

Política Social e Resiliência:

Uma análise geoespacial do impacto das mudanças climáticas nas decisões de migração entre produtores agropecuários vulneráveis

Instituto Mobilidade e Desenvolvimento Social – Imds

DIRETOR-PRESIDENTE

Paulo Tafner

COORDENADORA DE PROJETOS

Natalia Levy

GERENTE ADMINISTRATIVO-FINANCEIRA

Carolina Roiter

Elaboração de conteúdo

Imds:

Paulo Tafner

Sergio Guimarães

Pesquisadores Associados:

Valdemar Neto

Vinícius Schuabb

Artigo No. 09 (AR-IMDS-09-2025)

Março de 2025

Rio de Janeiro, RJ

www.imdsbrasil.org

Política Social e Resiliência:

Uma análise geoespacial do impacto das mudanças climáticas nas decisões de migração entre produtores agropecuários vulneráveis

Resumo

Esta pesquisa avalia como as políticas sociais podem afetar as estratégias de resiliência de famílias produtoras agropecuárias afetadas pelas mudanças climáticas no Brasil. Investigamos a interação entre choques de renda causados por secas extremas e os benefícios do Programa Bolsa Família, com foco em como esses fatores influenciam as decisões de migração de indivíduos altamente vulneráveis. Para isso, desenvolvemos uma metodologia inovadora que permite analisar a migração tanto dentro como entre os municípios brasileiros, utilizando dados históricos de precipitação de alta resolução (0,05° por 0,05°) e os endereços georreferenciados de milhões de famílias registradas no CadÚnico e no DAP/PRONAF entre 2015 a 2020. Nossos resultados revelam que migrações de curta distância, dentro dos municípios de origem, são cinco vezes mais prevalentes do que as de longa distância, entre municípios. Ainda observamos que os benefícios sociais podem tanto aumentar quanto reduzir a probabilidade de migração individual, dependendo do nível de exposição às secas. Indivíduos expostos ao 1% das secas mais severas tendem, em média, a utilizar os benefícios sociais como subsídio à migração, enquanto aqueles expostos às secas 10% mais severas utilizam os benefícios em suas estratégias de resiliência, reduzindo a migração. Ainda observamos que, em média, os indivíduos que não migram tendem a permanecer em locais com infraestrutura socioeconômica mais precária em comparação com aqueles que decidem migrar.

1 Introdução

As mudanças climáticas têm sido associadas a um aumento na frequência e gravidade de eventos naturais extremos, resultando em perdas econômicas e humanas significativas globalmente (Dilley et al., 2005; Pindyck and Wang, 2013; Acharya et al., 2023). Essa situação é particularmente notória para as famílias socioeconomicamente desfavorecidas, pois as mudanças devem exacerbar as vulnerabilidades e desigualdades já existentes (Hallegatte et al., 2017; Otto et al., 2017). Uma das principais consequências para indivíduos em vulnerabilidade social e climática é um risco elevado de deslocamentos forçados devido a eventos climáticos extremos (Morrow-Jones and Morrow-Jones, 1991; Hallegatte et al., 2016). Nesse contexto, políticas sociais e programas da rede de proteção social podem ajudar as populações vulneráveis a construir resiliência aos choques climáticos e reavaliar suas decisões de migração.

Esta pesquisa investiga como a política social influencia as estratégias de enfrentamento de famílias produtoras agropecuárias vulneráveis afetadas pelas mudanças climáticas no Brasil. Exploramos a relação entre choques de renda exógenos, decorrentes dos impactos de secas extremas na produção agropecuária, e os benefícios do Programa de Transferência Condicionada de Renda, Programa *Bolsa Família* (PBF), para avaliar como a política social afeta as decisões de migração dos membros das famílias. Para identificar com precisão os padrões de migração individual e a exposição a eventos climáticos extremos, desenvolvemos uma metodologia inovadora que conecta migrações dentro e entre municípios brasileiros a dados históricos de precipitação de alta resolução, em pequenas unidades de grade.

Acompanhando um painel de indivíduos dentre famílias produtoras agropecuárias vulneráveis entre 2015 e 2020, observamos que 20% deles migraram pelo menos uma vez em um período de três anos. Além disso, as migrações para áreas próximas, dentro do próprio município de residência, foram cinco vezes mais frequentes do que as migrações de longa distância, para outros municípios. Mais notavelmente, descobrimos que os benefi-

cios sociais podem tanto impulsionar quanto reduzir as decisões individuais de migração, dependendo das características do evento natural extremo e do indivíduo. Enquanto a associação entre benefícios sociais e a exposição aos 1% dos eventos de seca mais severos aumentou a probabilidade de migração individual nos períodos subsequentes: em 7% no primeiro ano, 9% nos dois anos seguintes e 6% nos três anos seguintes; para aqueles expostos aos 10% dos eventos de seca mais severos, os benefícios sociais reduziram a probabilidade de migração nos períodos seguintes em -4% no primeiro ano, -5% nos dois anos seguintes e -11% nos três anos seguintes. Os efeitos foram particularmente pronunciados entre os titulares dos benefícios. Ainda observamos que aqueles que recebem benefícios sociais tendem a permanecer em áreas com infraestrutura socioeconômica mais precária em comparação com seus pares que migram.

A migração é, de fato, um dos mecanismos de resposta mais comuns empregados por indivíduos vulneráveis para enfrentar as consequências de eventos climáticos extremos (Berlemann and Steinhardt, 2017; Hunter, 2005; Ober, 2019), embora a rede de proteção social e as políticas sociais tenham importância significativa para as famílias vulneráveis, que possuem reduzido acesso às respostas financeiras e não financeiras tradicionais aos choques de renda (Dercon, 2002). As implicações econômicas dessas políticas sociais de resiliência são profundas. Ao investir em capacidade adaptativa, os governos podem reduzir os custos de longo prazo associados aos impactos climáticos. Portanto, a política social desempenha um papel fundamental no aumento da resiliência das famílias aos desafios multifacetados colocados pelas mudanças climáticas. As redes de proteção social que incorporam considerações de risco climático não apenas protegem contra choques imediatos, mas também promovem metas de desenvolvimento de longo prazo.

Assim, a associação entre programas de transferência de renda e decisões de migração tem sido de grande interesse na literatura (Adhikari and Gentilini, 2018; Hagen-Zanker and Himmelstine, 2012; Stecklov et al., 2005; Cirillo, 2018). Embora os programas que se concentram em estratégias locais de implementação tendam a reduzir a migração, programas mais amplos e universais podem induzir a mobilidade. No Brasil, essa associação tem sido

estudada em nível municipal por Oliveira and Chagas (2018) e Silveira Neto (2008), com resultados sugerindo que os programas de transferência de renda reduzem a probabilidade individual de migração. No entanto, a maioria dessas pesquisas ignora os padrões de migração individuais dentro das regiões administrativas, o que limita nossa compreensão desse fenômeno. Neste trabalho, não apenas desenvolvemos uma nova metodologia para lidar com essa lacuna, mas também conectamos nossas descobertas aos desafios impostos pelas mudanças climáticas.

2 Mudanças Climáticas, Política Social e Migração

Nos últimos anos, a interação entre a política social e a resiliência das famílias tem atraído cada vez mais atenção, particularmente no contexto de vulnerabilidades socioeconômicas exacerbadas pelas mudanças climáticas. Os programas de transferência de renda surgiram como um componente da política social capaz de reforçar a resiliência entre as famílias de baixa renda nos países em desenvolvimento.

Esses programas fornecem assistência financeira direta às famílias, permitindo-lhes gerenciar pressões econômicas imediatas enquanto investem em estratégias adaptativas, particularmente em áreas rurais onde o acesso a serviços financeiros formais é limitado. Essa diversificação é particularmente importante em regiões que enfrentam maior risco climático, pois permite que os produtores se protejam contra quebras de safra ou flutuações do mercado.

2.1 O cenário brasileiro

O cenário brasileiro é representativo disso (WB, 2021). Entre 2015 e 2020, aproximadamente 14 milhões de indivíduos viviam em famílias produtoras agrícolas vulneráveis, beneficiárias de programas sociais e agrícolas.¹ Dados os padrões tecnológicos atuais, projeta-se que as mudanças climáticas reduzam a produção agrícola por hectare no Brasil em 18%

¹Membros de famílias cadastradas nos programas CadÚnico e DAP/Pronaf.

(Assunção and Chein, 2016). Esse declínio provavelmente levará ao aumento do deslocamento de populações vulneráveis.

De fato, dados das autoridades especializadas brasileiras, do sistema S2iD, mostram que 90% dos desastres naturais reconhecidos no território brasileiro foram instâncias hidrológicas, causadas por chuvas insuficientes ou precipitação excessiva. A Tabela 1 destaca os dois principais desastres naturais ligados à escassez de chuvas: períodos de seca e estiagem. Observe que as instâncias de seca, reconhecidas pela autoridade brasileira, afetaram até 7% dos municípios em determinados anos.

Tabela 1: Ocorrências de seca e estiagem nos municípios brasileiros reconhecidas pelas autoridades governamentais entre 2015-2019

N de Municípios	Estiagem	Seca
2015	843 (15%)	394 (7%)
2016	802 (14%)	370 (7%)
2017	109 (2%)	44 (1%)
2018	100 (2%)	132 (2%)
2019	37 (1%)	43 (1%)

Fonte: Autores, com dados do Sistema Integrado de Informações sobre Desastres (S2iD) e dados históricos sobre Reconhecimento Federal de Situações de Emergência e Calamidade Pública fornecidos pelo Ministério da Integração Regional e SEDECs.

Existem, de fato, características climáticas específicas das regiões brasileiras que as tornam mais suscetíveis a tais eventos. Por exemplo, a região Nordeste, de clima semiárido e árido, responde por quase 80% dos casos de fenômenos de seca e estiagem. Como resultado, há programas governamentais destinados a ajudar as comunidades nessas áreas a lidar com a exposição a eventos naturais extremos, como os programas Garantia Safra e Primeira e Segunda Cisternas de Água (CP1A e CP2A) (Bobonis et al., 2022; Da Mata et al., 2023). Além disso, fundos especiais foram alocados para ajudar as populações afetadas, cobrindo aproximadamente 20% dos casos entre 2015 e 2020.

As seções a seguir apresentam como desenvolvemos nossa metodologia para analisar padrões de migração individuais em todo o território brasileiro em associação com dados históricos de precipitação de alta resolução. Em seguida, apresentaremos um modelo básico para migração individual junto com nossas estimativas. Primeiro, no entanto, apre-

sentaremos os conjuntos de dados utilizados nessas análises.

3 Dados

Nesta seção, apresentamos as fontes de dados usadas para construir nossa metodologia a fim de observar a migração individual em associação com o índice histórico de precipitação. Combinamos dados administrativos de acesso restrito com informações publicamente disponíveis de várias fontes sobre indivíduos e domicílios de baixa renda no Brasil.

3.1 Cadastro Único (CadÚnico)

O Cadastro Único para Programas Sociais (CadÚnico) do Governo Federal é uma base de dados que identifica e caracteriza o universo de domicílios de baixa renda no Brasil.² Foi criado pelo Decreto nº 3.877/2001 (Brasil, 2001), estruturado no âmbito do Ministério do Desenvolvimento Social³ em 2001. Ao longo das décadas, o CadÚnico emergiu como uma importante ferramenta no apoio ao desenho de políticas públicas voltadas para a melhoria de vida das famílias de baixa renda. Ele fornece informações sobre os riscos e vulnerabilidades a que está exposta a população pobre e extremamente pobre do Brasil.

Em 2012, o sistema passou por um grande aprimoramento após a Portaria nº 177/2011 (Brasil, 2011). As informações sobre os beneficiários do Programa Bolsa Família foram, então, reestruturadas dentro da versão 7 do CadÚnico, uma infraestrutura mais nova e mais bem conectada. Assim, passou a incluir uma gama mais ampla de variáveis socioeconômicas e demográficas dos domicílios e indivíduos cadastrados. Particularmente importante para nossa análise, a introdução das informações de endereço para cada domicílio. No entanto, essas informações não foram totalmente registradas desde o início. Por exemplo, não há informações de endereço para 42% dos domicílios em 2012. Só melhorou significativamente em 2015, quando 96% dos domicílios apresentaram informações confiáveis

²Famílias de baixa renda são definidas como aquelas com renda *per capita* mensal de até meio salário mínimo atual ou renda familiar total de até três salários mínimos.

³Entre os anos de 2019 e 2022, se chamava Ministério da Cidadania.

de endereço; a partir de 2016, os endereços ausentes eram menos de 1% dos domicílios. Assim, optou-se por utilizar registros ativos para domicílios e indivíduos de 2015 a 2020, período de dados altamente confiáveis.

3.2 Declaração de Aptidão ao Pronaf (DAP/Pronaf)

A Declaração de Aptidão (DAP) ao Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (Pronaf), é um registro administrativo do governo federal que identifica e qualifica as Unidades Produtivas de Agricultura Familiar e suas formas associativas organizadas no Brasil. O sistema DAP identifica agricultores familiares e beneficiários da reforma agrária que podem solicitar crédito rural e acesso a outros programas governamentais. Usamos as informações do DAP para identificar indivíduos e famílias vulneráveis cuja renda primária é derivada da produção agrícola, tornando-os particularmente suscetíveis aos impactos significativos da seca extrema na renda familiar. Sua vulnerabilidade climática e socioeconômica é ressaltada pelo fato de que todos eles também estão cadastrados no CadÚnico para programas sociais.

3.3 CHIRPS: *Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data*

O *Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data* (CHIRPS)⁴ é um conjunto de dados de precipitação diária, a cada cinco dias e mensal quase global de mais de 43 anos. Abrangendo 50° S - 50° N (e todas as longitudes) e variando de 1981 até o presente, o CHIRPS incorpora a climatologia, CHPclim, imagens de satélite com resolução de 0,05° e dados de estações in-situ para criar séries temporais de precipitação em grade para análise de tendências e monitoramento de secas sazonais. O CHIRPS foi desenvolvido para apoiar a Rede de Sistemas de Alerta Precoce de Fome da Agência dos Estados Unidos para o Desenvolvimento Internacional (FEWS NET). Com base em abordagens usadas em produtos

⁴Grupo de Desastres Naturais por Precipitação Infra-vermelha com dados de estações, em tradução livre.

de precipitação infravermelhos térmicos (TIR) bem-sucedidos e produtos de medição interpolados de última geração da ciência, o CHIRPS usa uma abordagem de "interpolação inteligente", trabalhando com anomalias de uma climatologia de alta resolução.

Usamos informações mensais de precipitação no nível da grade de 0,05⁵ para o território brasileiro entre janeiro de 1981 a dezembro de 2019 para desenvolver um índice de precipitação histórica padronizado para cada endereço domiciliar em nossa amostra.

3.4 Sistema Integrado de Informações sobre Desastres (S2iD)

O *Sistema Integrado de Informações sobre Desastres (S2iD)* é um conjunto de dados nacional compilado pelo Ministério da Integração Regional do governo federal.⁶ Funciona como plataforma do Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil, integrando diversos sistemas da Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil (Sedec). Seu objetivo é aprimorar e dar transparência na gestão de riscos e desastres no Brasil por meio da digitalização de processos e da disponibilização de informações e recursos sistematizados. Usamos dados do S2iD para controlar a ocorrência de qualquer desastre climático reconhecido publicamente nos municípios brasileiros entre 2015 e 2020.

3.5 Garantia Safra

O Programa Garantia Safra é uma iniciativa do Pronaf que visa garantir condições mínimas de vida aos agricultores familiares em municípios que estão sistematicamente sujeitos a severas perdas de safra devido à seca ou ao excesso de chuvas. Funciona como um seguro subsidiado, no qual produtores rurais, governos locais e de mais alto nível contribuem para um fundo disponível para cobrir perdas de safra confirmadas devido a eventos climáticos extremos. Utilizamos as informações do Garantia Safra como controle para outros programas governamentais que podem estar ligados à exposição individual à seca extrema e aos

⁵0,05° = 5,55 km ou 3,44 milhas, aproximadamente.

⁶Este conjunto de dados foi disponibilizado pelo ministério por meio de um processo da Lei de Liberdade de Informação (LAI), número 59016.001820/2022-14.

benefícios proporcionados pelos programas sociais.

3.6 Portal da Transparência

O Portal da Transparência do Governo Federal é um portal do governo brasileiro dedicado a tornar públicos todos os gastos da esfera federal. Ele lista todas as despesas e transferências de dinheiro do governo federal, incluindo os indivíduos que recebem benefícios sociais, como o Bolsa Família e o Garantia Safra, e quanto eles receberam.

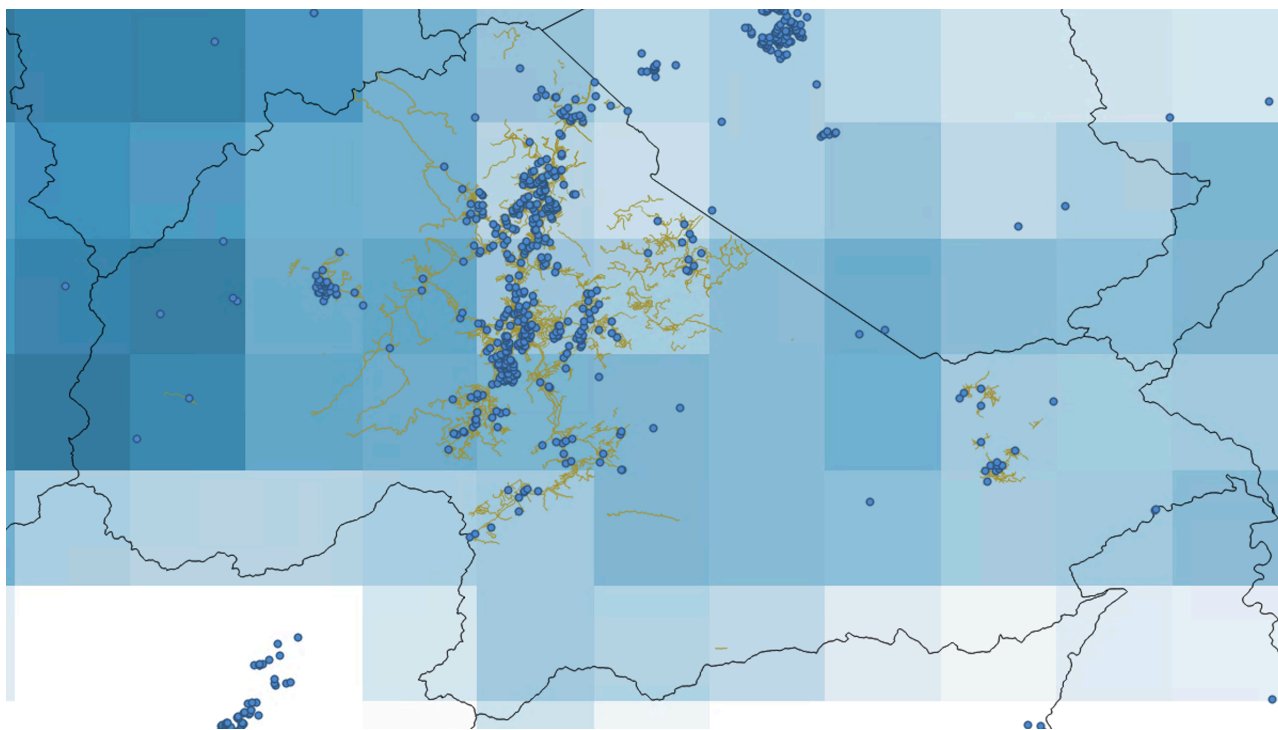
4 Metodologia

Uma das maiores preocupações sobre a análise geoespacial das mudanças climáticas e eventos naturais extremos é a capacidade de observar as unidades afetadas com alta precisão. Trabalhos anteriores basearam-se na observação nos níveis municipal ou distrital, o que perde muita variação para a análise individual e domiciliar (Cattaneo et al., 2019). Neste artigo, desenvolvemos uma nova metodologia capaz de sobrepor cada local de residência (no nível de rua) de membros de domicílios vulneráveis e precipitação histórica associada a pequenas grades de $0,05^\circ$ por $0,05^\circ$.⁷ As grades de dados de precipitação de alta resolução, combinadas com a proximidade das famílias produtoras agropecuárias com seus campos de cultivo, nos permitem estimar com precisão o impacto de eventos climáticos extremos em sua renda.

As subseções a seguir detalham nosso processo de recuperação das coordenadas geográficas (latitudes e longitudes) de todos os domicílios vulneráveis no CadÚnico entre 2012 e 2020. Em seguida, explicamos como sobrepomos esses dados com o índice histórico de precipitação do projeto CHIRPS usando o software do sistema de informações geográficas, QGIS. Um exemplo dos instantâneos mensais com pontos geográficos associados aos dados de precipitação pode ser observado na Figura 1.

⁷A mesma metodologia é aplicada no artigo com título preliminar “How Social Policies Amend Labor and Capital Mobility in the Face of Extreme Weather Events”, uma colaboração da UNU-WIDER com o IMDS e pesquisadores associados.

Figura 1: Unidades domiciliares e índice de precipitação CHIRPS para o município de Nova Friburgo, RJ/Brasil



Fonte: Os autores, com dados do projeto CHIRPS e CadÚnico no software QGIS. Os pontos azuis são as coordenadas geográficas dos endereços dos domicílios, em amarelo as ruas cobertas pelo IBGE no Censo, em preto os limites do território do município e polígonos quadrados em tons de azul o índice de precipitação para cada grade e mês/ano.

4.1 Coordenadas geográficas para os endereços dos domicílios

Recuperamos as coordenadas geográficas para todo o período de dados do CadÚnico disponíveis de 2012 a 2020, embora tenhamos decidido incluir apenas os dados de 2015 a 2020 em nossa amostra, conforme explicado na Subseção 3.1. Começamos por unir todas as informações de localização de endereço disponíveis para cada ano nos conjuntos de dados domiciliares do CadÚnico.⁸ Em seguida, combinamos os conjuntos de dados de 2012 a 2020, garantindo que cada entrada idêntica fosse representada apenas uma vez, juntamente com as variáveis relevantes. Isso resultou em um conjunto de dados com 14.701.031 endereços identificados exclusivamente, que processamos por meio do algoritmo *Geocode*

⁸Variáveis: *cod_munic_ibge_fam*, *nom_localidade_fam*, *nom_tip_logradouro_fam*, *nom_tit_logradouro_fam*, *nom_logradouro_fam* + os nomes do município e da unidade federativa.

da plataforma HERE para obter as coordenadas de latitude e longitude mais precisas.

A Tabela 2 apresenta estatísticas descritivas de quantidade e qualidade da implementação dessa metodologia por grupos de municípios segundo o número de habitantes. O algoritmo é capaz de identificar coordenadas geográficas para 99,3% dos endereços. Entre estes, apenas 15% foram correspondidos com precisão às coordenadas geocêntricas do município pelo algoritmo, enquanto os 85% restantes corresponderam às localizações dentro do município.

Após uma análise minuciosa, concluiu-se que a qualidade das informações fornecidas pelos usuários finais se correlaciona diretamente com o tamanho do município; cidades menores com áreas rurais maiores tendem a apresentar maiores desafios para o algoritmo encontrar aproximações de coordenadas geográficas de endereços no nível da rua. Isso é resultado da qualidade dos dados registrados no sistema CadÚnico e da cobertura territorial do algoritmo HERE. Em muitos casos, não conseguimos recuperar um posicionamento de endereço mais preciso devido ao registro inadequado de informações de endereço pelos usuários finais ou à incapacidade do algoritmo de encontrar uma correspondência perfeita nos conjuntos de dados disponíveis.

Tabela 2: Geocodificação dos endereços únicos dos domicílios no CadÚnico 2012-2020

Grupos	Capitais		Hab. > 100,000		40k < Hab. < 100k		15k < Hab. < 40k		Hab. < 15k		Total	
	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Processados	2.227.957	100%	3.918.161	100%	2.676.148	100%	3.406.160	100%	2.472.605	100%	14.701.031	100%
Geocodificados	2.221.164	99,7%	3.899.134	99,5%	2.652.450	99,1%	3.375.225	99,1%	2.452.639	99,2%	14.600.612	99,3%
Não encontrados	6.723	0,3%	19.027	0,5%	23.698	0,9%	30.935	0,9%	19.966	0,8%	100.349	0,7%
Qualidade do Georreferenciamento												
Rua ou similar	1.958.402	88%	3.359.339	87%	2.121.535	80%	2.332.668	69%	1.421.619	57%	9.751.466	77%
Localidade:	262.832:	12%:	539.795:	14%:	530.915:	20%:	1.042.557:	31%:	1.031.020:	42%:	3.407.119:	23%:
Código Postal	41.984	2%	87.745	2%	33.691	1%	35.353	1%	29.549	1%	228.322	2%
Distrito	181.939	8%	303.972	8%	137.365	5%	159.142	5%	134.944	6%	917.362	6%
Município	38.909	2%	148.078	4%	359.859	14%	848.062	25%	866.527	35%	2.261.435	15%

Fonte: Autores, com dados domiciliares do CadÚnico para Programas Sociais de 2012 a 2020. API de geocodificação da plataforma HERE. A análise de qualidade transmite as informações da variável de saída recuperada do algoritmo HERE Geocoding.

As Tabelas 9 e 10 no Apêndice A também apresentam os resultados da Geocodificação

para um painel com todas as observações domiciliares e individuais, respectivamente. Relevante para nossa próxima análise é o resultado para os endereços de famílias produtoras agrícolas vulneráveis entre 2015 e 2020: 57% no nível da rua ou similar; 6% no nível do distrito ou bairro; 37% no nível do município.

4.2 Associando o índice de precipitação a endereços domiciliares

Nesta seção, descrevemos o processo de vinculação do índice de precipitação às coordenadas geográficas de domicílios vulneráveis. Ao integrar esses conjuntos de dados, pretendemos analisar como as variações na precipitação afetam a renda familiar, particularmente no contexto de eventos climáticos extremos.

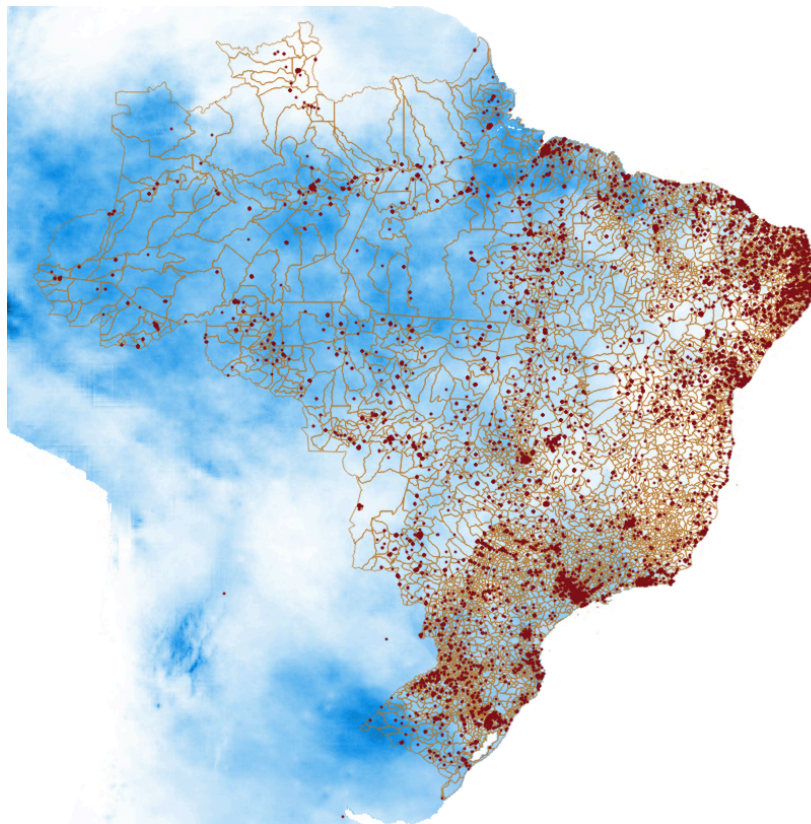
Primeiro, importamos os dados históricos de precipitação do projeto CHIRPS para o software QGIS. Este conjunto de dados contém medições de precipitação de alta resolução (0,05° por 0,05°) de janeiro de 1981 a dezembro de 2019. Em seguida, sobrepomos os dados de precipitação às coordenadas geográficas das residências.

Usando ferramentas de análise espacial no QGIS, extraímos os valores de precipitação para cada família com base em sua localização geográfica. Isso nos permitiu criar um conjunto de dados abrangente que inclui não apenas as coordenadas das famílias, mas também os dados históricos de precipitação correspondentes, facilitando nossa análise subsequente dos efeitos do clima extremo na renda e nos padrões de migração.

Ao correlacionar esses dois conjuntos de dados, podemos entender melhor a relação entre os extremos de precipitação e as vulnerabilidades socioeconômicas das populações afetadas.

Como exemplo, a Figura 2 apresenta os dados de precipitação do CHIRPS (quadrados em tons de azul) para o território brasileiro com as fronteiras administrativas dos municípios em marrom e a distribuição geográfica dos domicílios agrícolas vulneráveis em pontos vermelhos para janeiro de 2019.

Figura 2: Índice de precipitação CHIRPS referente a janeiro de 2019 - Brasil



Fonte: Elaboração do autor com dados fornecidos pelo projeto CHIRPS e CadÚnico com o software QGIS.

4.3 Índice de precipitação histórica padronizado

Construímos, com base em Bobonis et al. (2022); Hidalgo et al. (2010), uma medida padronizada de precipitação baseada nos níveis históricos de precipitação na grade (área) de interesse – ou seja, a região onde está localizado o endereço de uma família, para cada mês do ano. Diferentemente desses estudos, no entanto, desenvolvemos essa avaliação histórica da precipitação na menor unidade espacial possível, utilizando grades de $0,05^\circ$ por $0,05^\circ$ dos conjuntos de dados do CHIRPS.⁹

Seguindo Corbi et al. (2024), utilizamos duas medidas de choques climáticos. A pri-

⁹Exploramos dois fenômenos distintos com o índice de precipitação, considerando os efeitos heterogêneos das chuvas em áreas agrícolas e urbanas. O primeiro caso é analisado neste artigo; o segundo investiga volumes elevados de precipitação em curtos períodos de tempo. Este último está em andamento, com o título preliminar “Resilience in Adversity: How Social Policies Amend Labor and Capital Mobility in the Face of Extreme Weather Events”, em colaboração com a UNU-WIDER e o IMDS.

meira baseia-se na precipitação acumulada durante a estação de cultivo das culturas no Brasil, entre a primavera (novembro) e o outono (abril), um período crucial de chuvas para a produção agrícola.¹⁰ A outra medida utiliza a precipitação acumulada anual sobre uma determinada área. O índice padronizado é calculado da seguinte forma:

$$\text{Precipitacao Padronizada}_{g,t} = \frac{(\text{Precipitacao}_{g,t} - \overline{\text{Precipitacao}_{g,t}})}{\sigma_{g,t}} \quad (1)$$

onde $\text{Precipitacao}_{g,t}$ refere-se à precipitação observada na grade g , no período t (período de crescimento das culturas, GS, ou anual); $\overline{\text{Precipitacao}_{g,t}}$ refere-se à precipitação histórica padronizada na grade g e período de tempo t ; e $\sigma_{g,t}$ é o desvio padrão histórico da precipitação na grade g e no período de tempo t .

Essa medida é útil para avaliar até que ponto o índice de precipitação durante a estação de cultivo (GS) ou ao longo do ano y foi historicamente extremo. É importante destacar que nosso índice padronizado é baseado em desvios históricos para cada grade e período de tempo. Para períodos mais longos, adotamos uma estratégia semelhante, calculando a precipitação acumulada para os mesmos meses em diferentes anos. Por exemplo, a precipitação acumulada na grade g é obtida a partir da soma da precipitação entre os anos t e $t-1$.

5 Decisões de migração

Começamos a seção analítica deste artigo apresentando um modelo simples de tomada de decisão de migração individual. As decisões de migração no contexto das mudanças climáticas envolvem uma interação complexa de fatores políticos, socioeconômicos e comportamentais (Black et al., 2011; Martin et al., 2014). No entanto, a migração continua sendo

¹⁰A estação de cultivo (GS) é bastante semelhante entre as diferentes regiões do Brasil. Utilizamos os meses entre novembro e abril como uma aproximação:

$$\text{Precipitacao}_{g,GS} = \sum_{m \in [\text{Nov}, \text{Abr}]} \text{Precipitation}_{g,m}$$

uma das estratégias mais comuns para indivíduos vulneráveis lidarem com os impactos de eventos naturais extremos (Berlemann and Steinhardt, 2017; Hunter, 2005; Ober, 2019). As dificuldades econômicas, juntamente com as perdas diretas de renda e riqueza resultantes desses eventos, são identificadas como os principais fatores para migração, principalmente para as famílias que enfrentam vulnerabilidades econômicas e climáticas. Consequentemente, as políticas de proteção social têm um potencial significativo para permitir que indivíduos vulneráveis se adaptem e desenvolvam estratégias de resiliência em resposta a choques climáticos (Cattaneo et al., 2019; Premand and Stoeffler, 2020).

Descrevemos um modelo de escolha de localização em que as decisões de migração são uma função de fatores financeiros e não financeiros, juntamente com um componente de choque aleatório, da seguinte forma:

$$\text{Decisão de Migração}_{i,t} = f(I_i, S_i, C_i, \varepsilon_{i,t}) \quad (2)$$

onde Decisão de Migração_{*i,t*} é a decisão tomada pelo indivíduo *i* de migrar ou não tomada no período de tempo *t*. Essa avaliação é feita dados recursos financeiros, como a renda *I* e benefícios sociais *S*, e não-financeiros, como laços comunitários *C*. Um componente-chave para nossa análise é o choque aleatório ε , como um evento natural extremo. Procuramos entender a relação entre o componente de choque aleatório e os fatores financeiros nas decisões de migração.

6 Estratégia Empírica

O modelo de decisões de migração representado pela Equação 2 é aplicado à tomada de decisão de migração de famílias produtoras agrícolas vulneráveis expostas a eventos climáticos extremos. Considere um cenário em que a produção agrícola, altamente dependente da precipitação, é a principal fonte de renda de uma empresa familiar vulnerável;¹¹ são

¹¹Os índices pluviométricos são amplamente utilizados como *proxies* para a renda das famílias rurais na literatura, como visto em Hidalgo et al. (2010); Jayachandran (2006); Dell et al. (2014).

beneficiários de programas sociais, como o Programa Bolsa Família; as preferências por fatores não financeiros são fixadas no curto-prazo; e estão sujeitos às consequências de eventos climáticos extremos.

Estabelecemos a hipótese de que desvios negativos extremos da precipitação histórica sobre uma grade (residência) são eventos quase aleatórios. Consequentemente, a exposição a eventos extremos de seca é considerada um choque negativo imprevisto para a produtividade agrícola. Para reforçar essa suposição, também contabilizamos períodos mais longos de precipitação cumulativa até os anos $t-1$ e $t-2$.

Estimamos a equação reduzida da relação entre ser beneficiário de um programa social e exposição a eventos naturais extremos em um painel de indivíduos agrícolas vulneráveis entre o ano de referência t e os períodos seguintes $t+1$ e $t+2$, da seguinte forma:

$$\begin{aligned}
 y_{i,t+n} = & \alpha_{i,t} + \theta Renda_{i,t} + \beta (\text{Benefic. PBF}_{i,t} * \text{Exposicao Seca X\% Severa}_{i,t}) \\
 & + \gamma (\text{Benefic. PBF})_{i,t} + \eta (\text{Exposicao Seca X\% Severa})_{i,t} \\
 & + \omega_1 (\text{Índice Acumulado Hist. Precip. Norm. Neg.})_{i,t} \\
 & + \omega_2 (\text{Índice Acumulado Hist. Precip. Norm. Neg.})_{i,t-1} \\
 & + \omega_3 (\text{Índice Acumulado Hist. Precip. Norm. Neg.})_{i,t-2} \\
 & + X'_{i,t} \Delta_1 + HH'_{i,t} \Delta_2 + M'_{i,t} \Delta_3 + O'_{g,t} \Delta_4 + \phi_i + \rho_t + \epsilon_{i,t}
 \end{aligned} \tag{3}$$

onde $y_{i,t+n}$ é uma variável *dummy* que assume o valor de 1 se o indivíduo i migrou em qualquer momento no período seguinte, $t+n$ anos, medido como uma probabilidade;¹² o coeficiente de interesse β revela a associação entre o indivíduo ser beneficiário do BFP e sua exposição a eventos extremos de seca, representada como uma variável indicadora (em quantis - X - da distribuição histórica de precipitação) no ano t . Assim, as variáveis $\text{Benefic. PBF}_{i,t}$ e $\text{Exposicao Seca X\% Severa}_{i,t}$ são componentes individuais da interação mencionada, respectivamente. Índice Acumulado Hist. Precip. Norm. Neg. _{i,t} e a precipitação histórica para

¹²A migração é avaliada cumulativamente por um, dois ou três anos após o ano de referência t se as coordenadas geográficas do endereço registrado em cada ano para cada indivíduo no CadÚnico mudaram.

$t-1$ e $t-2$ são variáveis contínuas em desvios-padrão da distribuição do índice negativo de precipitação, historicamente avaliado para cada unidade de grade. $X_{i,t}$ a matriz de controles variáveis no tempo contendo as características individuais no ano t , incluindo, por exemplo, nível de escolaridade e renda individual; $HH_{i,t}$, a matriz de controles variáveis no tempo com as características da família/domicílio no ano t , incluindo, por exemplo, renda média e características de residência; $M_{i,t}$ a matriz com informações sobre desastres naturais reconhecidos pela autoridade federal na base de dados S2iD; $O_{g,t}$ a matriz de controles variáveis no tempo contendo características médias dos domicílios localizados nas mesmas coordenadas geográficas de origem g no ano t ; ϕ_i os efeitos fixos de indivíduo; ω_t os efeitos fixos de ano; e $\epsilon_{i,t}$ o termo de erro idiossincrático. Todas as estimativas são agrupadas (*cluster*) na unidade de análise do painel, indivíduos.

Devemos esperar que β seja uma estimativa robusta do efeito causal dos benefícios de políticas sociais e da exposição aos efeitos das mudanças climáticas sobre a decisão de migração, dado o caráter quase aleatório da ocorrência de eventos naturais extremos. A exposição à seca é mensurada tanto na margem intensiva quanto na margem extensiva, com base nas condições históricas de cada grade/área. Como resultado, os agricultores não conseguem prever a extensão da exposição à seca em um determinado ano. Essa incerteza ajuda a explicar por que metade de nossa amostra migra no primeiro ano após um grande evento de seca. Ao mesmo tempo, os grupos de comparação são compostos por famílias vulneráveis muito semelhantes, todas registradas no *CadÚnico* para acesso a benefícios sociais. Beneficiários e não beneficiários do BFP diferem por uma margem reduzida, determinada pelos critérios de elegibilidade do programa.

7 População analisada

Para a análise empírica, objetivamos observar o universo de produtores agropecuários vulneráveis no Brasil, os endereços de seus domicílios e a exposição a eventos naturais extremos; com especial interesse nas pequenas unidades familiares, as mais expostas a choques

negativos de renda, decorrentes dos efeitos das mudanças climáticas. Após observar que as informações sobre ocupação dos indivíduos no CadÚnico não era o ideal para tal¹³, realizamos a interseção entre os conjuntos de dados do CadÚnico com o DAP/Pronaf, um cadastro de produtores familiares agropecuários vulneráveis, mantido pelo Ministério do Desenvolvimento Agrário e Agricultura Familiar. Conseguimos encontrar todos os titulares de benefícios no DAP/Pronaf entre 2015 e 2020 também no CadÚnico, utilizando como chave o CPF. Dessa forma, conseguimos um *match* perfeito entre o universo de beneficiários de programas sociais que são produtores agropecuários nos sistemas do governo federal. Todas as outras bases de dados foram adicionadas a essa amostra de acordo com o território ao nível dos indivíduos ou das unidades administrativas para a análise, com resultados de correspondência quase perfeitos também.

A seleção da nossa amostra final foi realizada a partir de alguns passos. Em primeiro lugar, restringimos a amostra do CadÚnico apenas para unidades domiciliares com entradas "ativas", garantindo que o registro esteja atualizado e com informações confiáveis.¹⁴ Em seguida, realizamos a interseção dessas informações com as constantes no DAP/Pronaf, observando qualquer pessoa física pelo CPF (titular de benefício ou secundários) que já esteve cadastrada entre 2012 e 2020.¹⁵ Dada a estrutura familiar de benefícios, mantivemos em nossa amostra qualquer membro individual de domicílios em que pelo menos um membro estivesse listado no DAP/Pronaf. Por fim, mantivemos em nossa análise apenas os indivíduos observados por mais de um ano em nosso painel, a fim de observar a migração comparando seus endereços ao longo do tempo.¹⁶

¹³Por exemplo, a variável "ind_parc_mds_fam" deveria ser uma indicadora de famílias produtoras agrícolas e de reforma agrária. No entanto, muitas delas não estão listadas como produtores agropecuários nas variáveis de ocupação correspondentes "cod_agricultura_trab_memb" e "cod_principal_trab_memb".

¹⁴É importante observar apenas aqueles que recebem ativamente benefícios sociais, constando suas informações de endereço. Em média, indivíduos com essas informações ausentes somavam menos do que 1% entre os anos de 2015 a 2020.

¹⁵Utilizamos as informações de 2012, pois o conjunto de dados DAP/Pronaf contém apenas o estoque de informações já registrado no sistema e os lançamentos eram atualizados a cada dois anos.

¹⁶Perceba que não temos informações de endereço, logo migração, dos indivíduos que deixaram o CadÚnico ao longo desse período. Isso poderia levar a algum viés, como de dados censurados, às nossas estimativas. No entanto, observamos uma taxa média de migração muito próxima à do Censo brasileiro e ao que é encontrado por Oliveira and Chagas (2018).

8 Estatísticas Descritivas

A amostra de indivíduos em famílias produtoras agropecuárias vulneráveis possui 55.213.451 observações no painel, sendo 14.362.945 indivíduos únicos ao longo dos anos de 2015 e 2020, dos quais 76% eram beneficiários do Programa Bolsa Família. Dessas, 26.793.027 observações foram dos 6.661.156 indivíduos encontrados diretamente no DAP/Pronaf como titulares dos benefícios.¹⁷ Note que só podemos observar a situação de migração dos indivíduos em t+1 anos entre 2015 e 2019; em t+2 anos entre 2015 e 2018; e t+3 anos entre 2015 e 2017.

Além disso, uma das principais contribuições de nossa análise é observar a migração individual em todo o território, não restrita às áreas administrativas. A Tabela 3 apresenta a parcela média de indivíduos em nosso painel que migram em t+1, t+2 e/ou t+3 anos após o ano de referência t,¹⁸ quando a exposição à seca é avaliada. Construímos três variáveis de resultado como avaliações de migração: “Migrou”, que compara as coordenadas geográficas dos endereços domiciliares dos indivíduos entre períodos; “Dentro”: compara as coordenadas geográficas dos endereços domiciliares de cada indivíduo condicionadas a pertencendo a um mesmo município; e “Entre”: compara as coordenadas geográficas dos domicílios dos indivíduos condicionados a pertencendo a diferentes municípios. É impressionante observar que a migração dentro do território de um município é cinco vezes maior do que as de longa distância para um município diferente, entre.

Embora os indivíduos migrem com maior frequência para áreas com melhores condições socioeconômicas e de infraestrutura do que seus locais de origem, o mesmo não pode ser presumido para aqueles deslocados por eventos climáticos extremos. A Tabela 4 apresenta as características médias das áreas de origem e destino de indivíduos vulneráveis expostos aos 1% e 10% mais severos eventos de seca e beneficiários do BFP em nossa amostra. Observamos que, entre aqueles que migraram, de fato escolheram locais com

¹⁷Em muitos poucos casos faltou alguma informação para indivíduos que migraram tanto dentro dos municípios, quanto para outros municípios.

¹⁸Utilizamos a observação acumulada dos casos de migração ao longo dos anos.

Tabela 3: Migração individual de produtores agropecuários vulneráveis entre t e t+n, painel 2015- 2020

Migrou entre t e:	t+1			t+1 / t+2			t+1 / t+2 / t+3		
Endereço georreferenciado mudou:	Migrou	Dentro	Entre	Migrou	Dentro	Entre	Migrou	Dentro	Entre
<i>qualquer membro das famílias</i>									
Proporção de indivíduos (em %)	7%	6%	1%	14%	12%	2%	20%	17%	3%
N de indivíduos (em milhões)	3.81	3.21	0.60	6.18	5.27	0.91	6.68	5.74	0.94
<i>titulares dos benefícios</i>									
Proporção de indivíduos (em %)	6%	5%	1%	12%	10%	2%	18%	15%	3%
N de indivíduos (em milhões)	1.63	1.38	0.25	2.68	2.28	0.40	2.92	2.51	0.41

Fonte: Autores, com dados do CadÚnico e DAP/PRONAF. Migração de indivíduos em famílias de produtores agropecuários vulneráveis entre 2015 e 2020. As colunas significam "Migrou": endereços com diferentes coordenadas geográficas entre períodos; "Dentro": diferentes coordenadas geográficas dentro de um mesmo município; e "Entre": diferentes coordenadas geográficas em diferentes municípios.

melhores condições do que suas regiões de origem. No entanto, os 1% mais afetados por secas migraram para locais apenas ligeiramente melhores do que suas origens, enquanto aqueles expostos aos 10% eventos mais severos de seca escolheram destinos relativamente melhores. Além disso, os dados revelam a vulnerabilidade dessa população, com cerca de metade tendo acesso apenas a água encanada e coleta de lixo, enquanto menos de um quarto, em média, possui acesso a sistema de esgoto público.

Tabela 4: Teste da diferença de médias entre as características médias dos locais de origem e destino dos indivíduos que migraram entre 2015 e 2020 - Beneficiários do PBF afetados pela seca extrema (1% e 10% da distribuição)

Severidade da Seca	1% Mais Severa			10% Mais Severa		
	Destino	Origem	Diferença (t-teste)	Destino	Origem	Diferença (t-teste)
Média dos domicílios						
Renda média per capita (em reais)	209,96	182,62	27,34***	190,60	166,41	38,71***
Despesas domésticas mensais (em reais)	402,74	362,02	40,72***	376,95	338,25	38,70***
Moradia com pavimento acabado (%)	0,86	0,83	0,03***	0,89	0,87	0,02***
Moradia com paredes com acabamento (%)	0,49	0,48	0,01***	0,57	0,55	0,02***
Acesso ao serviço público de água (%)	0,48	0,47	0,01***	0,53	0,51	0,02***
Acesso à rede pública de esgoto (%)	0,14	0,13	0,01***	0,17	0,15	0,02***
Acesso à coleta de lixo (%)	0,46	0,43	0,03***	0,47	0,43	0,04***
Acesso à rede pública de energia elétrica (%)	0,75	0,75	0,00**	0,80	0,79	0,01***
N de indivíduos	36.554	36.554		352.291	352.291	

Fonte: Autores, com dados do CadÚnico e DAP/PRONAF. Comparação da média origem-destino das características dos domicílios localizados em um mesmo ponto geográfico para aqueles afetados pelo 1% e 10% casos de seca no período.

9 Resultados

Começamos apresentando nossos principais resultados sobre o efeito da política social nas decisões individuais de migração em $t+1$, $t+2$ e/ou $t+3$ anos após um produtor agropecuário vulnerável ser fortemente afetado por uma seca extrema entre 2015 e 2020, conforme discutido na Seção 6.¹⁹ A Subseção 9.1 foca nas decisões de migração de quaisquer membros das famílias produtoras agropecuárias vulneráveis, considerando as características da unidade familiar–produtiva e a estrutura dos benefícios sociais; enquanto a Subseção 9.2 analisa as decisões de migração dos titulares dos benefícios, que são, na maioria dos casos, os principais provedores dos domicílios.

Nossos resultados conciliam diferentes vertentes da literatura que sugerem que a política social pode atuar tanto como um retentor quanto como um impulsionador das decisões individuais de migração, dependendo das características das unidades afetadas e da severidade do evento climático extremo. Verificamos que a relação entre a exposição aos 1% dos eventos de seca mais severos e os benefícios sociais do programa de transferência condicionada de renda aumentou a probabilidade de migração individual nos períodos subsequentes em 7% no primeiro ano, 9% nos dois anos seguintes e 6% nos três anos seguintes. Por outro lado, a exposição aos 10% dos eventos de seca mais severos e os benefícios sociais do PBF reduziram a probabilidade de migração individual nos períodos subsequentes em -4% no primeiro ano, -5% nos dois anos seguintes e -11% nos três anos seguintes. Os efeitos são particularmente pronunciados entre os titulares dos benefícios e heterogêneos de acordo com as características individuais.

9.1 Membros de famílias de produtores agropecuários vulneráveis

A Tabela 5 apresenta os resultados para os membros de famílias produtoras agropecuárias afetadas pelos 1% dos eventos de seca mais severos. Observe que a interação entre ser beneficiário do BFP e a exposição a esses eventos extremos tem um efeito positivo e sig-

¹⁹Os resultados permanecem robustos em nossa análise anual, embora a identificação seja menos precisa.

nificativo na probabilidade de migração individual em todas as colunas, que representam diferentes especificações. De forma similar, a Tabela 6 mostra os resultados para famílias afetadas pelos 10% dos eventos de seca mais severos. Aqui, a associação de interesse é significativa, mas revela uma relação negativa entre os benefícios sociais e a exposição a secas menos extremas, com exceção da migração entre municípios, que apresenta um efeito positivo, embora muito pequeno, em alguns casos. Em ambas as análises, o controle por características de indivíduos e domicílios que variam ao longo do tempo revelam uma fonte significativa de heterogeneidade.

A literatura dá suporte a esses resultados de duas maneiras. Primeiro, a severidade de uma seca está diretamente correlacionada com maiores perdas agrícolas devido a um choque inesperado. Enquanto os benefícios sociais podem incentivar a migração ao fornecer os recursos financeiros necessários para indivíduos altamente expostos ou efetivamente deslocados, esses benefícios também podem ajudar aqueles menos afetados pelo desastre a construir resiliência contra perdas moderadas de renda, como as resultantes de danos às lavouras. Segundo, quanto mais extremo o desastre natural, mais heterogêneos são seus efeitos sobre os indivíduos. Isso destaca a relação não linear observada em diferentes níveis de severidade da seca e reforça a importância dos controles dinâmicos para a compreensão desses efeitos.

De fato, conseguimos conciliar esses dois resultados contrastantes na literatura. Acreditamos que nossa estratégia de identificação única nos permite observar com precisão o efeito das mudanças climáticas sobre as unidades individuais, possibilitando assim a distinção dessas características heterogêneas.

Tabela 5: Decisão de migração de membros de famílias produtoras agropecuárias no CadÚnico e DAP/PRONAF entre 2015 e 2020: efeitos da seca por quantil (1%) da distribuição de chuva e benefício do Bolsa Família.

Precipitação em DPs para a estação de cultivo (Nov a Abr)	Migrou	Migrou	Dentro	Dentro	Entre	Entre
Geocoordenadas dos endereços mudaram entre t e t+1						
Interação PBF * 1% de seca extrema	0.0022	0.0050	0.0006	0.0032	0.0018	0.0019
Efeito Relativo (Δ % Média da Variável Dep. dado β)	3.1%	7.1%	0.8%	4.6%	2.5%	2.7%
Geocoordenadas dos endereços mudaram entre t e t+2						
Interação PBF * 1% de seca extrema	0.0026	0.0062	-0.0001	0.0034	0.0028	0.0030
Efeito Relativo (Δ % Média da Variável Dep. dado β)	3.7%	8.9%	-0.1%	4.9%	4.0%	4.2%
Geocoordenadas dos endereços mudaram entre t e t+3						
Interação PBF * 1% de seca extrema	0.0039	0.0041	0.0012	0.0015	0.0031	0.0030
Efeito Relativo (Δ % Média da Variável Dep. dado β)	5.5%	5.8%	1.7%	2.1%	4.4%	4.3%
EF de indivíduo e ano	X	X	X	X	X	X
Controles ao nível do indivíduo e domicílio		X		X		X
Controle por desastres municipais (S2iD)		X		X		X
Controles os nível local (Origem)		X		X		X

Fonte: Autores, com dados do CadÚnico, DAP/PRONAF e precipitação do CHIRPS. Precipitação em desvios-padrão (DP) para a estação de cultivo (novembro a abril) no nível da grade. Migração de indivíduos em famílias de produtores agropecuários vulneráveis entre 2015 e 2020. As colunas representam: “Migraram” – endereços com coordenadas geográficas diferentes entre períodos de tempo; “Dentro” – coordenadas geográficas diferentes dentro de um mesmo município; e “Entre” – coordenadas geográficas diferentes em municípios distintos. Os efeitos relativos estão em negrito para aqueles significativos ao nível de 1%.

Tabela 6: Decisão de migração de membros de famílias produtoras agropecuárias no CadÚnico e DAP/PRONAF entre 2015 e 2020: efeitos da seca por quantil (10%) da distribuição de chuva e benefício do Bolsa Família.

Precipitação em DPs para a estação de cultivo (Nov a Abr)	Migrou	Migrou	Dentro	Dentro	Entre	Entre
Geocoordenadas dos endereços mudaram entre t e t+1						
Interação PBF * 10% de seca extrema	-0.0045	-0.0026	-0.0044	-0.0026	-0.0002	-0.0001
Efeito Relativo (Δ % Média da Variável Dep. dado β)	-6.5%	-3.7%	-6.3%	-3.7%	-0.4%	-0.2%
Geocoordenadas dos endereços mudaram entre t e t+2						
Interação PBF * 10% de seca extrema	-0.0056	-0.0036	-0.0064	-0.0046	0.0007	0.0009
Efeito Relativo (Δ % Média da Variável Dep. dado β)	-8.0%	-5.2%	-9.2%	-6.5%	1.0%	1.3%
Geocoordenadas dos endereços mudaram entre t e t+3						
Interação PBF * 10% de seca extrema	-0.0060	-0.0080	-0.0069	-0.0088	0.0013	0.0011
Efeito Relativo (Δ % Média da Variável Dep. dado β)	-8.6%	-11.4%	-9.9%	-12.5%	1.8%	1.6%
EF de indivíduo e ano	X	X	X	X	X	X
Controles ao nível do indivíduo e domicílio		X		X		X
Controle por desastres municipais (S2iD)		X		X		X
Controles os nível local (Origem)		X		X		X

Fonte: Autores, com dados do CadÚnico, DAP/PRONAF e precipitação do CHIRPS. Precipitação em desvios-padrão (DP) para a estação de crescimento (novembro a abril) no nível da grade. Migração de indivíduos em famílias de produtores agropecuários vulneráveis entre 2015 e 2020. As colunas representam: “Migraram” – endereços com coordenadas geográficas diferentes entre períodos de tempo; “Dentro” – coordenadas geográficas diferentes dentro de um mesmo município; e “Entre” – coordenadas geográficas diferentes em municípios distintos. Os efeitos relativos estão em negrito para aqueles significativos ao nível de 1%.

9.2 Titulares dos Benefícios nas Famílias

Agora, a análise foca na decisão individual de migração entre os titulares de benefícios sociais. Esses indivíduos são tipicamente os principais provedores de suas famílias, o que os coloca em uma posição central para tomar decisões de migração. A Tabela 7 apresenta os resultados para membros de famílias de produtores agropecuários expostos aos 1% dos eventos de seca mais severos, enquanto a Tabela 8 apresenta os resultados para as decisões de migração de indivíduos expostos aos 10% dos eventos de seca mais severos. Os resultados são semelhantes aos que incluem todos os membros da família, mas apresentam maior magnitude para decisões de migração entre municípios e menor magnitude para migrações dentro dos municípios.

Esses resultados podem ser compreendidos à luz do nosso modelo de migração, no qual os titulares de benefícios tendem a migrar para distâncias mais longas em busca de melhores oportunidades econômicas, enquanto outros membros da família podem preferir migrações de curta distância.

Tabela 7: Decisão de migração dos titulares de famílias produtoras agropecuárias no CadÚnico e DAP/PRONAF entre 2015 e 2020: efeitos da seca por quantil (1%) da distribuição de chuva e benefício do Bolsa Família.

Precipitação em DPs para a estação de cultivo (Nov a Abr)	Migrou	Migrou	Dentro	Dentro	Entre	Entre
Geocoordenadas dos endereços mudaram entre t e t+1						
Interação PBF * 1% de seca extrema	0.0025	0.0058	0.0011	0.0041	0.0015	0.0018
Efeito Relativo (Δ % Média da Variável Dep. dado β)	4.0%	9.4%	2.1%	7.9%	14.9%	17.8%
Geocoordenadas dos endereços mudaram entre t e t+2						
Interação PBF * 1% de seca extrema	0.0034	0.0074	0.0004	0.0043	0.0029	0.0032
Efeito Relativo (Δ % Média da Variável Dep. dado β)	2.7%	5.9%	0.4%	4.1%	14.5%	16.0%
Geocoordenadas dos endereços mudaram entre t e t+3						
Interação PBF * 1% de seca extrema	0.0036	0.0037	0.0008	0.0010	0.0029	0.0029
Efeito Relativo (Δ % Média da Variável Dep. dado β)	2.0%	2.1%	0.5%	0.7%	10.4%	10.4%
EF de indivíduo e ano	X	X	X	X	X	X
Controles ao nível do indivíduo e domicílio		X		X		X
Controle por desastres municipais (S2iD)		X		X		X
Controles os nível local (Origem)		X		X		X

Fonte: Autores, com dados do CadÚnico, DAP/PRONAF e precipitação do CHIRPS. Precipitação em desvios-padrão (DP) para a estação de crescimento (novembro a abril) no nível da grade. Migração de indivíduos em famílias de produtores agropecuários vulneráveis entre 2015 e 2020. As colunas representam: “Migram” – endereços com coordenadas geográficas diferentes entre períodos de tempo; “Dentro” – coordenadas geográficas diferentes dentro de um mesmo município; e “Entre” – coordenadas geográficas diferentes em municípios distintos. Os efeitos relativos estão em negrito para aqueles significativos ao nível de 1%.

Tabela 8: Decisão de migração de membros de famílias produtoras agropecuárias no CadÚnico e DAP/PRONAF entre 2015 e 2020: efeitos da seca por quantil (10%) da distribuição de chuva e benefício do Bolsa Família.

Precipitação em DPs para a estação de cultivo (Nov a Abr)	Migrou	Migrou	Dentro	Dentro	Entre	Entre
Geocoordenadas dos endereços mudaram entre t e t						
Interação PBF * 10% de seca extrema	-0.0037	-0.0014	-0.0036	-0.0015	-0.0002	0.0000
Efeito Relativo (Δ % Média da Variável Dep. dado β)	-6.0%	-2.3%	-6.9%	-2.9%	-2.0%	0.0%
Geocoordenadas dos endereços mudaram entre t e t+2						
Interação PBF * 10% de seca extrema	-0.0068	-0.0045	-0.0075	-0.0054	0.0005	0.0008
Efeito Relativo (Δ % Média da Variável Dep. dado β)	-5.5%	-3.6%	-7.1%	-5.1%	2.5%	4.0%
Geocoordenadas dos endereços mudaram entre t e t+3						
Interação PBF * 10% de seca extrema	-0.0066	-0.0089	-0.0075	-0.0097	0.0012	0.0010
Efeito Relativo (Δ % Média da Variável Dep. dado β)	-3.7%	-5.0%	-4.9%	-6.4%	4.3%	3.6%
EF de indivíduo e ano	X	X	X	X	X	X
Controles ao nível do indivíduo e domicílio		X		X		X
Controle por desastres municipais (S2iD)		X		X		X
Controles os nível local (Origem)		X		X		X

Fonte: Autores, com dados do CadÚnico, DAP/PRONAF e precipitação do CHIRPS. Precipitação em desvios-padrão (DP) para a estação de crescimento (novembro a abril) no nível da grade. Migração de indivíduos em famílias de produtores agropecuários vulneráveis entre 2015 e 2020. As colunas representam: “Migram” – endereços com coordenadas geográficas diferentes entre períodos de tempo; “Dentro” – coordenadas geográficas diferentes dentro de um mesmo município; e “Entre” – coordenadas geográficas diferentes em municípios distintos. Os efeitos relativos estão em negrito para aqueles significativos ao nível de 1%.

10 Conclusão

Esta pesquisa observa um impacto significativo de políticas sociais nas decisões de migração de famílias produtoras agropecuárias vulneráveis às mudanças climáticas. Nossos resultados sugerem que os benefícios do Programa Bolsa Família, um programa de Transferência Condicionada de Renda, podem tanto reduzir quanto aumentar a probabilidade de migração entre membros das famílias produtoras agropecuárias afetadas por choques exógenos de renda devido aos impactos de secas extremas sobre a produtividade agrícola, até três anos após um episódio seca extrema. Especificamente, para aqueles afetados pelos 1% dos eventos de seca mais severos, os benefícios sociais tendem a aumentar a migração, enquanto para aqueles impactados pelos 10% dos eventos de seca mais severos, os benefícios sociais atuam reduzindo a migração individual. Esses efeitos são pronunciados entre os titulares dos benefícios e heterogêneos às características das unidades analisadas.

Nossa metodologia inovadora permitiu identificar com precisão os padrões individuais de migração e a exposição a eventos climáticos extremos ao longo do tempo e do espaço. Encontramos que 20% dos indivíduos vulneráveis migraram pelo menos uma vez entre 2015 e 2020. Além disso, a migração para áreas próximas, dentro do próprio município de origem, é cinco vezes maior do que a migração de longa distância, para outros municípios. Aqueles que recebem benefícios sociais tendem a permanecer em áreas com infraestrutura socioeconômica mais precária em comparação com seus pares migrantes.

Esses resultados conciliam duas vertentes da literatura que identificam efeitos tanto positivos quanto negativos dos benefícios sociais, como as Transferências Condicionadas de Renda, nas decisões individuais de migração, dependendo das características heterogêneas do choque e das unidades afetadas. Enquanto os benefícios sociais podem incentivar a migração ao fornecer os recursos financeiros necessários para indivíduos altamente expostos, até forçosamente deslocados pelos eventos, eles também podem ajudar aqueles menos afetados a construir resiliência contra perdas moderadas de renda, como as decorrentes de danos às lavouras. Dessa forma, a política social pode desempenhar um papel

crucial no fortalecimento da resiliência das famílias diante dos diversos desafios impostos pelas mudanças climáticas, ao mesmo tempo que pode desencorajar a migração para áreas que oferecem melhores oportunidades de desenvolvimento social e pessoal (Halle-gatte et al., 2016).

Referências

- Acharya, V. V., T. Johnson, S. Sundaresan, and S. Zheng (2023): “Disasters with Unobservable Duration and Frequency: Intensified Responses and Diminished Preparedness,” Working Paper 31067, National Bureau of Economic Research.
- Adhikari, S. and U. Gentilini (2018): “Should I Stay or Should I Go: Do Cash Transfers Affect Migration?” Working Paper 8525, National Bureau of Economic Research.
- Assunção, J. and F. Chein (2016): “Climate change and agricultural productivity in Brazil: future perspectives,” *Environment and Development Economics*, 21, 581–602.
- Berlemann, M. and M. F. Steinhardt (2017): “Climate Change, Natural Disasters, and Migration—a Survey of the Empirical Evidence,” *CESifo Economic Studies*, 63, 353–385.
- Black, R., S. R. G. Bennett, S. M. Thomas, and J. R. Beddington (2011): “Climate change: Migration as adaptation,” *Nature*, 478, 447–449.
- Bobonis, G. J., P. J. Gertler, M. Gonzalez-Navarro, and S. Nichter (2022): “Vulnerability and Clientelism,” *American Economic Review*, 112, 3627–59.
- Brasil (2001): *Decreto nº3.877, de 24 de julho de 2001*, Brasília, DF: Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil.
- (2011): *Portaria nº177, de 16 de junho de 2011 do Ministério do Desenvolvimento Social e Combate à Fome (MDS)*, Brasília, DF: Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil.
- Cattaneo, C., M. Beine, C. J. Fröhlich, D. Kniveton, I. Martínez-Zarzoso, M. Mastrorillo, K. Millock, E. Piguet, and B. Schraven (2019): “Human Migration in the Era of Climate Change,” *Review of Environmental Economics and Policy*, 13, 189–206.
- Cirillo, C. (2018): “Conditional Cash Transfers, Risk-coping Strategies and Aspirations: Impact Evaluations from Peru,” Ph.D. thesis, University of Trento.

- Corbi, R., T. Ferraz, and R. Narita (2024): “Internal migration and labor market adjustments in the presence of nonwage compensation,” *Working Paper Series, Department of Economics, University of Sao Paulo (FEA-USP)*.
- Da Mata, D., L. Emanuel, V. Pereira, and B. Sampaio (2023): “Climate adaptation policies and infant health: Evidence from a water policy in Brazil,” *Journal of Public Economics*, 220, 104835.
- Dell, M., B. F. Jones, and B. A. Olken (2014): “What Do We Learn from the Weather? The New Climate-Economy Literature,” *Journal of Economic Literature*, 52, 740–98.
- Dercon, S. (2002): “Income Risk, Coping Strategies, and Safety Nets,” *The World Bank Research Observer*, 17, 141–166.
- Dilley, M., R. Chen, U. Deichmann, A. Lerner-Lam, M. Arnold, J. Agwe, P. Buys, O. Kjekstad, B. Lyon, and G. Yetman (2005): “Natural disaster hotspots: A global risk analysis,” Tech. rep., The World Bank Group (WBG).
- Hagen-Zanker, J. and C. L. Himmelstine (2012): “How does access to social protection programmes affect the decision to migrate?” Background note, Overseas Development Institute.
- Hallegatte, S., M. Bangalore, L. Bonzanigo, M. Fay, t. kane, u. narloch, J. Rozenberg, D. Treguer, and A. Vogt-Schilb (2016): *Shock Waves: Managing the Impacts of Climate Change on Poverty*, Washington, DC: The World Bank Group.
- Hallegatte, S., A. Vogt-Schilb, M. Bangalore, and J. Rozenberg (2017): *Unbreakable: Building the Resilience of the Poor in the Face of Natural Disasters*, Washington, DC: The World Bank Group.
- Hidalgo, F. D., S. Naidu, S. Nichter, and N. Richardson (2010): “Economic Determinantes of Land Invasions,” *The Review of Economics and Statistics*, 92, 505–523.

- Hunter, L. M. (2005): “Migration and Environmental Hazards,” *Population and Environment*, 26, 273–302.
- Jayachandran, S. (2006): “Selling Labor Low: Wage Responses to Productivity Shocks in Developing Countries,” *Journal of Political Economy*, 114, 538–575.
- Martin, M., M. Billah, T. Siddiqui, C. Abrar, R. Black, and D. Kniveton (2014): “Climate related migration in rural Bangladesh: a behavioural model,” *Population and Environment*, 36, 85–110.
- Morrow-Jones, H. A. and C. R. Morrow-Jones (1991): “Mobility Due to Natural Disaster: Theoretical Considerations and Preliminary Analyses,” *Disasters*, 15, 126–132.
- Ober, K. (2019): “The Links between Climate Change, Disasters, Migration, and Social Resilience in Asia: A Literature Review,” ADB Economics Working Paper Series 586, Asian Development Bank.
- Oliveira, G. d. and A. Chagas (2018): “Effects of a cash transfer programme on origin–destination migration flows,” *Regional Science Policy & Practice*, 12, 83–104.
- Otto, I., D. Reckien, C. Reyer, R. Marcus, V. Le Masson, L. Jones, A. Norton, and O. Serdeczny (2017): “Social vulnerability to climate change: a review of concepts and evidence,” *Regional Environmental Change*, 17, 1651–1662.
- Pindyck, R. S. and N. Wang (2013): “The Economic and Policy Consequences of Catastrophes,” *American Economic Journal: Economic Policy*, 5, 306–39.
- Premand, P. and Q. Stoeffler (2020): “Do Cash Transfers Foster Resilience ? Evidence from Rural Niger,” Policy Research Working Paper Series 9473, The World Bank.
- Silveira Neto, R. d. M. (2008): “Do Public Income Transfer to the Poorest affect Internal Inter-Regional Migration? Evidence for the case of Brazilian Bolsa Família Program,” *Anais do XXXVI Encontro Nacional de Economia* [Proceedings of the 36th Brazilian Eco-

nomics Meeting] 200807111106330, ANPEC - Associação Nacional dos Centros de Pós-Graduação em Economia [Brazilian Association of Graduate Programs in Economics].

Souza, P. H. G. F. d., R. G. Osorio, L. H. Paiva, and S. S. D. Soares (2019): *Os Efeitos do Programa Bolsa Família sobre a pobreza e a desigualdade: um balanço dos primeiros quinze anos*, Texto para Discussão (TD) 2499, Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada - IPEA.

Stecklov, G., P. Winters, M. Stampini, and B. Davis (2005): “Do Conditional Cash Transfers Influence Migration? A Study Using Experimental Data from the Mexican Progresa Program,” *Demography*, 42, 769–790.

WB (2021): “Climate Risk Profile: Brazil,” Tech. rep., The World Bank Group (WBG).

A Tabelas e Gráficos Adicionais

A.1 Geocoding - Households and Individuals

Tabela 9: Geocoded household's addresses in *CadÚnico* between 2012 and 2020 - Total unique households

2012-2020	Total		Urban		Rural	
	N	%	N	%	N	%
Processed	221.589.840	100%	172.319.551	100%	48.669.601	100%
Geocoded	220.589.026	99.5%	171.877.924	99.7%	48.166.319	99.0%
Not found	1.000.814	0.5%	441.627	0.3%	503.282	1.0%
Quality of Geocoding						
Street or similar	161.739.074	73%	142.859.622	83%	18.316.102	38%
Street with house number	6.554.705	3%	5.502.506	3%	1.045.837	2%
Public areas	11.822.982	5%	6.303.010	4%	4.905.030	10%
Locality:	40.472.265	18%	16.612.252	10%	23.843.883	50%
Postal Code	2.092.723	1%	1.358.438	1%	731.486	2%
District	9.798.051	4%	6.400.533	4%	3.389.824	7%
Municipality	28.581.491	13%	8.853.281	5%	19.722.573	41%
Correct Municipality	210.649.163	95.5%	166.602.550	96.9%	43.458.847	90.2%

Authors, with household data from the *CadÚnico* for Social Programs from 2012-2020. HERE Platform Geocoding API. The quality analysis conveys the information from the output variable retrieved from the HERE Geocoding algorithm. The groups “Urban” and “Rural” as defined by the *CadÚnico* variable COD_LOCAL_DOMIC_FAM, which we did not use after finding it not reliable by an analysis in the QGIS software.

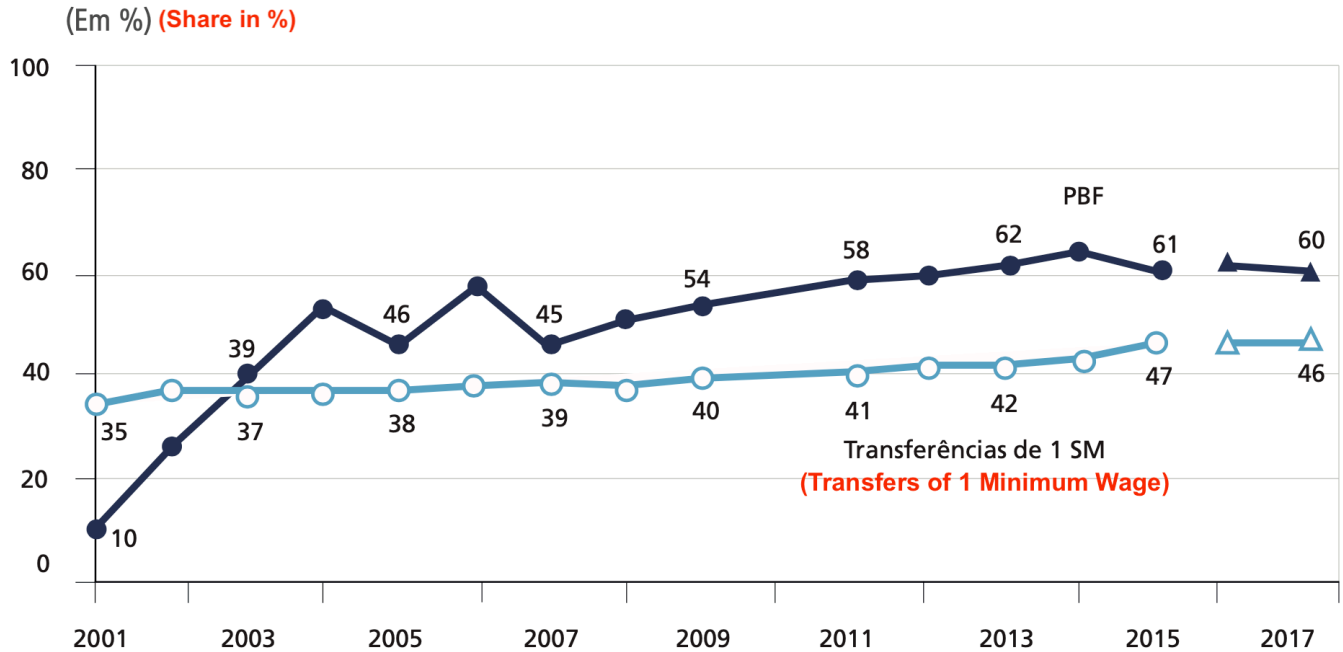
Tabela 10: Geocoded household's addresses in *CadÚnico* between 2012 and 2020 - Total of individuals, household members

2012-2020	Total		Urbano		Rural	
	N	%	N	%	N	%
Processed	638.010.358	100%	484.152.545	100%	153.231.864	100%
Geocoded	634.905.909	99.5%	483.103.890	99.8%	151.452.791	98.8%
Not found	3.104.449	0.5%	1.048.655	0.2%	1.779.073	1.2%
Quality of Geocoding						
Street of similar	456.334.451	72%	398.679.647	83%	57.069.555	38%
Street with house number	18.916.071	3%	15.570.319	3%	3.338.894	2%
Public areas	35.383.641	6%	19.836.313	4%	15.532.142	10%
Locality:	124.271.746	20%	48.741.482	10%	75.512.200	50%
Postal Code	6.275.820	1%	3.923.428	1%	2.349.246	2%
District	28.871.333	5%	18.149.450	4%	10.713.703	7%
Municipality	89.124.593	14%	26.668.604	6%	62.449.251	41%
Correct Municipality	604.466.704	95.2%	467.200.567	96.7%	136.654.247	90.2%

Authors, with household data from the *CadÚnico* for Social Programs from 2012-2020. HERE Platform Geocoding API. The quality analysis conveys the information from the output variable retrieved from the HERE Geocoding algorithm. The groups “Urban” and “Rural” as defined by the *CadÚnico* variable COD_LOCAL_DOMIC_FAM, which we did not use after finding it not reliable by an analysis in the QGIS software.

A.2 Dados Descritivos - CadÚnico

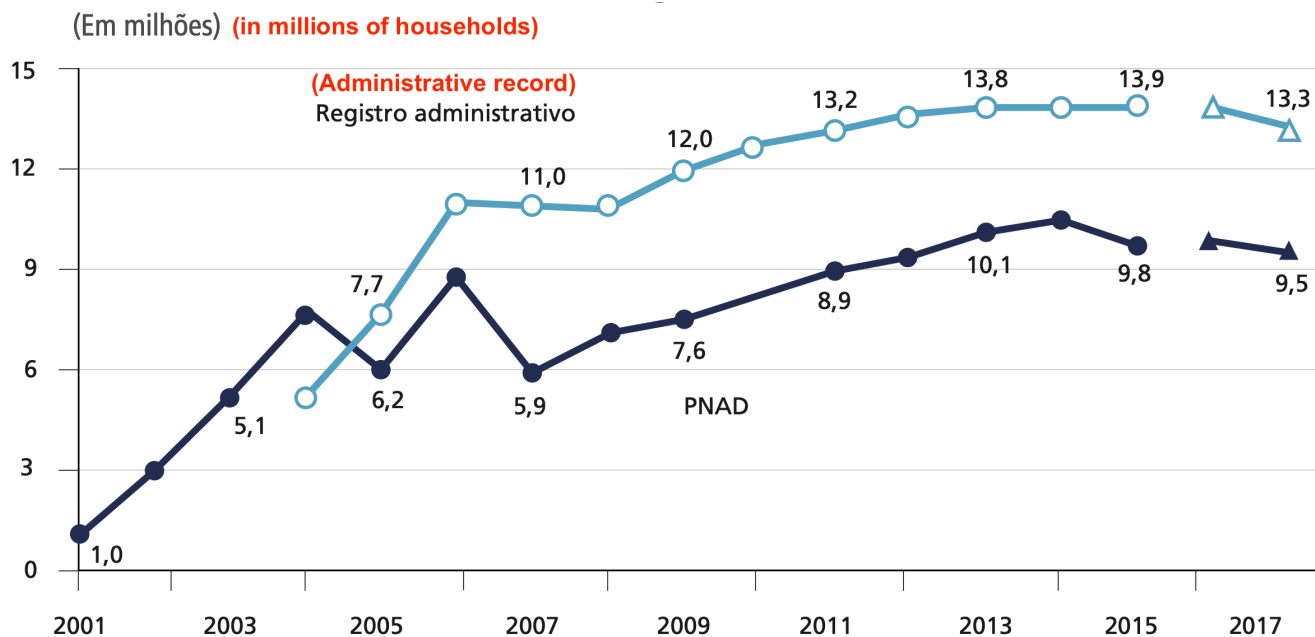
Figura 3: Coverage of the Bolsa Família Program (BFP) and transfers equivalent to one minimum wage (Previdência and BPC) among the poorest 20% according to PNAD surveys (2001-2017)



Source: Adapted from (Souza et al., 2019), graph 3, page 15. Created using data from PNAD surveys (2001-2015), Continuous PNAD surveys (2016-2017).

Note: PNAD information includes the predecessor programs of the BFP and excludes rural areas of the Northern states (except Tocantins) until 2003. The population among the poorest 20% was defined based on the net per capita household income of each benefit.

Figura 4: Households benefiting from the BFP in administrative records and PNAD surveys (2001-2017)



Source: Adapted from (Souza et al., 2019), graph 1, page 11. Created using data from PNAD surveys (2001-2015), Continuous PNAD surveys (2016-2017), and data from the Social Information Matrix of the Secretariat for Evaluation and Information Management (SAGI/MCidadania).

Note: PNAD information includes the predecessor programs of the BFP and excludes rural areas of the Northern states (except Tocantins) until 2003. Information from administrative records includes only the BFP and refers to September (2001-2015) and June (2016-2017).

Tabela 11: Distribution of households/households according to registration status

households	2019	2018	2017	2016	2015	2014	2013	2012
Number of Obs.	53,187,644	48,770,064	44,112,029	40,015,875	37,612,900	35,439,014	32,897,119	30,243,128
Number of observations per registration status code (cod_est_cadastral_fam)								
in registration	13,663	42,970	53,378	19,001	21,474	30,052	42,670	31,483
without civil registration	951	1,368	2,197	3,200	2,921	2,579	1,915	1,410
registered	28,884,068	26,913,965	26,950,657	26,457,577	27,326,122	29,172,487	27,200,920	25,069,565
excluded	24,288,962	21,811,761	17,105,797	13,536,097	10,262,383	6,233,896	5,651,614	5,140,670

Source: Own elaboration with data from the Unified Registry for Social Programs of the Federal Government and the Payroll of the Bolsa Família Program, from the Ministry of Citizenship/Social Development.

Tabela 12: Distribution of individuals according to registration status

Individuals	2019	2018	2017	2016	2015	2014	2013	2012
Number of Observations	175,995,622	165,016,862	153,645,158	143,935,709	136,994,748	130,429,631	123,179,294	115,543,894
Number of observations per registration status code (cod_est_cadastral_memb)								
in registration	21,344	57,641	70,109	28,182	39,751	41,850	64,146	44,659
without civil registration	8,997	11,678	18,794	26,150	31,310	30,985	23,474	13,384
registered	76,415,223	73,570,482	76,464,300	77,829,966	80,793,612	88,181,943	84,291,806	81,296,980
excluded	99,118,459	90,957,954	76,731,894	66,002,780	55,969,699	41,979,054	37,949,178	34,083,210
awaiting NIS attribution	2,141	64,957	75,444	48,630	56,600	38,418	19,617	9,425
awaiting characterization change	0	0	0	0	103,775	157,376	768,224	66,185

Source: Own elaboration with data from the Unified Registry for Social Programs of the Federal Government and the Payroll of the Bolsa Família Program, from the Ministry of Citizenship/Social Development.