxas de juros cobradas pelos bancos se tornam maiores (Stiglitz; Weiss, 1981), as firmas agrícolas precisarão desalocar capital permanentemente e perder recursos líquidos ($A_t^i < 0$), o que contribui para explicar sua maior preferência exógena por manter um elevado volume de recursos líquidos como forma de proteção e preferência pela liquidez, gerando novas desaloções de capital (Barry; Robison, 2001; Boucher; Carter; Guirkingner, 2008). Além disso, choques de preços e quebras de safra podem comprometer as receitas das firmas agrícolas, impactando em choques exógenos imprevisíveis em $p_t^i q_{t-1}^i$, elevando o custo marginal de falência (A_t^i) e resultando em choques de oferta de produtos agrícolas via redução a função de produção (q_t^i).

Sendo assim, a longo prazo e sob a hipótese de mercados competitivos, o empreendimento agrícola tornar-se-ia inviável, seja pelas taxas de juros cobradas acima do produto marginal do capital ou por recorrentes choques de receitas. A solução usual para esta condição foi o estabelecimento de fundos públicos para empréstimos, que reduziria forçosamente a taxa de juros cobrado pelo financiamento a valores compatíveis com o produto marginal do capital na atividade agrícola (Hoff; Stiglitz, 1990), e o estabelecimento de seguros agrícolas para proteger o agricultor dos choques de receitas (Goodwin, 2001; Meuwissen; Huirne; Skees, 2003). No entanto, para a agricultura brasileira de larga escala e frente aos choques climáticos atuais, estes mecanismos são insuficientes (Buainain et al., 2013, 2014; Jørgensen; Termansen; Pascual, 2020; Müller; Johnson; Kreuer, 2017).

A agricultura de larga escala brasileira modifica os elementos acima porque os preços dos produtos agrícolas podem ser vendidos acima dos custos, elevando as receitas acima do valor de equilíbrio competitivo. Se a imposição de mark-up sobre os preços superar o spread adicional sobre a taxa de juros natural, o custo marginal de falência (A_t^i) torna-se nulo ou até mesmo positivo, adicionando receita e elevando a capacidade de reinvestimento do agricultor. Por outro lado, a demanda de crédito pela agricultura de larga escala também é muito mais elevada, tornando os fundos públicos insuficientes e estabelecendo um padrão de competição pelo acesso a estes fundos inviável para a agricultura de baixa escala, o que reforça o padrão assimétrico e estruturalmente heterogêneo da agricultura brasileira (Fornazier; Vieira Filho, 2013).

Por outro lado, as mudanças climáticas adicionam novas formas de risco capazes de elevar o racionamento de crédito do mercado de financiamento privado. A literatura identifica dois blocos de riscos climáticos sobre o sistema econômico: riscos físicos e riscos de transição. Os riscos físicos correspondem a danos causados à produção e à demanda devido à elevação da ocorrência de eventos climáticos extremos. Os riscos de transição envolvem uma potencial perda de produtividade dada a necessidade de se investir em tecnologias verdes não emissoras de carbono, que podem não ser a escolha mais eficiente (Migliorelli, 2023; Semieniuk et al., 2021).

No modelo proposto em questão isto significa que o choque aleatório tornar-se-á mais intenso e com efeito predominantemente negativo, $z_t \sim N(\mu_c, \sigma_c^2)$, tal que $\mu_c < 0$ e $\sigma_c^2 > \sigma_c^z$, e a taxa de juros cobrada pelo sistema bancário ($\hat{r}_t^i$) tornar-se-á mais elevada. Neste cenário,

mesmo a agricultura de larga escala pode passar a ter um custo marginal de falência sistematicamente negativo ($A_t^i < 0$) em um cenário de escassez e insuficiência de mecanismos públicos de financiamento. É neste contexto que emerge a literatura de financiamento verde e banco central verde para a transição de baixo carbono (Campiglio, 2016; Maria; Ballini; Souza, 2023).

3. Metodologia

3.1 Dados e Especificações

Os dados utilizados no modelo, referentes ao crédito agrícola destinado a investimentos, foram extraídos do Banco Central do Brasil (BACEN), por meio de sua Matriz de Crédito Agrícola. A partir dessa base, procedeu-se à seleção das operações cujos recursos estão explicitamente direcionados a práticas sustentáveis.

A classificação desses produtos como sustentáveis fundamenta-se em critérios técnicos alinhados à literatura econômica e ambiental, segundo os quais tais práticas contribuem diretamente para três dimensões centrais da sustentabilidade em sistemas produtivos: (i) a conservação dos recursos naturais, (ii) a eficiência no uso de insumos produtivos e (iii) a mitigação de externalidades ambientais negativas.

Nesse contexto, as operações selecionadas abrangem iniciativas voltadas à conservação e melhoria do solo, à gestão eficiente dos recursos hídricos, à preservação ambiental e florestal, à gestão de resíduos e ao saneamento rural, bem como à adoção de fontes de energia renovável e tecnologias limpas. Adicionalmente, incluem-se sistemas produtivos sustentáveis e inovações de base biológica, que promovem ganhos de produtividade compatíveis com a manutenção do capital natural no longo prazo.

Por sua vez, os dados sobre desastres naturais foram disponibilizados pelo Departamento de Articulação e Gestão da Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil, do Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional (Sedec/MIDR). Esses dados estão disponíveis no Atlas de Desastres do Brasil, geridos pelo Centro de Estudos e Pesquisas em Engenharia e Defesa Civil da Universidade Federal de Santa Catarina (CEPED/UFSC). Os dados sobre produtores segurados foram extraídos do Atlas do Seguro Rural, disponibilizado pelo Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA). Já os dados das variáveis instrumentais foram todos disponibilizados pelo BACEN, sendo eles o Índice do Custo de Crédito (ICC), o câmbio e o valor de crédito destinado a recursos livres.

Os dados estão organizados em painel para o período de 2013 a 2024, abrangendo as 27 unidades federativas do país. Foram estimados modelos agregados por grupos de desastres naturais, bem como especificações individuais para cada tipo de evento dentro desses grupos. Adotou-se a forma funcional log-linear, uma vez que permite interpretar os coeficientes como variações percentuais do crédito em resposta a choques ambientais, além de contribuir para reduzir a assimetria das distribuições e da heterocedacidade desse tipo de dado.

3.2 Estratégia Empírica

Para testar as hipóteses derivadas do modelo teórico, emprega-se um modelo de painel dinâmico estimado pelo Método dos Momentos Generalizados em Sistema (GMM-System), proposto por Arellano e Bover (1995) e Blundell e Bond (1998). Essa abordagem é adequada por quatro razões: (i) a presença da variável dependente defasada como regressor gera viés de painel dinâmico em estimadores convencionais; (ii) a possível endogeneidade entre desastres, crédito e seguros requer o uso de variáveis instrumentais; (iii) a heterogeneidade não observada entre unidades federativas (efeitos fixos) é controlada pela transformação em primeiras diferenças; e (iv) a variável dependente apresenta elevada persistência temporal, uma vez que o investimento em produtos sustentáveis não responde exclusivamente à ocorrência de desastres naturais, mas também reflete um processo de mudança institucional que vem alterando esse comportamento de forma contínua ao longo do tempo. Portanto, a especificação de referência incorpora dinâmicas e não linearidades:

$$\ln(IS)_t^i = \rho \ln(IS)_{t-1}^i + X_t^i \beta + Z_t^i + \eta_i + \varepsilon_t^i \quad (9)$$

onde o X_t^i representa o vetor dos efeitos principais dos eventos de desastres naturais, Z_t^i contém todas as interações bilaterais entre essas variáveis, η_i capta os efeitos específicos de cada unidade federativa invariantes no tempo, e ε_t^i é um termo de erro idiossincrático assumido para satisfazer $E[\varepsilon_t^i | \eta_i, W_t^i] = 0$, em que W_t^i denota o histórico completo de todas as variáveis até o período t .

A estratégia de identificação baseia-se em duas fontes de variação exógena. Em primeiro lugar, são utilizados os instrumentos internos provenientes do método GMM-System, no qual os níveis defasados são empregados como instrumentos para a equação em primeiras diferenças, enquanto as diferenças defasadas instrumentalizam a

equação em nível. De forma mais específica, para as variáveis endógenas e predeterminadas, adotam-se as seguintes condições de momento:

$$E[y_{t-1}^i \cdot \Delta \varepsilon_t^i] = 0 \text{ for } s \geq 2; t = 3, \dots, T \quad (10)$$

$$E[\Delta y_{t-1}^i \cdot (\eta_i + \varepsilon_t^i)] = 0 \quad t = 3, \dots, T \quad (11)$$

onde y representa qualquer variável endógena ou predeterminada. A validade desses instrumentos exige que o termo de erro ε_t^i não apresente correlação serial além da primeira ordem, condição que é testada explicitamente.

4. Resultados

Os resultados da estimação da Tabela 1 evidenciam uma dinâmica consistente com uma relação em formato de U invertido entre choques de desastres naturais e o crédito agrícola destinado a investimentos sustentáveis. Em particular, os desastres hidrológicos (H) apresentam coeficiente do ano vigente positivo e estatisticamente significativo, indicando que, no curto prazo, tais eventos estão associados à expansão do crédito, possivelmente em função da necessidade de recomposição da capacidade produtiva e de financiamento de medidas de adaptação. Todavia, o coeficiente defasado negativo (H_{-1}) é significativo, revelando que esse efeito não se sustenta ao longo do tempo, sendo seguido por uma retração no período subsequente. Esse comportamento sugere que o impulso inicial é gradualmente compensado por um aumento da percepção de risco, restrições financeiras e maior cautela por parte dos agentes de crédito, configurando, portanto, um padrão não linear em que efeitos positivos iniciais são revertidos ao longo do tempo.

No que se refere às demais categorias de desastres, os coeficientes associados aos eventos climatológicos (C) e meteorológicos (M), tanto no ano vigente quanto defasados, não se mostraram estatisticamente significativos, indicando ausência de evidência empírica suficiente quanto à sua influência sobre o crédito agrícola sustentável no modelo estimado. Além disso, a variável referente ao número de produtores segurados (S) apresentou coeficiente positivo e significativo, corroborando o papel dos mecanismos de mitigação de risco na ampliação do acesso ao crédito.

Destaca-se, adicionalmente, a forte persistência da variável dependente (VC_{-1}), evidenciada pelo coeficiente elevado e estatisticamente significativo da sua defasagem. Esse

resultado indica que o crédito agrícola voltado a investimentos sustentáveis apresenta elevada inércia temporal, refletindo um padrão contínuo de demanda e oferta ao longo do tempo. Em termos econômicos, tal evidência sugere que o interesse por práticas sustentáveis no setor agrícola não depende exclusivamente da ocorrência de choques adversos, mas também está associado a uma trajetória estrutural de consolidação desse tipo de financiamento, possivelmente impulsionada por mudanças institucionais, exigências de mercado e maior conscientização ambiental.

Tabela 1. Resultados da estimação em GMM-System por tipo de desastre natural.

Parametros	Coefficientes	Desvio Padrão
VC ₋₁	1.011553***	0.002976
H	0.000994*	0.000422
C	-0.000489	0.000324
M	-0.000995	0.000875
H ₋₁	-0.000996***	0.000265
C ₋₁	0.000061	0.000347
M ₋₁	0.000391	0.000705
S	0.000004**	0.000002
Diagnósticos do Modelo		
Teste	Valor	P-Valor
Teste de Sargan	24.51826	0.10602
AR(1)	-2.591488***	0.00967
AR(2)	0.368227	0.71837
Teste de Wald	1.455095e ⁺¹² ***	0,00000
Observações	312	
Grupos	27	
Instrumentos	8	

Nota: foram usados lags de 2 a 5 anos para a variável dependente, além das variáveis instrumentais de ICC, do câmbio e do valor concedido de crédito com recursos livres. *, **, *** denotam significância nos níveis de 10%, 5% e 1%, respectivamente.

Os testes de diagnóstico indicam uma adequada especificação e validade do modelo estimado por GMM-System. O teste de Sargan não rejeita a hipótese nula, sugerindo que os instrumentos utilizados são válidos e não apresentam problemas de sobreidentificação. No que se refere à autocorrelação, a significância do teste AR(1) é esperada em modelos em primeiras diferenças, enquanto a não significância do teste AR(2) confirma a ausência de autocorrelação de segunda ordem, condição essencial para a consistência dos estimadores. Adicionalmente, o teste de Wald apresenta elevada significância estatística, evidenciando que

o conjunto das variáveis explicativas é conjuntamente relevante. Portanto, esses resultados reforçam a robustez e a confiabilidade das estimativas obtidas.

Ao desagregar os desastres hidrológicos por categoria específica, observa-se na Tabela 2 que os efeitos sobre o crédito agrícola sustentável não são homogêneos, revelando nuances importantes na resposta dos agentes econômicos. Em particular, as enxurradas (E) apresentam coeficiente corrente negativo e estatisticamente significativo, indicando que esse tipo de evento está associado à redução do valor médio dos contratos de crédito no curto prazo. Esse resultado sugere que choques mais abruptos e localizados, característicos das enxurradas, tendem a elevar a percepção de risco imediato e a comprometer a capacidade de resposta dos produtores, o que leva à retração na concessão de crédito.

Tabela 2. Resultados da estimação em GMM-System por tipo de desastre natural de origem hidrológica.

Parametros	Coefficientes	Desvio Padrão
VC ₋₁	0.999724***	0.005262
E	-0.001681*	0.000798
AA	0.005581**	0.001818
MM	0.012118*	0.006148
E ₋₁	-0.000136	0.000837
AA ₋₁	0.001480	0.001951
MM ₋₁	-0.015024*	0.005183
S	0.000006	0.000003
Diagnósticos do Modelo		
Teste	Valor	P-Valor
Teste de Sargan	26	0.09975
AR(1)	-2.382839**	0.00967
AR(2)	0.6256525	0.53154
Teste de Wald	1351845***	0,00000
Observações	312	
Grupos	27	
Instrumentos	8	

Nota: foram usados lags de 2 a 8 anos para a variável dependente, além das variáveis instrumentais de ICC, do câmbio e do valor concedido de crédito com recursos livres. *, **, *** denotam significância nos níveis de 10%, 5% e 1%, respectivamente.

Por outro lado, os eventos associados ao acúmulo de água, como alagamentos e inundações (AA), exibem coeficiente positivo e estatisticamente significativo no ano de ocorrência, evidenciando uma expansão do crédito após o acontecimento desses desastres.

Esse comportamento pode estar relacionado à necessidade de financiamento para recuperação de áreas produtivas, bem como à implementação de medidas adaptativas, refletindo uma resposta ativa do sistema financeiro diante de choques com impactos mais difusos e prolongados.

De forma semelhante, os movimentos de massa (MM) apresentam o maior coeficiente positivo no período corrente, sugerindo que esse tipo de desastre gera uma demanda mais intensa e imediata por crédito, em função dos danos estruturais severos que exigem reconstrução e adaptação produtiva de maior escala. Esse resultado reforça a hipótese de que determinados desastres induzem um aumento na demanda por crédito no curto prazo. Contudo, a defasagem dessa variável (MM₋₁) apresenta coeficiente negativo e significativo, indicando que esse impulso inicial não se sustenta ao longo do tempo, sendo seguido por uma retração no período subsequente. Tal evidência é consistente com um mecanismo de ajuste intertemporal, no qual o aumento inicial do crédito é posteriormente compensado por maior cautela das instituições financeiras e restrições associadas ao risco acumulado.

No que se refere aos efeitos defasados das enxurradas (E₋₁) e dos acúmulos de água (AA₋₁), os coeficientes não se mostram estatisticamente significativos, sugerindo que os impactos desses eventos são predominantemente de curto prazo, sem evidência de persistência temporal relevante sobre o crédito agrícola sustentável.

Adicionalmente, a variável relacionada ao número de produtores segurados (S) não apresentou significância estatística neste recorte específico, indicando que, ao controlar pelas diferentes categorias de desastres hidrológicos, não há evidência suficiente de que os mecanismos de seguro influenciem diretamente o valor médio dos contratos de crédito. Esse resultado pode refletir limitações na cobertura securitária ou na sua efetividade como instrumento de mitigação de risco no contexto analisado.

Por fim, a elevada magnitude e significância do coeficiente da variável dependente defasada (VC₋₁) permanecem consistentes com os resultados anteriormente discutidos, reforçando a existência de forte persistência temporal no crédito agrícola sustentável. Em conjunto, esses achados evidenciam que a relação agregada previamente identificada mascara efeitos heterogêneos entre diferentes tipos de desastres hidrológicos, os quais variam tanto em direção quanto em duração.

Os testes de diagnóstico confirmam a adequação do modelo estimado por GMM-System. O teste de Sargan não rejeita a validade dos instrumentos, indicando ausência de sobreidentificação. A significância do AR(1) e a não significância do AR(2) atendem às

condições necessárias de autocorrelação dos resíduos, garantindo a consistência dos estimadores. Por fim, o teste de Wald evidencia que as variáveis são conjuntamente significativas, reforçando a robustez dos resultados.

Apesar dos desastres de natureza climatológica não apresentarem significância no modelo da Tabela 1, os resultados apresentados na Tabela 3 indicam um padrão distinto em relação às categorias previamente analisadas, caracterizado por efeitos assimétricos entre os diferentes tipos de eventos e pela predominância de impactos de curto prazo associados a mecanismos de ajuste intertemporal.

Tabela 3. Resultados da estimação em GMM-System por tipo de desastre natural de origem climatológica.

Parametros	Coefficientes	Desvio Padrão
VC ₋₁	1.003992***	0.004022
IF	-0.001575***	0.000461
ES	0.000189	0.000175
OF	0.003834**	0.001203
IF ₋₁	0.001423**	0.000502
ES ₋₁	-0.000176	0.000162
OF ₋₁	0.006602***	0.001830
S	0.000009***	0.000002
Diagnósticos do Modelo		
Teste	Valor	P-Valor
Teste de Sargan	24.8212	0.098784
AR(1)	-2.28314*	0.022422
AR(2)	-0.01619	0.98708
Teste de Wald	4.757355e ⁺¹³ ***	0.00000
Observações	312	
Grupos	27	
Instrumentos	8	

Nota: foram usados lags de 2 a 5 anos para a variável dependente, além das variáveis instrumentais de ICC, do câmbio e do valor concedido de crédito com recursos livres. *, **, *** denotam significância nos níveis de 10%, 5% e 1%, respectivamente.

Especificamente, os incêndios florestais (IF) apresentam coeficiente corrente negativo e estatisticamente significativo, evidenciando que a ocorrência desses eventos está associada à redução do valor médio dos contratos de crédito agrícola sustentável no período atual. Sendo assim, os choques dessa natureza, ao comprometerem diretamente a capacidade produtiva e elevarem a incerteza quanto à recuperação das áreas afetadas, induzem uma

postura mais restritiva por parte das instituições financeiras, além de limitarem a demanda por crédito por parte dos produtores. Contudo, o coeficiente defasado (IF_{-1}) assume sinal positivo e significativo, indicando a existência de um efeito de recuperação no período subsequente. Tal comportamento é consistente com um processo de recomposição produtiva, no qual a necessidade de investimentos pós-desastre impulsiona a demanda por financiamento, revertendo parcialmente o impacto negativo inicial.

Em relação aos eventos de estiagem e seca (ES), tanto o coeficiente corrente quanto o defasado não se mostraram estatisticamente significativos, indicando ausência de evidência estatística suficiente quanto à sua influência sobre o crédito agrícola sustentável no modelo estimado. Esse resultado pode refletir o caráter mais gradual e previsível desse tipo de choque, o que permite maior capacidade de antecipação por parte dos agentes econômicos, reduzindo a necessidade de ajustes abruptos no volume de crédito.

Por outro lado, as ondas de frio (OF) apresentam coeficientes positivos e estatisticamente significativos tanto no período corrente quanto na defasagem, evidenciando um impacto persistente sobre a expansão do crédito. Portanto, tais eventos podem estar induzindo uma resposta contínua do sistema financeiro, possivelmente associada à necessidade de investimentos em tecnologias de proteção, adaptação produtiva e mitigação de riscos climáticos. A persistência do efeito positivo (OF_{-1}) ao longo do tempo indica que os impactos desses choques não se restringem ao curto prazo, gerando desdobramentos que se estendem para períodos subsequentes.

Adicionalmente, a variável referente ao número de produtores segurados (S) mantém coeficiente positivo e estatisticamente significativo, reforçando o papel dos mecanismos de seguro como instrumentos de mitigação de risco e de facilitação do acesso ao crédito. A variável dependente defasada (VC_{-1}) permanece com coeficiente elevado, positivo e altamente significativo, corroborando a forte persistência temporal do crédito agrícola sustentável já observada nas especificações anteriores.

No que se refere aos testes de diagnóstico, os resultados confirmam a adequação da especificação econométrica adotada. O teste de Sargan não rejeita a hipótese nula de validade dos instrumentos, indicando ausência de problemas de sobreidentificação. A significância do teste de autocorrelação de primeira ordem ($AR(1)$) é compatível com a estrutura do estimador em primeiras diferenças, enquanto a não significância do teste de segunda ordem ($AR(2)$) assegura a consistência dos estimadores. Por fim, o teste de Wald indica elevada significância conjunta das variáveis explicativas, reforçando a robustez dos resultados obtidos.

Por sua vez, os resultados para os eventos climatológicos da Tabela 4 indicam que as variáveis associadas a vendavais e ciclones (VCC), tornados (T) e granizo (G), tanto no período corrente quanto em suas defasagens, não apresentaram significância estatística, evidenciando ausência de relevância empírica para explicar a dinâmica do crédito agrícola sustentável no modelo estimado. Esse padrão sugere que tais choques não exercem influência sistemática sobre o comportamento do crédito, não sendo determinantes para variações no valor médio dos contratos ao longo do tempo.

Tabela 4. Resultados da estimação em GMM-System por tipo de desastre natural de origem meteorológica.

Parametros	Coefficientes	Desvio Padrão
VC ₋₁	0.996543***	0.008170
VCC	-0.000201	0.000795
T	0.021376	0.015347
G	-0.000624	0.002028
VCC ₋₁	0.000236	0.000839
T ₋₁	0.015294	0.017905
G ₋₁	-0.000952	0.001986
S	0.000011*	0.000005
Diagnósticos do Modelo		
Teste	Valor	P-Valor
Teste de Sargan	17.40414	0.35992
AR(1)	-2.264843*	0.02352
AR(2)	-1.025213	0.30526
Teste de Wald	10663869***	0.00000
Observações	312	
Grupos	27	
Instrumentos	11	

Nota: foram usados lags de 2 a 8 anos para a variável dependente, além das variáveis instrumentais de ICC, do câmbio e do valor concedido de crédito com recursos livres. *, **, *** denotam significância nos níveis de 10%, 5% e 1%, respectivamente.

Contudo, as variáveis de caráter estrutural se mostram como os principais fatores explicativos da dinâmica do crédito nesse contexto. Destaca-se a forte persistência da variável dependente defasada, indicando elevada inércia temporal, bem como o efeito positivo e significativo do número de produtores segurados, reforçando o papel dos mecanismos de mitigação de risco. De forma geral, esses resultados evidenciam que o crédito agrícola sustentável nesse contexto é predominantemente determinado por sua própria trajetória e por

condições estruturais do sistema financeiro, em detrimento de choques meteorológicos pontuais.

No que se refere aos testes de diagnóstico, os resultados confirmam a adequação da especificação econométrica. O teste de Sargan não rejeita a hipótese nula, indicando validade dos instrumentos utilizados. A significância do teste de autocorrelação de primeira ordem (AR(1)) é compatível com a estrutura do modelo em diferenças, enquanto a não significância do teste de segunda ordem (AR(2)) assegura a consistência dos estimadores. Adicionalmente, o teste de Wald indica elevada significância conjunta das variáveis explicativas, reforçando a robustez global do modelo.

5. Considerações finais

Concluiu-se que os desastres naturais influenciam significativamente as decisões de investimento dos produtores rurais brasileiros, particularmente no que se refere à adoção de práticas agrícolas sustentáveis. Destacam-se os eventos hidrológicos, que no curto prazo atuam como impulsionadores para a expansão do crédito direcionado a investimentos sustentáveis. Com isso, sugerindo que choques adversos incentivam os produtores a recompor o capital e adotar tecnologias resilientes, à medida que passam a priorizar mecanismos de mitigação de risco. Esse comportamento está de acordo com a hipótese de que perdas inesperadas aumentam a demanda por liquidez e estimulam estratégias produtivas mais adequadas diante da incerteza.

Entretanto, essa dinâmica é não linear. A análise intertemporal revela um padrão de reversão: uma expansão inicial do crédito é, em geral, seguida por uma contração nos períodos subsequentes. Essa mudança reflete o aumento da percepção de risco e o endurecimento das condições de financiamento, em consonância com a teoria de restrição de crédito. Embora uma trajetória estritamente em formato de “U” não tenha sido observada em todas as especificações, os resultados sustentam a existência de um processo de ajuste intertemporal não linear compatível com o modelo teórico proposto.

Além disso, os efeitos são heterogêneos entre diferentes tipos de desastres. Enquanto inundações e movimentos de massa impulsionam a expansão do crédito no curto prazo, enxurradas e incêndios florestais geram impactos negativos imediatos. Essa variação indica que a natureza, intensidade e previsibilidade dos choques influenciam de maneira distinta tanto a demanda quanto a oferta de crédito. Notadamente, a ausência de significância

estatística para determinados eventos climatológicos sugere que nem todos os choques climáticos são determinantes para as decisões de investimento sustentável.

Dessa forma, a adoção de produtos sustentáveis diante de desastres naturais revela-se um processo complexo. Embora a transição para essas práticas envolva “riscos de transição”, que podem intensificar o racionamento de crédito no curto prazo, os desastres frequentemente desencadeiam um aumento inicial na concessão de crédito, sinalizando seu valor como instrumentos de resiliência. Ainda assim, fricções financeiras, a persistência da percepção de risco e a deterioração da solvência dos produtores tendem a limitar a continuidade desses investimentos.

Portanto, os resultados ressaltam a necessidade de mecanismos de mitigação de risco, como o seguro rural, para reduzir imperfeições de mercado e diminuir os prêmios de risco. Apesar da transição para uma agricultura sustentável ser economicamente racional no longo prazo, ela enfrenta severas restrições no curto prazo decorrentes de fricções no mercado de crédito e dos riscos climáticos. Superar esses entraves por meio de políticas públicas e inovações financeiras contribuiria para que as práticas sustentáveis deixem de ser respostas reativas e se consolidem como pilares estruturais do desenvolvimento agrícola.

Contudo, a pesquisa se limita a investigar os efeitos dos desastres naturais ao nível de unidades federativas, o que pode estar mascarando nuances regionais. Determinados desastres naturais comumente tendem a ser delimitados a locais específicos e, dependendo da dimensão do estado, esse evento climático pode não refletir a realidade da maioria dos produtores rurais. Portanto, para pesquisas futuras, sugere-se que a pesquisa seja realizada com maior nível de desagregação.

Referências

- ARELLANO, M; BOVER, O. Another look at the instrumental variable estimation of error components models. *Journal of Econometrics*, 68(1):29–51. 1995.
- BARRY, Peter J.; ROBISON, Lindon J. Chapter 10 Agricultural finance: Credit, credit constraints, and consequences. In: *HANDBOOK OF AGRICULTURAL ECONOMICS*. [S. l.]: Elsevier, 2001. (Agricultural Production). v. 1, p. 513–571. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1574007201100137>. Acesso em: 18 mar. 2025.
- BOUCHER, Stephen R.; CARTER, Michael R.; GUIRKINGER, Catherine. Risk Rationing and Wealth Effects in Credit Markets: Theory and Implications for Agricultural Development. *American Journal of Agricultural Economics*, [s. l.], v. 90, n. 2, p. 409–423, 2008.
- BLUNDELL, R; BOND, S. Initial conditions and moment restrictions in dynamic panel data models. *Journal of Econometrics*, 87(1):115–143. 1998.

- BUAINAIN, Antônio Márcio et al. O mundo rural no Brasil do século 21: a formação de um novo padrão agrário e agrícola. [S. l.]: Brasília, DF: Embrapa, 2014., 2014. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/994073>. Acesso em: 19 mar. 2025.
- BUAINAIN, Antônio Márcio et al. Sete teses sobre o mundo rural brasileiro. *Revista de Política Agrícola*, [s. l.], v. 22, n. 2, p. 1–25, 2013.
- CAMPIGLIO, Emanuele. Beyond carbon pricing: The role of banking and monetary policy in financing the transition to a low-carbon economy. *Ecological Economics*, [s. l.], v. 121, p. 220–230, 2016.
- CARAVANI, A. Does adaptation finance invest in disaster risk reduction? London: Overseas Development Institute, 2015.
- DE HAEN, H.; HEMRICH, G. The economics of natural disasters: implications and challenges for food security. *Agricultural Economics*, [s. l.], v. 37, n. s1, p. 31–48, 2007.
- FAO. The impact of disasters on agricultural and food security. [s. l.]: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2025.
- FIORDELISI, F.; GALLOPPO, G.; PAIMANOVA, V. Climate Change Fear: Natural Disasters and Investor Behavior. [s. l.: s. n.], 2024.
- FORNAZIER, Armando;; VIEIRA FILHO, José E. R.; Heterogeneidade Estrutural na Produção Agropecuária: uma comparação da produtividade total dos fatores no Brasil e nos Estados Unidos. Brasília, 2013.
- GOODWIN, Barry K. Problems with Market Insurance in Agriculture. *American Journal of Agricultural Economics*, [s. l.], v. 83, n. 3, p. 643–649, 2001.
- GREENWALD, B. C.; STIGLITZ, J. E. Financial Market Imperfections and Business Cycles. *The Quarterly Journal of Economics*, [s. l.], v. 108, n. 1, p. 77–114, 1993.
- HOFF, Karla; STIGLITZ, Joseph E. Introduction: Imperfect Information and Rural Credit Markets: Puzzles and Policy Perspectives. *The World Bank Economic Review*, [s. l.], v. 4, n. 3, p. 235–250, 1990.
- JØRGENSEN, Sisse Liv; TERMANSEN, Mette; PASCUAL, Unai. Natural insurance as condition for market insurance: Climate change adaptation in agriculture. *Ecological Economics*, [s. l.], v. 169, p. 106489, 2020.
- MARIA, Mariana Reis; BALLINI, Rosangela; SOUZA, Roney Fraga. Evolution of Green Finance: A Bibliometric Analysis through Complex Networks and Machine Learning. *Sustainability*, [s. l.], v. 15, n. 2, p. 967, 2023.
- MEUWISSEN, Miranda P. M.; HUIRNE, Ruud B. M.; SKEES, Jerry R. Income Insurance in European Agriculture. *EuroChoices*, [s. l.], v. 2, n. 1, p. 12–17, 2003.
- MIGLIORELLI, Marco. Climate change, environmental sustainability, and financial risks: are we close to an understanding?. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, [s. l.], v. 65, p. 101388, 2023.
- MÜLLER, Birgit; JOHNSON, Leigh; KREUER, David. Maladaptive outcomes of climate insurance in agriculture. *Global Environmental Change*, [s. l.], v. 46, p. 23–33, 2017.
- REN, Z. The Impact of Natural Disasters on Risk Preference in Financial Investment. In: SAUER, J. *Natural Disasters and Agriculture: Individual Risk Preferences towards Flooding*. Manchester: University of Manchester, 2011.
- SEMIENIUK, Gregor et al. Low-carbon transition risks for finance. *WIREs Climate Change*, [s. l.], v. 12, n. 1, 2021. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/wcc.678>. Acesso em: 1 ago. 2023.
- SI, R. et al. Natural disaster shock, risk aversion and corn farmers' adoption of degradable mulch film: evidence from Zhangye, China. *International Journal of Climate Change Strategies and Management*, [s. l.], v. 13, n. 1, p. 60–77, 2021.

STIGLITZ, Joseph E.; WEISS, Andrew. Credit Rationing in Markets with Imperfect Information. *The American Economic Review*, [s. l.], v. 71, n. 3, p. 393–410, 1981.

TOBIN, J. Liquidity Preference as Behavior Towards Risk. *The Review of Economic Studies*, [s. l.], v. 25, n. 2, p. 65, 1958.

WAHDAT, A. Z.; GUNDERSON, M. A.; LUSK, J. L. Farm Producers' Household Consumption and Individual Risk Behavior after Natural Disasters. *Agricultural and Resource Economics Review*, [s. l.], v. 50, p. 127–149, 2021.

WEDL, I.; KAM, H. Leveraging private finance for the transition to sustainable agriculture. Brussels: Institute for European Environmental Policy, 2025. (Working Paper).

ZHANG, L. et al. Relationship between Disaster Shock Experience and Farmers' Entrepreneurial Inclination: Crisis or Opportunity? *Agriculture*, [s. l.], v. 13, n. 7, p. 1406, 2023.