

Influência do El Niño:

Oscilação Sul no Risco Agrícola
do Milho Segunda Safra

IRB(P&D)

Resumo executivo

Contexto e objetivo

O milho segunda safra responde por cerca de 80% da produção brasileira de milho, e sua produtividade é particularmente sensível à disponibilidade hídrica em abril e maio. Diante das previsões da NOAA, que indicam elevada probabilidade de El Niño forte ou muito forte até o início de 2027, este relatório avalia a associação entre a fase e a intensidade do ENSO e as perdas de produtividade no Mato Grosso, Paraná, Goiás e Mato Grosso do Sul, além de 20 dos principais municípios produtores, entre 2003 e 2025.

Abordagem

- ✖ **Produtividade:** medida pelo rendimento efetivo (produção por área plantada), que incorpora também as perdas de áreas não colhidas; as anomalias foram calculadas em relação a uma tendência robusta.
- ✖ **ENSO:** cada safra foi classificada pelo pico do Oceanic Niño Index (ONI) entre outubro do ano anterior e março do ano da colheita.
- ✖ **Seca:** caracterização complementar das secas de 2010, 2016 e 2024, com base no SPEI-30, quanto à extensão, profundidade e persistência.

Principais resultados

- ✖ **Centro-Oeste: perdas concentradas em El Niño muito forte.** As correlações com o ONI foram fracas, mas as safras de El Niño moderado ou mais intenso tiveram anomalia média próxima de -11% em MT, GO e MS. O resultado decorre sobretudo de 2016 (-34% em MT, -43% em GO e -27% em MS) e de 2024 (-37% em MS).
- ✖ **Paraná: padrão oposto.** No oeste do estado, as correlações com o ONI foram positivas e as maiores quebras ocorreram em safras de La Niña, como 2021 (-37% na escala estadual).
- ✖ **Perdas locais mais severas que as estaduais.** Em Goiás, em 2016, a anomalia estadual foi de -43%, enquanto nos municípios analisados variou entre -36% e -56%.

- 2016 foi a seca mais severa entre os três eventos analisados. Foi simultaneamente a mais extensa, intensa e persistente: cerca de 20% da área dos seis estados analisados permaneceu ao menos 30 dias consecutivos entre os 10% de condições mais secas do histórico de abril e maio, contra 10,9% em 2010 e 3,3% em 2024.

Implicações para seguro e resseguro

- Risco de perdas simultâneas.** Em 2016, MT, GO e MS registraram quebras expressivas no mesmo ano, o que pode reduzir os benefícios da diversificação geográfica e ampliar a acumulação de perdas em carteiras concentradas no Centro-Oeste.
- Monitoramento além do ENSO.** A intensidade do ENSO, isoladamente, não antecipa a ocorrência ou a severidade das quebras. Para a safra de 2027, recomenda-se acompanhar a precipitação, o calendário agrícola e as condições de seca ao longo do ciclo.

Limitações

Trata-se de um estudo exploratório, sem estabelecimento de relações causais. A série contém apenas 23 safras, com dois eventos de El Niño muito forte, o que limita a generalização dos resultados.

1. Contextualização e objetivos

O milho segunda safra, conhecido como safrinha, consolidou-se como o principal componente da produção brasileira de milho. Na safra 2024/25, sua produção foi estimada em aproximadamente 110 milhões de toneladas, de um total de 137 milhões de toneladas de milho produzidas no país, o equivalente a cerca de 80% da produção nacional (CONAB, 2025). Cultivado predominantemente após a colheita da soja, com semeadura entre janeiro e março, seu desenvolvimento ocorre, em grande parte do Centro-Oeste, durante a transição entre as estações chuvosa e seca. Nesse contexto, a produtividade é particularmente sensível à época de liberação das áreas cultivadas com soja e à disponibilidade hídrica, especialmente durante os meses de abril e maio, que podem coincidir com as fases de florescimento e enchimento de grãos.

O El Niño–Oscilação Sul (ENSO) é um fenômeno climático caracterizado por alterações na temperatura da superfície do Oceano Pacífico equatorial e na circulação atmosférica tropical, constituindo uma das principais fontes de variabilidade climática interanual e previsibilidade sazonal. Sua fase quente, denominada El Niño, caracteriza-se pelo aquecimento anômalo das águas do Pacífico equatorial, enquanto a fase fria, La Niña, está associada ao resfriamento dessas águas. Essas alterações influenciam os padrões de precipitação em diversas regiões do planeta, incluindo o Brasil. De modo geral, o El Niño favorece chuvas acima da média no Sul do país, especialmente na primavera, e condições mais secas em partes das regiões Norte e Nordeste. Durante a La Niña, os padrões tendem a ser opostos, embora apresentem variações regionais e sazonais (GRIMM; BARROS; DOYLE, 2000). No Centro-Oeste, a influência do ENSO sobre a precipitação é menos uniforme, com variações espaciais e temporais significativas ao longo da estação chuvosa (GRIMM, 2003).

Embora a influência do ENSO sobre o clima do Centro-Oeste apresente considerável variabilidade espacial e temporal, suas possíveis repercussões sobre o regime de chuvas são relevantes para a produção agrícola. Alterações na distribuição das precipitações podem afetar o desenvolvimento e a colheita da soja, influenciando o calendário de semeadura do milho segunda safra e sua exposição a condições de déficit hídrico durante as fases críticas de desenvolvimento. Nesse contexto, compreender a

relação entre o ENSO e as perdas de produtividade é particularmente importante para a avaliação dos riscos associados ao seguro e resseguro agrícola.

Essa questão ganha especial relevância diante do cenário climático atual. Em outubro de 2026, a National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) confirmou a intensificação do El Niño e indicou elevada probabilidade de o fenômeno atingir intensidade excepcional até o final do ano. Segundo o boletim de 8 de outubro, a probabilidade de manutenção de condições de El Niño forte ou muito forte no trimestre janeiro–março de 2027 supera 83%. Para março–maio, as previsões ainda indicam 85% de probabilidade de persistência do El Niño, embora com tendência de enfraquecimento (NOAA CPC, 2026). Considerando a possibilidade de influência dessas condições sobre o calendário agrícola e o desenvolvimento do milho segunda safra de 2027, esse cenário reforça a importância de antecipar a avaliação dos riscos de quebras severas e perdas simultâneas em diferentes regiões produtoras, subsidiando o planejamento e a gestão das exposições no setor de seguros e resseguros agrícolas.

Desse modo, o presente relatório investiga a associação entre a fase e a intensidade do ENSO e as anomalias de produtividade do milho segunda safra nos quatro principais estados produtores do Brasil: Mato Grosso, Paraná, Goiás e Mato Grosso do Sul. A análise abrange o período de 2003 a 2025 e contempla, além da escala estadual, cinco dos maiores municípios produtores de cada estado, totalizando 20 municípios. Trata-se de um estudo exploratório, voltado à identificação de associações estatísticas, sem estabelecer relações de causalidade.

2. Dados e métodos

2.1. Área de estudo e dados de produção

A análise compreende 23 safras de milho segunda safra, entre 2003 e 2025, nos estados de Mato Grosso (MT), Paraná (PR), Goiás (GO) e Mato Grosso do Sul (MS). Em conjunto, esses estados responderam por aproximadamente 72% da produção nacional de milho segunda safra no período de 2021 a 2025, conforme os dados utilizados no estudo, com participações de 38% para MT, 14% para PR, 11% para GO e 9% para MS.

Foram utilizados dados de área plantada, área colhida e quantidade produzida, provenientes da pesquisa Produção Agrícola Municipal (PAM), do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). A análise foi realizada nas escalas estadual e municipal, sendo selecionados, nesta última, os cinco municípios de maior produção acumulada de milho segunda safra em cada estado, considerando o período de 2003 a 2025 (Tabela 1). As safras foram identificadas pelo ano da colheita; assim, a safra de 2016, por exemplo, corresponde ao milho segunda safra colhido naquele ano, predominantemente semeado

Estado	Municípios
MT	Sorriso, Nova Mutum, Nova Ubiratã, Campo Novo do Parecis, Diamantino
PR	Assis Chateaubriand, Toledo, Ubatã, São Miguel do Iguaçu, Cascavel
GO	Rio Verde, Jataí, Montividiu, Mineiros, Cristalina
MS	Maracaju, Sidrolândia, Dourados, Ponta Porã, São Gabriel do Oeste

entre janeiro e março.

Tabela 1 – Municípios selecionados por estado, em ordem decrescente da produção acumulada de milho segunda safra entre 2003 e 2025.

Fonte: IRB(P&D), a partir de dados do IBGE (PAM).

2.2. Rendimento efetivo

O IBGE calcula o rendimento médio dividindo a quantidade produzida pela área colhida. Entretanto, esse indicador não considera as áreas plantadas que deixaram de ser colhidas, as quais podem representar uma parcela significativa das perdas em anos de condições climáticas adversas. Para contemplar também essas perdas, este estudo utiliza o rendimento efetivo, definido pela razão entre a quantidade produzida e a área plantada:

$$\text{Rendimento efetivo} = \text{Produção} \div \text{Área plantada}$$

Esse indicador incorpora tanto a redução da produtividade nas áreas colhidas quanto as perdas decorrentes de áreas não colhidas, oferecendo uma medida mais abrangente das perdas físicas de produção e, portanto, mais adequada à avaliação do risco agrícola sob a perspectiva dos seguros e resseguros.

2.3. Estimativa da tendência e cálculo das anomalias de produtividade

A produtividade do milho apresenta uma tendência de crescimento ao longo do tempo, associada principalmente aos avanços em genética, manejo agrícola e tecnologia. Para reduzir a influência dessa evolução de longo prazo e analisar as variações interanuais de produtividade, ajustou-se uma curva de tendência separadamente para cada estado e município, calculando-se o desvio de cada safra em relação à respectiva tendência. As análises estatísticas subsequentes utilizaram as anomalias de produtividade resultantes desse procedimento.

A tendência foi estimada por meio de uma curva suave (spline de suavização), ajustada ao logaritmo do rendimento efetivo, de modo a representar as variações em termos proporcionais. O grau de suavização foi determinado automaticamente por validação cruzada generalizada (CRAVEN; WAHBA, 1979). Como valores extremos de produtividade podem influenciar o ajuste e distorcer a estimativa da tendência, adotou-se um procedimento robusto de ponderação iterativa, que reduz progressivamente o peso das observações com maiores desvios em relação à curva estimada (CLEVELAND, 1979). Dessa forma, obtém-se uma referência de produtividade de longo prazo menos influenciada por safras com resultados atípicos.

A anomalia de produtividade de cada safra foi calculada como o desvio percentual do rendimento efetivo observado em relação à tendência estimada:

$$\text{Anomalia (\%)} = 100 \times (\text{Rendimento efetivo} \div \text{Tendência} - 1)$$

A **Figura 1** apresenta o rendimento efetivo e as tendências estimadas para os quatro estados. Safras com quebras severas de produtividade, como 2016 no Mato Grosso e Goiás e 2021 no Paraná e no Mato Grosso do Sul, receberam pesos reduzidos no ajuste, limitando sua influência sobre as curvas de tendência. Como o procedimento não impõe que a média das anomalias seja igual a zero, séries com quebras recorrentes, como a de Mato Grosso do Sul, podem apresentar anomalias médias negativas. O mesmo procedimento de estimativa foi aplicado individualmente às séries dos 20 municípios selecionados.

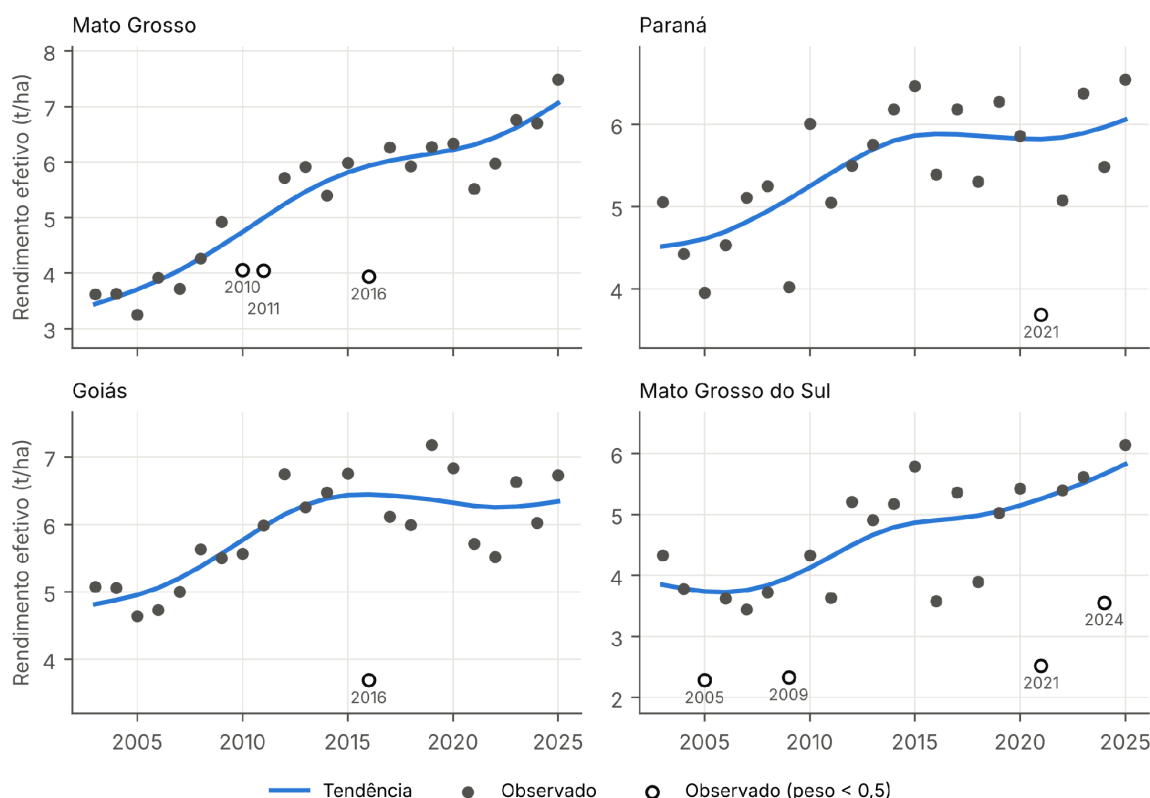


Figura 1. Rendimento efetivo do milho segunda safra e tendências estimadas para os quatro estados, no período de 2003 a 2025. Os círculos vazios identificam safras com peso reduzido no ajuste.

Fonte: IRB(P&D), a partir de dados do IBGE (PAM).

2.4. Caracterização do ENSO e classificação das safras

O ENSO foi caracterizado pelo Oceanic Niño Index (ONI), da NOAA, calculado a partir da média móvel trimestral das anomalias de temperatura da superfície do mar na região Niño 3.4, no Pacífico equatorial. Essa região é utilizada por apresentar forte associação com a variabilidade oceânica e atmosférica do ENSO e seus impactos climáticos em diferentes regiões do planeta (BARNSTON; CHELLIAH; GOLDENBERG, 1997). A escolha do ONI permite caracterizar de forma padronizada a fase e a intensidade do fenômeno, sendo também empregado em estudos sobre a variabilidade e a previsão de precipitação no Brasil (TORRES et al., 2024).

Cada safra foi classificada conforme a fase e a intensidade máxima do ENSO, considerando os valores trimestrais do ONI centrados entre outubro do ano anterior e março do ano da colheita. Essa janela abrange o período em que muitos eventos atingem sua maior intensidade e contempla condições climáticas anteriores ou próximas ao início do cultivo do milho segunda safra. Para a classificação, foi selecionado o valor do ONI de maior magnitude no período, preservando seu sinal. Foram classificadas como El Niño (EN) as safras com pico igual ou superior a +0,5 °C; como La Niña (LN) aquelas com pico igual ou inferior a -0,5 °C; e como neutras as demais. A intensidade foi subdividida em quatro categorias: fraca (0,5 a menos de 1,0 °C), moderada (1,0 a menos de 1,5 °C), forte (1,5 a menos de 2,0 °C) e muito forte (2,0 °C ou mais), conforme a magnitude absoluta do índice.

Essa classificação constitui um critério operacional simplificado, distinto da identificação histórica de episódios de ENSO pela NOAA, que considera a persistência das anomalias por pelo menos cinco trimestres móveis consecutivos. A **Tabela 2** apresenta a classificação das 23 safras analisadas, considerando os valores do ONI com duas casas decimais.

Fase e intensidade	Safras	n
El Niño muito forte	2016 (+2,75), 2024 (+2,06)	2
El Niño forte	2010 (+1,56)	1
El Niño moderado	2003 (+1,31)	1
El Niño fraco	2005, 2007, 2015, 2019, 2020	5
Neutro	2004, 2013, 2014, 2025	4

Fase e intensidade	Safras	n
La Niña fraca	2006, 2009, 2017, 2018, 2022, 2023	6
La Niña moderada	2012 (-1,02), 2021 (-1,20)	2
La Niña forte	2008 (-1,64), 2011 (-1,64)	2

Tabela 2 – Classificação das safras de 2003 a 2025 conforme a fase e a intensidade máxima do ENSO, determinadas pelo pico do ONI entre outubro do ano anterior e março do ano da colheita. Os valores entre parênteses representam o pico do ONI, em °C.

Fonte: IRB(P&D), a partir de dados da NOAA.

Considerando o número reduzido de safras nas categorias de maior intensidade, as comparações foram realizadas a partir de três grupos: El Niño moderado ou mais intenso (2003, 2010, 2016 e 2024), La Niña moderada ou mais intensa (2008, 2011, 2012 e 2021) e condições neutras ou de baixa intensidade do ENSO, abrangendo as 15 safras restantes.

2.5. Análises estatísticas

A associação entre o ENSO e as anomalias de produtividade foi avaliada por duas abordagens complementares. Inicialmente, calculou-se, para cada estado e município, a correlação de postos de Spearman entre as anomalias de produtividade e os valores mensais do ONI, de outubro do ano anterior a março do ano da colheita. Esse método permite avaliar a direção e a intensidade da associação entre duas variáveis, sem pressupor uma relação linear e com menor sensibilidade a valores extremos. A significância estatística foi avaliada pelo p-valor, que representa a probabilidade de obter uma correlação tão extrema quanto a observada, caso não exista associação entre as variáveis. Adotou-se o limiar de $p < 0,05$ para identificar correlações nominalmente significativas.

Em seguida, compararam-se as anomalias de produtividade entre os três grupos de ENSO definidos na seção anterior: 1) El Niño moderado ou mais intenso, 2) La Niña moderada ou mais intensa e 3) condições neutras ou eventos de baixa intensidade. A comparação considerou as anomalias médias e a frequência de quebras de produtividade, definidas por anomalias inferiores a -10% na escala estadual e a -20% na escala municipal. Devido ao número reduzido de safras em cada grupo, as frequências foram apresentadas como contagens, e a comparação teve caráter descritivo, sem a aplicação de testes formais de significância estatística entre os grupos.

Duas limitações devem ser consideradas na interpretação dos resultados. Primeiramente, o ONI apresenta elevada persistência entre outubro e março, de modo que as seis correlações mensais calculadas para cada série não constituem testes independentes. Além disso, foram realizados múltiplos testes de correlação (24 séries e seis meses, totalizando 144 testes), sem aplicação de correções para comparações múltiplas, o que aumenta a possibilidade de identificar associações estatisticamente significativas por acaso. Dessa forma, os p-valores devem ser interpretados como indicativos, considerando o caráter exploratório do estudo.

2.6. Caracterização espacial exploratória das condições de seca

Complementarmente, foi realizada uma análise exploratória das condições de seca nas safras de 2010, 2016 e 2024, correspondentes aos eventos classificados como El Niño forte ou muito forte no período estudado. A análise utilizou o Índice Padronizado de Precipitação e Evapotranspiração (Standardized Precipitation Evapotranspiration Index – SPEI), que caracteriza condições de seca a partir das anomalias do balanço climático entre precipitação e evapotranspiração potencial (VICENTE-SERRANO; BEGUERÍA; LÓPEZ-MORENO, 2010). De forma simplificada, o índice compara a chuva com a quantidade de água que a atmosfera tende a retirar do solo e das plantas, indicando se o balanço hídrico de um local está abaixo ou acima do esperado para aquela época do ano. Foi utilizada sua versão diária com janela móvel de acumulação de 30 dias (SPEI-30), ou seja, cada valor diário resume as condições dos 30 dias anteriores, permitindo acompanhar a evolução da disponibilidade hídrica em escala aproximadamente mensal. Valores negativos do índice indicam condições mais secas que o padrão climatológico, enquanto valores positivos representam condições relativamente mais úmidas. Quanto mais negativo o valor, mais severa é a seca.

Para caracterizar os eventos, foram considerados três indicadores complementares, que respondem a perguntas distintas: quanto do território está em seca (extensão espacial), quão extrema é essa seca (profundidade) e há quanto tempo ela se mantém (persistência). A extensão corresponde à proporção do território sob condições excepcionalmente secas, identificadas pelos percentis P90, P95 e P99, que representam, respectivamente, condições entre as 10%, 5% e 1% mais secas do histórico local. Por

exemplo, um local em P95 apresenta um SPEI-30 tão baixo quanto o observado em apenas 5% dos dias de abril e maio entre 1961 e 2024 naquele mesmo local. A profundidade foi representada por um índice entre 0 e 1, construído a partir da intensidade das condições secas: vale 0 quando o local está fora das condições extremas de seca e atinge 1 quando alcança o P99. Já a persistência corresponde ao número de dias consecutivos em condições de seca P90. Os limiares foram calculados individualmente para cada célula espacial, considerando os valores históricos do SPEI-30 em abril e maio, entre 1961 e 2024. Dessa forma, a seca é sempre avaliada em relação ao comportamento usual de cada local, o que permite comparar regiões com climas diferentes.

A análise abrangeu MT, MS, GO, PR, São Paulo (SP) e Minas Gerais (MG). Os indicadores regionais foram calculados para o conjunto desses seis estados, e não para todo o Brasil, ponderando cada célula espacial pela sua área. Assim, uma extensão de 20%, por exemplo, significa que um quinto da área total dos seis estados estava em seca. Foram examinados mapas das condições de seca nos dias de maior extensão P95 entre abril e maio, que abrangem todo o território nacional para fins de contexto, além da evolução diária dos indicadores entre fevereiro e junho. Os indicadores utilizam, em todos os meses apresentados, limiares fixos calculados com o histórico de abril e maio de 1961–2024 em cada local. Fora dessa janela, portanto, os percentis funcionam como um critério comum de comparação, e não como a frequência histórica de seca daquele mês. Os resultados representam condições meteorológicas sobre o território analisado, sem ponderação pela distribuição das áreas cultivadas com milho segunda safra. Trata-se, portanto, de uma caracterização climática complementar, sem avaliação estatística direta da relação entre seca e produtividade agrícola.

3. Resultados

3.1. Associação entre o ONI e as anomalias de produtividade

A **Figura 2** apresenta os coeficientes de correlação de Spearman entre o ONI e as anomalias de produtividade do milho segunda safra, nas escalas estadual e municipal. Nos três estados do Centro-Oeste, as correlações foram fracas em todos os meses analisados, variando de $-0,10$ a $-0,03$ no Mato Grosso, de $-0,02$ a $+0,17$ em Goiás e de $+0,03$ a $+0,21$ no Mato Grosso do Sul, sem significância estatística. Os municípios desses estados apresentaram comportamento semelhante, com coeficientes predominantemente negativos no Mato Grosso (até $-0,20$) e próximos de zero ou ligeiramente positivos em Goiás e Mato Grosso do Sul.

O Paraná, por sua vez, apresentou um padrão distinto, com correlações positivas em todos os meses ($+0,28$ a $+0,39$), embora sem significância estatística na escala estadual. As associações foram mais expressivas nos municípios do oeste do estado, com correlações estatisticamente significativas em Cascavel, de outubro a março ($+0,41$ a $+0,47$); São Miguel do Iguaçu, de outubro a fevereiro ($+0,47$ a $+0,61$); Toledo, de outubro a dezembro ($+0,43$); e Ubatuba, de janeiro a março ($+0,42$ a $+0,50$). Esses resultados indicam que, nesses municípios, valores mais elevados do ONI tendem a estar associados a anomalias de produtividade relativamente maiores, sugerindo condições comparativamente mais favoráveis durante eventos de El Niño e menos favoráveis durante episódios de La Niña.

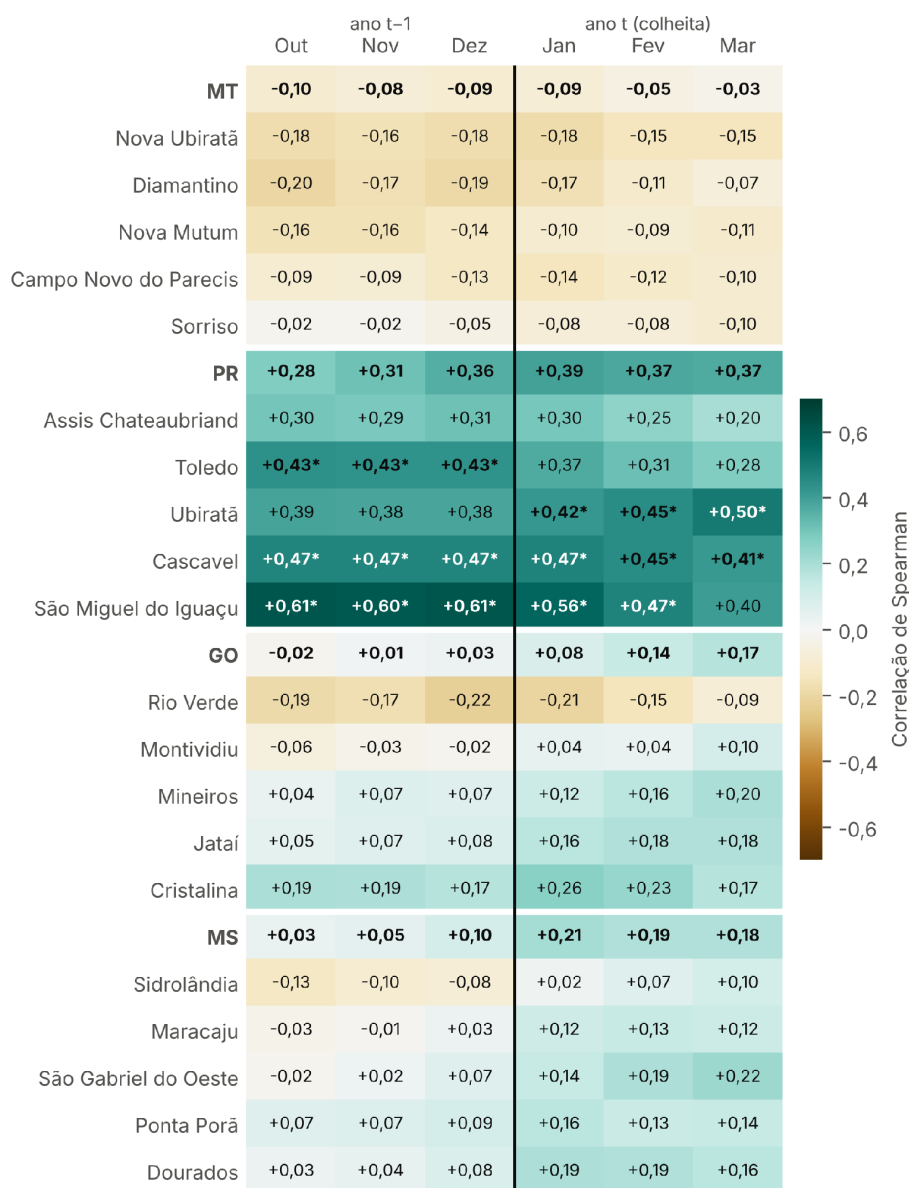


Figura 2. Correlação de Spearman entre os valores mensais do ONI (outubro do ano anterior a março do ano da colheita) e as anomalias de produtividade do milho segunda safra, por estado (em negrito) e município. O asterisco (*) indica correlações com significância estatística nominal ($p < 0,05$), sem correção para comparações múltiplas.

Fonte: IRB(P&D), a partir de dados do IBGE (PAM) e da NOAA.

3.2. Anomalias de produtividade por grupo de ENSO

A comparação das anomalias de produtividade entre os grupos de ENSO revela um padrão que não é plenamente captado pela análise de correlação (Tabela 3 e Figura 3). Nos três estados do Centro-Oeste, as safras classificadas no grupo El Niño moderado ou mais intenso apresentaram anomalias médias próximas de -11% na escala estadual, enquanto, nas safras classificadas como neutras ou associadas a eventos fracos, as anomalias médias variaram de -4,0% a +0,4%. Na escala municipal, a frequência de quebras superiores a 20% nesse grupo foi de 6 em 20 safras no Mato Grosso, 6 em 19 em Goiás e 7 em 19 no Mato Grosso do Sul, em comparação com 3 em 75, 10 em 74 e 10 em 75, respectivamente, nas safras neutras ou fracas.

Esse resultado, contudo, depende de um número reduzido de observações. Das quatro safras classificadas como El Niño moderado ou mais intenso, apenas as associadas a El Niño muito forte apresentaram perdas expressivas nos estados do Centro-Oeste. Em 2016, a anomalia estadual foi de -34% no Mato Grosso, -43% em Goiás e -27% no Mato Grosso do Sul; em 2024, Mato Grosso do Sul registrou anomalia de -37%. As safras de El Niño moderado e forte, em 2003 e 2010, permaneceram próximas ou acima da tendência na maior parte dos casos, com exceção de Mato Grosso em 2010, cuja anomalia foi de -14%.

O Paraná apresentou comportamento distinto. Nas safras classificadas como El Niño moderado ou mais intenso, a anomalia média estadual foi de +2,6%, enquanto, nos cinco municípios analisados, a anomalia média foi de +16,6%, sem ocorrência de quebras superiores a 20%. As perdas mais expressivas ocorreram nas safras classificadas como La Niña moderada ou mais intensa. Em 2021, a anomalia estadual foi de -37%, e 7 das 20 observações municipais desse grupo apresentaram quebras superiores a 20%. A safra de 2021 também apresentou forte quebra no Mato Grosso do Sul (-52%), fazendo deste o único estado com perdas médias relevantes tanto no grupo de La Niña moderada ou mais intensa quanto no de El Niño moderado ou mais intenso.

Estado	Grupo ENSO	Safras	Anomalia média UF (%)	UF: safras < -10%	Anomalia média municípios (%)	Municípios: safras < -20%
MT	LN ≥ moderada	4	-5,6	2 de 4	-5,6	2 de 20
	Neutro ou fraco	15	+0,4	1 de 15	+0,6	3 de 75
	EN ≥ moderado	4	-11,1	2 de 4	-10,8	6 de 20
PR	LN ≥ moderada	4	-9,5	1 de 4	-19,1	7 de 20
	Neutro ou fraco	15	-0,6	3 de 15	+0,8	10 de 75
	EN ≥ moderado	4	+2,6	0 de 4	+16,6	0 de 20
GO	LN ≥ moderada	4	+1,5	0 de 4	+5,4	0 de 19
	Neutro ou fraco	15	+0,1	1 de 15	-2,3	10 de 74
	EN ≥ moderado	4	-11,3	1 de 4	-10,7	6 de 19
MS	LN ≥ moderada	4	-13,7	2 de 4	-11,7	8 de 20
	Neutro ou fraco	15	-4,0	3 de 15	-1,3	10 de 75
	EN ≥ moderado	4	-11,6	2 de 4	-8,4	7 de 19

Tabela 3 – Anomalia média de produtividade e frequência de quebras por grupo de ENSO, nos estados e nos cinco municípios de maior produção de cada estado. Nos municípios, cada safra de cada um dos cinco municípios é contada uma vez.

Fonte: IRB(P&D), a partir de dados do IBGE (PAM) e da NOAA.

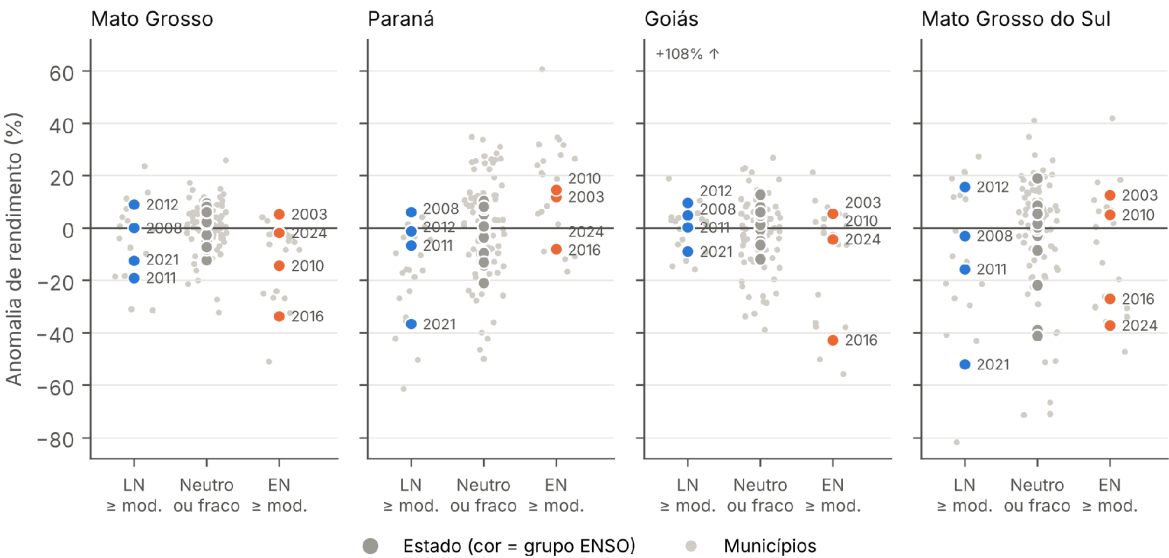


Figura 3. Anomalias de produtividade por grupo de ENSO. Pontos coloridos representam os estados, com identificação do ano nas safras classificadas como La Niña moderada ou mais intensa e El Niño moderado ou mais intenso; pontos cinza representam os municípios.

Fonte: IRB(P&D), a partir de dados do IBGE (PAM) e da NOAA.

3.3. Condições de seca nas safras de 2010, 2016 e 2024

A **Figura 4** apresenta a distribuição espacial do SPEI-30 nas datas de maior extensão regional da seca P95 entre abril e maio de cada ano, isto é, nos dias em que a maior parcela da área dos seis estados esteve entre as 5% condições mais secas do seu histórico. Nos mapas, tons de vermelho indicam condições mais secas que o normal, e tons de azul, mais úmidas. Em 2010, o pico ocorreu em 8 de maio; em 2016, em 25 de abril; e em 2024, em 18 de maio. Nessas datas, a área em P95 correspondeu a cerca de dois terços do território dos seis estados em 2016, a pouco mais da metade em 2010 e a menos de um quarto em 2024 (Figura 6a). A análise evidencia diferenças importantes na distribuição espacial das condições de seca entre os três eventos. Em 2010, observou-se uma faixa extensa de condições secas, abrangendo principalmente Mato Grosso e Goiás e estendendo-se em direção ao Sudeste. Em 2016, as condições mais severas concentraram-se em uma área mais ampla do centro-leste brasileiro, com destaque para o Sudeste e Goiás, alcançando também o norte do Paraná e partes da Bahia. Já em 2024, observou-se uma distribuição espacial mais fragmentada das condições extremas de seca, com núcleos principalmente no oeste da Amazônia e em setores de Mato Grosso do Sul e do Sudeste.

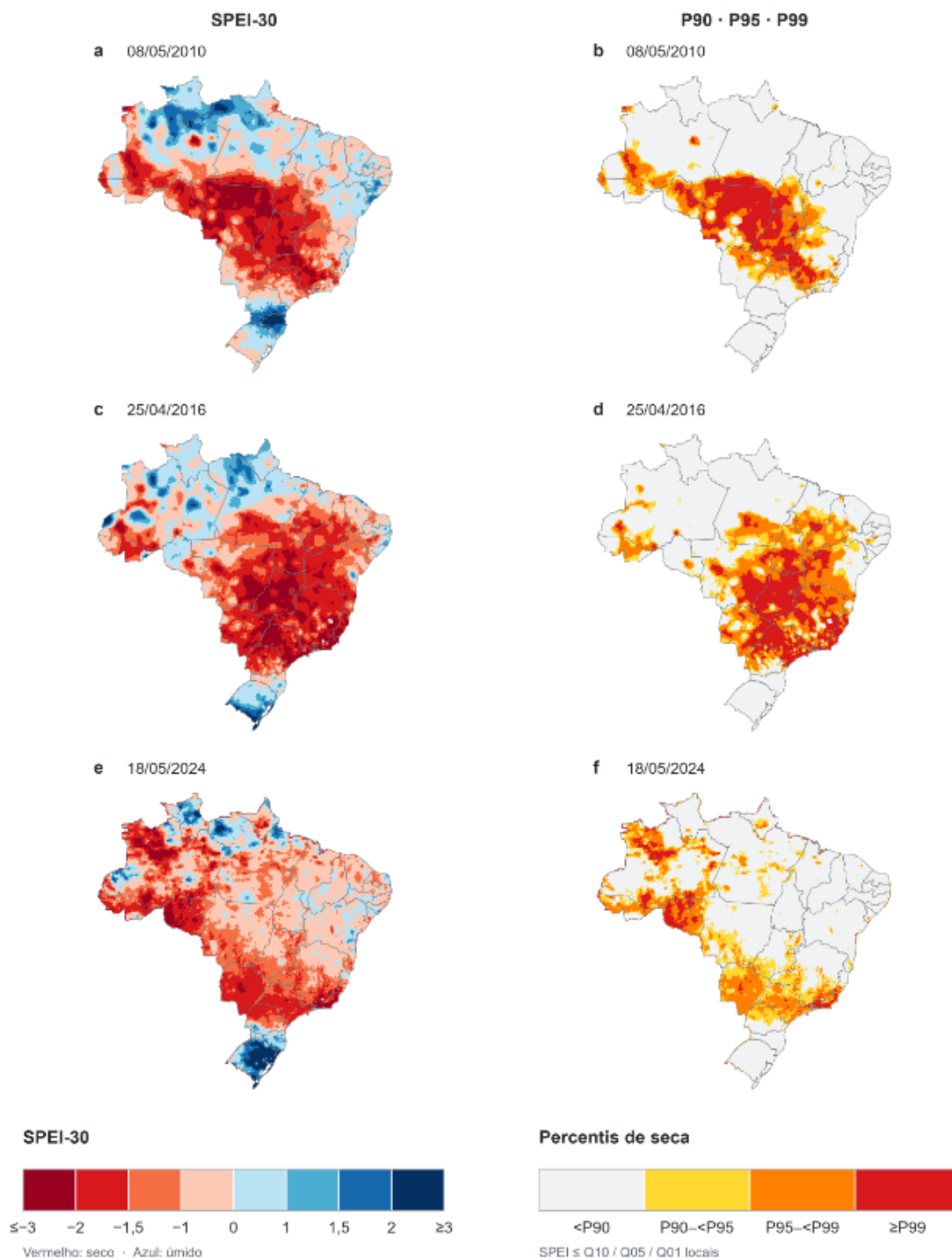


Figura 4. Distribuição espacial do SPEI-30 e das condições de seca nas datas de maior extensão regional P95 entre abril e maio de 2010, 2016 e 2024. Os mapas à esquerda apresentam os valores do SPEI-30, com tons de vermelho para condições mais secas e de azul para mais úmidas. Os mapas à direita identificam as áreas classificadas nos percentis P90, P95 e P99, correspondentes às condições entre as 10%, 5% e 1% mais secas do histórico local de abril e maio (1961–2024); quanto mais próxima do vermelho, mais rara é a condição. Os mapas abrangem o território brasileiro, mas as datas foram selecionadas considerando a extensão da seca no conjunto dos seis estados analisados.

Fonte: IRB(P&D).

A **Figura 5** complementa essa caracterização ao apresentar a profundidade e a persistência da seca nas mesmas datas. Nos dois conjuntos de mapas, cores mais quentes indicam secas mais extremas (profundidade) ou mais longas (persistência). Em 2010 e 2016, observaram-se áreas extensas com valores de profundidade próximos ao máximo do índice, ou seja, em condições próximas às mais secas do histórico local, embora com distribuições espaciais distintas. Em 2010, essas condições concentraram-se principalmente no Centro-Oeste, enquanto, em 2016, abrangeram uma porção mais extensa do centro-leste brasileiro. Em 2024, os núcleos de maior profundidade apresentaram distribuição mais fragmentada, destacando-se áreas do oeste amazônico e setores do Centro-Sul. Quanto à persistência, os mapas de 2010 e 2024 indicam, nas datas selecionadas, condições predominantemente menos duradouras no Centro-Sul, enquanto, em 2016, foram observadas sequências mais prolongadas de seca em partes de Goiás e da Bahia. Essas diferenças demonstram que a extensão espacial, isoladamente, não caracteriza integralmente a severidade de um evento de seca, sendo necessário considerar também sua intensidade e duração: uma seca pode ser ampla, mas passageira, ou concentrada, mas intensa e prolongada.

A evolução temporal desses indicadores, apresentada na **Figura 6**, reforça as diferenças entre os três eventos. As curvas representam o conjunto dos seis estados, e não a média nacional. Em 2016, foram registrados os maiores picos regionais de extensão, profundidade e persistência da seca. Em 14 de maio daquele ano, aproximadamente 20,0% da área dos seis estados, ou um quinto do território analisado, permanecia em condições de seca P90 por pelo menos 30 dias consecutivos. Os valores máximos correspondentes foram de 10,9% em 2010, registrado em 3 de junho, e 3,3% em 2024, observado em 3 de março, fora da janela de abril e maio que define os limiares. Vale notar que essa curva não é cumulativa: um local deixa de ser contado quando sua sequência de dias secos é interrompida. Em 2010, a seca intensificou-se mais tarde, entre o fim de abril e maio, enquanto, em 2024, os episódios foram mais curtos e menos abrangentes. Dessa forma, os resultados evidenciam diferenças importantes na evolução e na persistência das condições meteorológicas entre as três safras, fornecendo informações adicionais para contextualizar as anomalias de produtividade observadas no estudo.

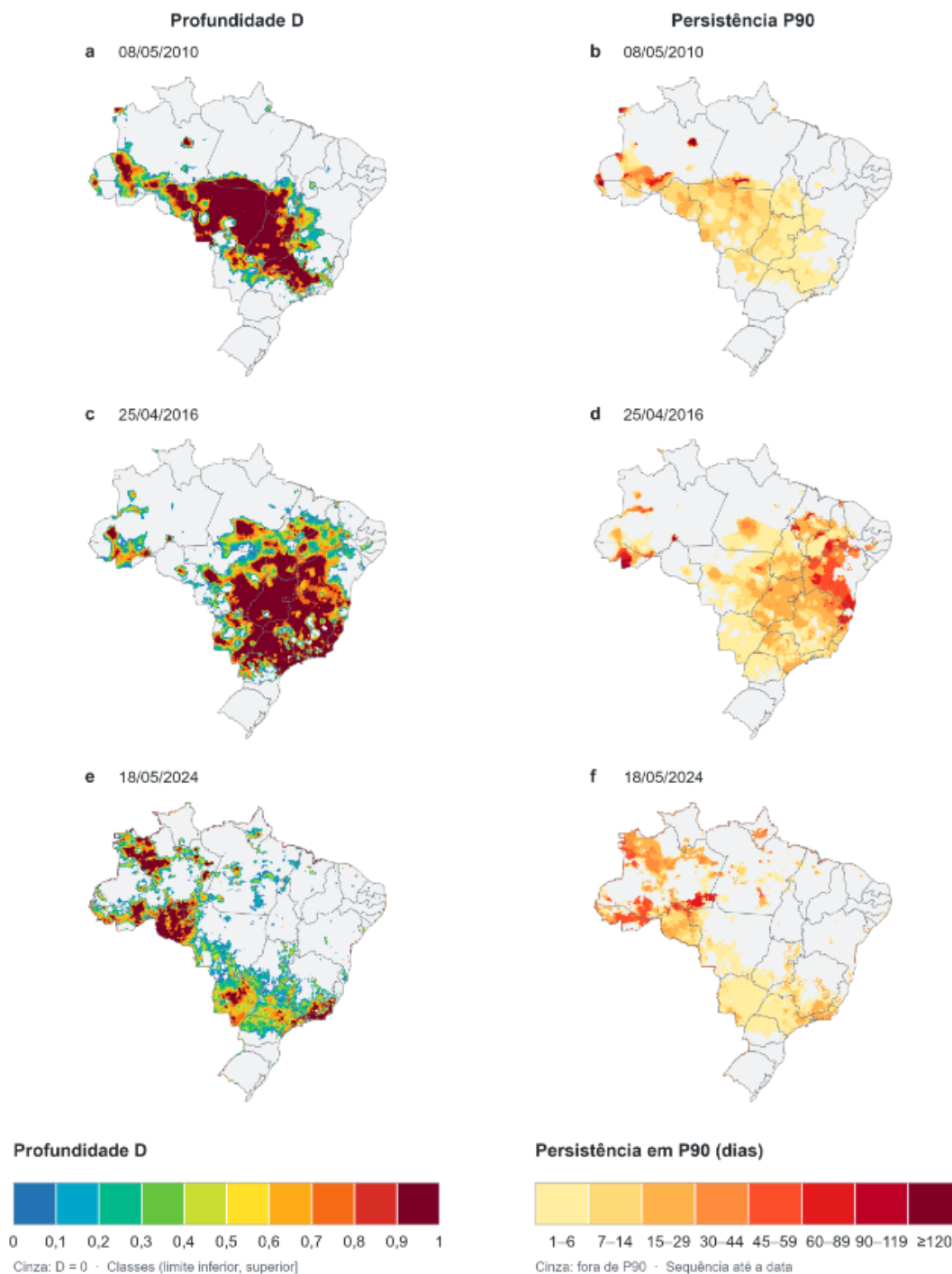
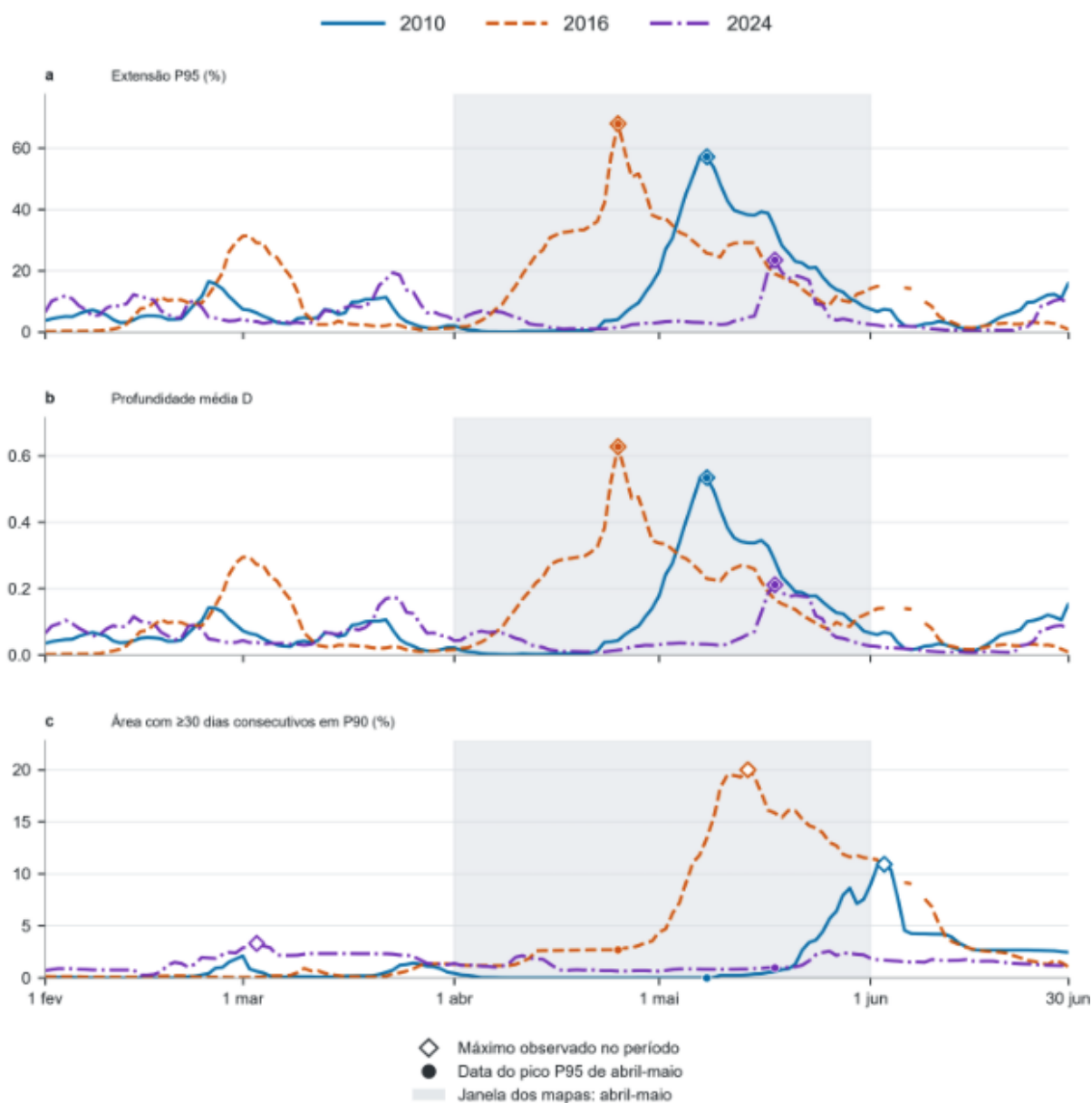


Figura 5. Distribuição espacial da profundidade e da persistência da seca nas mesmas datas apresentadas na Figura 4. A profundidade (D) é representada por um índice entre 0 e 1, com valores maiores indicando condições mais extremas. A persistência corresponde ao número de dias consecutivos sob condições de seca P90 até a data do mapa, incluindo dias anteriores a fevereiro. Nos mapas de profundidade, o cinza indica D = 0; nos de persistência, locais que não atendiam ao critério P90 na respectiva data.

Fonte: IRB(P&D).



Limites fixos de abril-maio - sem suavização - falhas de cobertura aparecem como lacunas

Figura 6. Evolução diária dos indicadores regionais de seca entre fevereiro e junho de 2010, 2016 e 2024, no conjunto de Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás, Paraná, São Paulo e Minas Gerais. Os valores são calculados sobre a área total desses seis estados, e não sobre todo o Brasil. O painel (a) apresenta a proporção da área sob condições de seca P95; o painel (b), a profundidade média ponderada pela área; e o painel (c), a proporção da área sob condições de seca P90 durante pelo menos 30 dias consecutivos. A faixa sombreada destaca abril e maio, período cujo histórico (1961–2024) define os limites aplicados a todos os meses; os círculos indicam as datas apresentadas nos mapas, e os losangos, o valor máximo de cada curva no período. Os indicadores consideram a área territorial dos seis estados, sem ponderação pela distribuição das lavouras de milho segunda safra.

Fonte: IRB(P&D).

4. Interpretação dos resultados e implicações para o risco agrícola

Os resultados evidenciam diferenças regionais na associação entre o ENSO e as anomalias de produtividade do milho segunda safra. No Centro-Oeste, as correlações de Spearman foram fracas, mas a comparação entre grupos de intensidade do ENSO revelou anomalias médias negativas nas safras classificadas como El Niño moderado ou mais intenso. Esse comportamento sugere que a relação pode não ser uniforme entre as diferentes intensidades do fenômeno. Enquanto as safras associadas a El Niño moderado e forte não apresentaram reduções sistemáticas de produtividade, aquelas classificadas como El Niño muito forte registraram quebras expressivas em determinados estados, com destaque para 2016, a safra de maior perda no período analisado no Mato Grosso e Goiás. A concentração das perdas em poucos eventos ajuda a compreender por que as correlações são fracas, apesar das anomalias médias negativas observadas nesse grupo.

Esse padrão, entretanto, deve ser interpretado com cautela. A série histórica contém apenas dois eventos de El Niño muito forte, e as anomalias médias do grupo são fortemente influenciadas pelas perdas de 2016. O número reduzido de observações não permite determinar se as associações identificadas representam uma resposta sistemática ao ENSO ou resultam da combinação de outros fatores climáticos e agrícolas. Além disso, quebras severas também foram observadas em safras classificadas como La Niña, como em 2021, e em condições neutras ou de baixa intensidade do ENSO, como em 2005 e 2009, no Mato Grosso do Sul.

No oeste do Paraná, os resultados apresentam um padrão distinto, com correlações positivas entre o ONI e as anomalias de produtividade, estatisticamente significativas em diferentes meses. Esse comportamento é compatível com a influência climática conhecida do ENSO no Sul do Brasil, onde eventos de El Niño tendem a favorecer precipitações acima da média, enquanto episódios de La Niña estão frequentemente associados a condições mais secas (GRIMM; BARROS; DOYLE, 2000). A expressiva quebra de produtividade registrada em 2021, após o episódio de La Niña de 2020–2021, é coerente com esse padrão, embora a associação estatística não permita estabelecer uma relação causal direta. Esse comportamento também é compatível com resultados de estudos desenvolvidos no âmbito do IRB(P&D), que identificaram associações entre

episódios de La Niña e condições de seca na Bacia do Paraná, com diferenças regionais relevantes na resposta climática (IRB(P&D), 2026; LIMA et al., 2026).

A influência do ENSO sobre a precipitação no Centro-Oeste brasileiro apresenta considerável variabilidade espacial e temporal, podendo ser modulada por processos regionais associados ao sistema de monção sul-americano, que, em determinados períodos, podem prevalecer sobre as influências remotas do Pacífico (GRIMM, 2003; GRIMM; ZILLI, 2009). Outros modos de variabilidade climática, incluindo padrões de temperatura da superfície do Atlântico, e oscilações intrassazonais, como a Oscilação de Madden–Julian (MJO), também influenciam a circulação atmosférica e a distribuição das chuvas na América do Sul (BOMBARDI; CARVALHO, 2011; FERNANDES; GRIMM, 2023). Dessa forma, a intensidade do ENSO, isoladamente, não representa toda a complexidade dos mecanismos que condicionam a disponibilidade hídrica durante o ciclo agrícola, limitando sua utilização como indicador único do risco de perdas de produtividade. Estudos recentes desenvolvidos no âmbito do IRB(P&D) também evidenciam a heterogeneidade espacial e sazonal da previsibilidade da precipitação associada aos diferentes modos de variabilidade climática, reforçando as limitações de avaliações baseadas exclusivamente no ENSO (CRUZ et al., 2026a).

Os mecanismos responsáveis pelas associações observadas no Centro-Oeste não foram investigados diretamente neste estudo. Uma hipótese plausível é que alterações no início ou na regularidade da estação chuvosa influenciem o calendário de semeadura da soja e, conseqüentemente, o estabelecimento do milho segunda safra. Eventuais atrasos podem deslocar o desenvolvimento da cultura para períodos de menor disponibilidade hídrica, aumentando sua exposição ao déficit de precipitação durante fases críticas, especialmente em abril e maio. A avaliação dessa hipótese exigiria análises complementares de precipitação e calendário agrícola, incluindo informações sobre o início da estação chuvosa e o progresso da semeadura da soja e do milho.

A escala espacial da análise também influencia a interpretação dos resultados. As anomalias municipais apresentam maior dispersão do que as estaduais (Figura 3). Em 2016, por exemplo, a anomalia de produtividade em Goiás foi de -43%, enquanto, nos cinco municípios analisados, variou entre -36% e -56%. Dessa forma, os valores agregados

estaduais podem não representar adequadamente a severidade das perdas em determinadas localidades, aspecto particularmente relevante para a avaliação de exposições e riscos associados a apólices individuais. Essa diferença entre escalas relaciona-se ao risco de base, isto é, à divergência entre as perdas efetivamente sofridas pelos produtores e as indicadas por índices agregados. Esse tema foi investigado em estudo desenvolvido em parceria entre a University of Southern Denmark (SDU) e o IRB(P&D) sobre o desenho de seguros de milho baseados em índices no Paraná, considerando separadamente a primeira e a segunda safra (MAZVIONA et al., 2027).

A caracterização exploratória das condições de seca em 2010, 2016 e 2024 fornece elementos adicionais para interpretar as diferenças nas anomalias de produtividade observadas entre os eventos de El Niño intenso. Em 2016, safra de maior perda no período no Mato Grosso e Goiás, a seca foi simultaneamente a mais extensa, a mais intensa e a mais persistente entre os três anos analisados. Em 2010, apesar da grande extensão, as condições secas foram menos duradouras, e a perda relevante restringiu-se ao Mato Grosso (-14%). Em 2024, a seca foi menos abrangente e mais fragmentada no conjunto dos seis estados, mas atingiu setores do Mato Grosso do Sul, estado que registrou anomalia de -37%. Embora essa comparação não constitua uma avaliação estatística da relação entre seca e produtividade, esses resultados reforçam a relevância da distribuição espacial, da intensidade e da persistência das condições de seca, bem como de sua coincidência com as fases críticas do desenvolvimento agrícola.

Sob a perspectiva dos seguros e resseguros agrícolas, os resultados sugerem atenção especial à possibilidade de quebras severas e simultâneas de produtividade no Centro-Oeste durante eventos de El Niño muito forte. Em 2016, Mato Grosso, Goiás e Mato Grosso do Sul apresentaram perdas expressivas no mesmo ano, evidenciando o potencial de ocorrência de choques agrícolas regionalmente correlacionados. Esse comportamento pode comprometer os benefícios da diversificação geográfica e contribuir para a acumulação de perdas em carteiras com exposição concentrada nessas regiões. No Paraná, as maiores quebras observadas estiveram associadas a episódios de La Niña moderada ou mais intensa. Entretanto, o número reduzido de eventos comparáveis não permite quantificar com precisão a probabilidade ou a magnitude das perdas associadas a cada condição do ENSO. Nesse contexto, abordagens capazes de identificar

dependências estatísticas não lineares entre modos de variabilidade climática e precipitação também constituem uma linha de investigação em desenvolvimento no âmbito do P&D (CRUZ et al., 2026b).

Entretanto, a interpretação dos resultados está sujeita a limitações metodológicas e à disponibilidade dos dados. A série compreende apenas 23 safras, com duas ocorrências de El Niño muito forte, restringindo a representatividade estatística dos eventos extremos. Além disso, a classificação adotada é operacional e difere dos critérios históricos de identificação de episódios de ENSO pela NOAA. A estimativa das tendências de produtividade também envolve incertezas associadas às escolhas de suavização e à menor estabilidade dos ajustes nas extremidades das séries, especialmente em 2003 e 2025. Adicionalmente, as observações municipais de um mesmo ano não são estatisticamente independentes, pois compartilham parte das condições climáticas regionais. Por fim, valores atípicos presentes nos dados da Produção Agrícola Municipal (PAM), como a anomalia positiva de 108% registrada em Cristalina em 2012, demandam verificação, uma vez que podem influenciar determinadas estatísticas e a interpretação dos resultados.

5. Conclusão

As análises não identificaram correlações fortes entre o ONI e as anomalias de produtividade do milho segunda safra nos principais estados produtores do Centro-Oeste. Entretanto, as duas safras associadas a eventos de El Niño muito forte (2016 e 2024) apresentaram quebras expressivas em pelo menos um desses estados, sendo 2016 a safra de maior perda no período analisado no Mato Grosso e Goiás. No oeste do Paraná, foram identificadas associações positivas entre o ONI e as anomalias de produtividade, com perdas mais expressivas nas safras classificadas como La Niña moderada ou mais intensa. Embora esses resultados sugiram padrões regionais distintos de exposição ao risco climático, o número reduzido de eventos comparáveis limita a identificação de relações sistemáticas e a quantificação da magnitude das perdas potenciais.

A caracterização exploratória das secas de 2010, 2016 e 2024 também revelou diferenças relevantes na extensão, profundidade e persistência das condições secas, com destaque para 2016, quando a seca foi, ao mesmo tempo, a mais extensa, a mais intensa e

a mais duradoura entre os três anos. Esses resultados reforçam a importância de incorporar indicadores meteorológicos ao acompanhamento do ENSO, especialmente para avaliar a evolução temporal e a distribuição espacial das condições potencialmente adversas à produção agrícola.

Diante das previsões climáticas de outubro de 2026, que indicam elevada probabilidade de persistência de condições de El Niño forte ou muito forte até o início de 2027, os resultados reforçam a importância de uma avaliação preventiva do risco de quebras severas e simultâneas de produtividade no Centro-Oeste. Para o setor de seguros e resseguros agrícolas, esse cenário recomenda atenção à concentração geográfica das exposições e ao potencial de acumulação de perdas. Entretanto, a intensidade do ENSO, isoladamente, não permite antecipar a ocorrência ou a severidade das quebras de produtividade. Assim, o acompanhamento das condições de precipitação, do calendário agrícola e da disponibilidade hídrica durante o desenvolvimento do milho segunda safra será fundamental para complementar a avaliação dos riscos associados à safra de 2027.

Referências

BARNSTON, A. G.; CHELLIAH, M.; GOLDENBERG, S. B. Documentation of a highly ENSO-related SST region in the equatorial Pacific: research note. *Atmosphere-Ocean*, v. 35, n. 3, p. 367–383, 1997. DOI: <https://doi.org/10.1080/07055900.1997.9649597>.

BOMBARDI, R. J.; CARVALHO, L. M. V. The South Atlantic dipole and variations in the characteristics of the South American Monsoon in the WCRP-CMIP3 multi-model simulations. *Climate Dynamics*, v. 36, n. 11–12, p. 2091–2102, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00382-010-0836-9>.

CLEVELAND, W. S. Robust locally weighted regression and smoothing scatterplots. *Journal of the American Statistical Association*, v. 74, n. 368, p. 829–836, 1979. DOI: <https://doi.org/10.1080/01621459.1979.10481038>.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). Acompanhamento da safra brasileira de grãos: safra 2024/25. Brasília, DF: Conab, v. 12, n. 11, ago. 2025. Décimo primeiro levantamento. Disponível em: <https://www.gov.br/conab/pt->

br/atuacao/informacoes-agropecuarias/safras/safra-de-graos/boletim-da-safra-de-graos/11o-levantamento-safra-2024-25/e-book_boletim-de-safras-11o-levantamento-2025.pdf/@@download/file. Acesso em: 13 out. 2026.

CRAVEN, P.; WAHBA, G. Smoothing noisy data with spline functions: estimating the correct degree of smoothing by the method of generalized cross-validation. *Numerische Mathematik*, v. 31, n. 4, p. 377–403, 1979. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF01404567>.

CRUZ, M. et al. Modes of Climate Variability affecting precipitation anomalies in Central-South Brazil. *Manuscrito submetido ao International Journal of Climatology*, 2026a.

CRUZ, M. et al. Modes of Climate Variability: PREDEP. *Manuscrito em elaboração*, 2026b.

FERNANDES, L. G.; GRIMM, A. M. ENSO modulation of global MJO and its impacts on South America. *Journal of Climate*, v. 36, n. 22, p. 7715–7738, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-22-0781.1>.

GRIMM, A. M. The El Niño impact on the summer monsoon in Brazil: regional processes versus remote influences. *Journal of Climate*, v. 16, n. 2, p. 263–280, 2003. DOI: [10.1175/1520-0442\(2003\)016<0263>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2003)016<0263>2.0.CO;2).

GRIMM, A. M.; BARROS, V. R.; DOYLE, M. E. Climate variability in southern South America associated with El Niño and La Niña events. *Journal of Climate*, v. 13, n. 1, p. 35–58, 2000. DOI: [10.1175/1520-0442\(2000\)013<0035>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2000)013<0035>2.0.CO;2).

GRIMM, A. M.; ZILLI, M. T. Interannual variability and seasonal evolution of summer monsoon rainfall in South America. *Journal of Climate*, v. 22, n. 9, p. 2257–2275, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1175/2008JCLI2345.1>.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Produção Agrícola Municipal (PAM): tabelas. Rio de Janeiro: IBGE, [s. d.]. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>. Acesso em: 13 out. 2026.

IRB(P&D). Impacto do El Niño–Oscilação Sul na ocorrência de secas na Bacia do Paraná. Nota técnica. 2026.

LIMA, L. et al. Weather Types Related to Drought Conditions in the Paraná Basin. Manuscrito em elaboração, 2026.

MAZVIONA, B.; SØLVSTEN, S.; MARQUES, R.; PIAZZAROLO, C. C. Seasonal index-based corn insurance design for Brazil: insights from Safra and Safrinha. Land Use Policy, v. 172, 108359, 2027. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2026.108359>.

NOAA CPC. Cold & warm episodes by season (ERSSTv6): Oceanic Niño Index (ONI). College Park, MD: Climate Prediction Center, [s. d.]. Disponível em: https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/enso/oni/v6/. Acesso em: 13 out. 2026.

NOAA CPC. ENSO diagnostic discussion. College Park, MD: Climate Prediction Center, 8 out. 2026. Disponível em: https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/enso_disc_oct2026/ensodisc.shtml. Acesso em: 13 out. 2026.

TORRES, F. L. R. et al. Refining seasonal precipitation forecast in Brazil using simple data-driven techniques and climate indices. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 39, e39240052, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1590/0102-77863910052>.

VICENTE-SERRANO, S. M.; BEGUERÍA, S.; LÓPEZ-MORENO, J. I. A multiscalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index. Journal of Climate, v. 23, n. 7, p. 1696–1718, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1175/2009JCLI2909.1>

IRB(P&D)