

## NOTA TÉCNICA

### NOTA TÉCNICA Nº 679/2024/SEI-CEMADEN

Nº do Processo: **01242.000441/2024-15**  
Documento de  
Referência:  
Interessado: **Departamento de Combate à Desertificação (DCDE)  
do Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima (MMA)**  
Nº de Referência:  
Assunto: **Análise das Secas no Brasil: Diagnóstico e Projeções Futuras**

---

### **Análise das Secas no Brasil: Diagnóstico e Projeções Futuras**

#### **Sumário executivo:**

Desde 2013, o CEMADEN/MCTI possui um grupo de pesquisadores multidisciplinar dedicado exclusivamente ao monitoramento e pesquisa sobre secas no Brasil, utilizando uma variedade de ferramentas e dados para analisar a evolução, os impactos e projeções desses fenômenos, com o objetivo de fornecer subsídios para a gestão de recursos hídricos e a tomada de decisões em diferentes setores.

No presente documento, apresenta-se a avaliação da criticidade da seca em todo o território brasileiro, considerando dados históricos e a situação atual, conforme avaliada no âmbito do monitoramento de secas do CEMADEN/MCTI.

- A seca é uma ameaça natural generalizada, com potencial para impactar profundamente tanto os ecossistemas quanto as sociedades humanas em escala global.
- A partir da década de 1990, as secas no Brasil tornaram-se mais frequentes e intensas, refletindo mudanças significativas nos padrões climáticos regionais e globais.
- O Brasil tem enfrentado eventos de secas de grande magnitude desde o início do Século XXI, o que têm causado impactos significativos em diversos biomas, incluindo a Amazônia, o Pantanal, o Cerrado e a Caatinga. Esses eventos extremos não apenas afetam a biodiversidade desses ecossistemas, mas também comprometem as condições de vida das populações humanas.

- As causas da seca resultam de uma combinação de fatores, incluindo a variabilidade climática natural e a mudança climática de origem antropogênica, que operam em diferentes escalas espaciais e temporais. Esses fatores provocam alterações no regime de precipitação e contribuem para o aumento das temperaturas médias, intensificando o déficit hídrico em diversas regiões.
- A intensificação das secas têm provocado crises hídricas de grande magnitude, com impactos abrangentes sobre a segurança energética, alimentar e hídrica em diversas regiões do Brasil. No século XXI, eventos de secas históricas foram registrados em diferentes períodos e áreas, entre os episódios mais severos destacam-se os ocorridos no Nordeste entre 2012-2017, no Sudeste em 2014-2015, 2017-2018, no Pantanal, 2019-2021 e 2023-2024, na Amazônia em 2005, 2010, 2015-16, 2023-24, e no sul do Brasil entre 2020-2023.
- Os níveis hidrométricos dos rios na Amazônia e no Pantanal atingiram valores excepcionalmente baixos durante os períodos das secas de 2019-2021 e 2023-2024. Em alguns trechos desses rios, o transporte fluvial teve que ser restringido. Essa redução nos níveis hídricos teve impactos significativos na mobilidade das populações locais, isolando comunidades indígenas em áreas remotas da Amazônia. No Rio Paraguai comprometeu a navegação comercial, dificultando o escoamento de produtos estratégicos, como soja e minerais, pela Hidrovia-Paraná-Paraguai até o Oceano Atlântico.
- A ocorrência conjunta de secas extremas e ondas de calor - conhecidos como eventos compostos criou condições meteorológicas ideais para a propagação de incêndios de grandes dimensões. Essas condições foram observadas no Pantanal e na Amazônia em 2020 e, novamente, durante o período de 2023-2024.

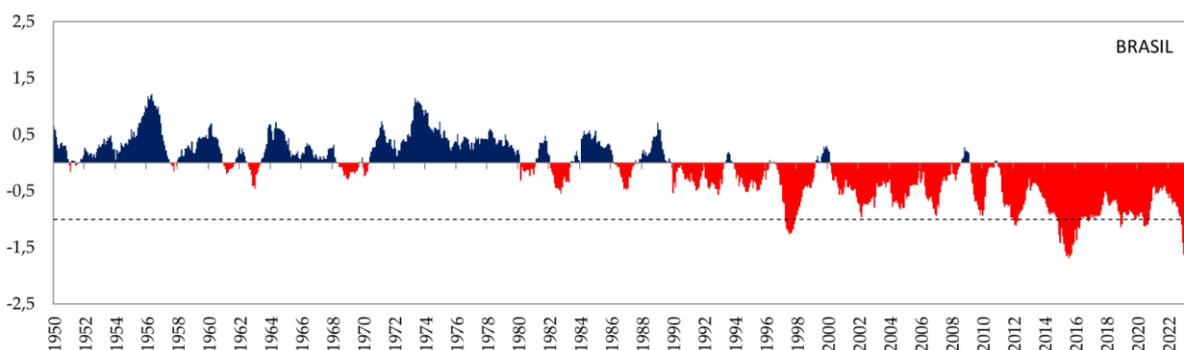
## 1. Introdução

A seca é um fenômeno extremo climático originado pelo déficit prolongado de precipitação, que resulta na baixa disponibilidade hídrica para as diferentes atividades humanas (Wilhite & Glantz, 1987). A seca é uma ameaça na medida em que ocorre de forma intensiva e extensiva em áreas densamente povoadas, podendo resultar em desastres quando as capacidades locais são insuficientes para evitar danos significativos (Cunha et. al. 2018, 2019). É importante ressaltar que os efeitos da seca se acumulam lentamente ao longo do tempo, podendo perdurar por meses ou anos após as chuvas retornarem aos seus valores médios. normalizado os padrões de precipitação. Sendo assim, dependendo da intensidade, extensão espacial e frequência das secas, estas podem causar graves implicações para diferentes setores produtivos no país.

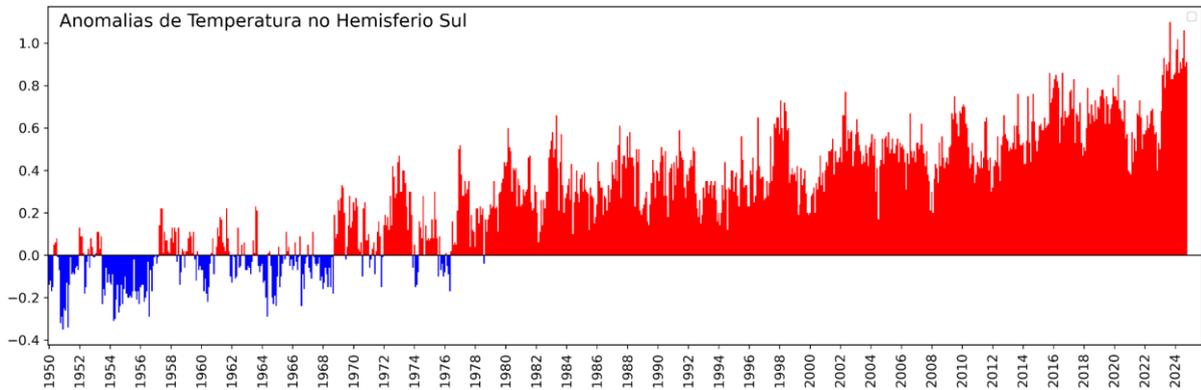
A série temporal do índice de seca, denominado SPEI (Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (Vicente-Serrano et al.,2010), mostra que a partir da década

de 90, as secas no Brasil se tornaram mais frequentes e intensas (valores mais negativos e consecutivos de SPEI). O SPEI é um índice que leva em consideração tanto a precipitação quanto a evapotranspiração potencial (estimada com base na temperatura do ar), proporcionando uma medida integrada da disponibilidade hídrica e das condições climáticas de uma região, sendo uma forma simples de contabilizar os desvios do balanço hídrico de uma determinada região. Conforme os dados (Figura A), o país enfrentou três grandes secas (picos negativos e consecutivos de SPEI, abaixo de -1,0): a primeira entre 1997 e 1998, a segunda entre 2015 e 2016, e a última em 2023 e 2024. Vale ressaltar que a seca de 2015-2016 superou a de 1997-1998, mas a atual (2023-2024), mesmo com dados parciais (até outubro), já apresenta valores de SPEI mais negativos, indicando ser a mais intensa e extensa da série histórica. Isto é devido não somente ao déficit de chuvas, mas também ao aumento das temperaturas, com recordes registrados desde 2023 (Figura B). De acordo com os dados, essa seca mais recente, já tem uma duração de pelo menos 12 meses em grande parte do país, conforme será mostrado mais adiante.

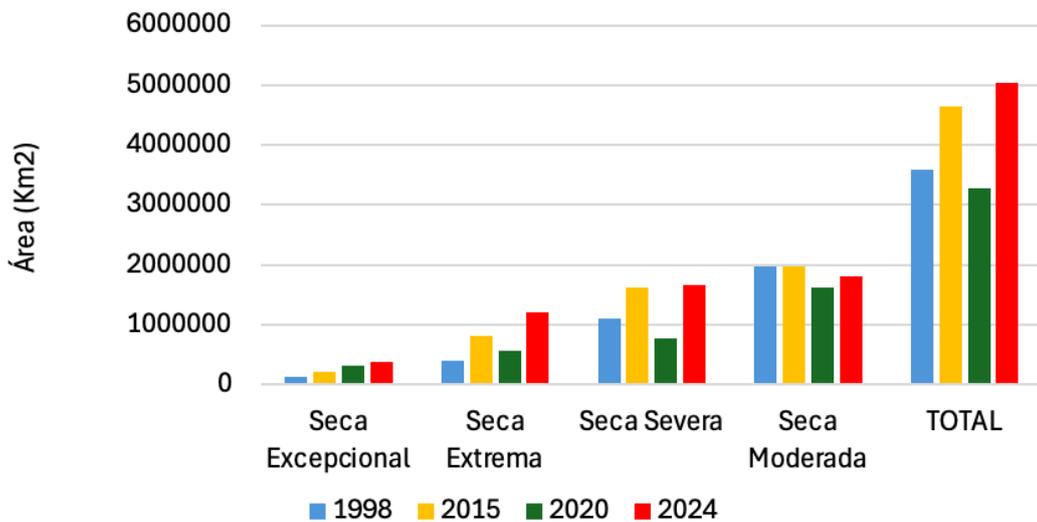
De acordo com os dados do Índice Integrado de Seca - IIS (Cunha et al., 2019, Zeri et al., 2024), índice operacional para o monitoramento de secas no Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais - CEMADEN/MCTI, em termos de extensão, a seca de 2023-2024 lidera, abrangendo cerca de 5 milhões de km<sup>2</sup>, o que corresponde a aproximadamente 59% do território brasileiro (Figura C). Em segundo lugar, a seca de 2015-2016 afetou cerca de 4,6 milhões de km<sup>2</sup> (aproximadamente 54% do país). Já a seca de 1997-1998 atingiu cerca de 3,6 milhões de km<sup>2</sup>, o equivalente a 42% do território nacional (CEMADEN).



**Figura A.** Evolução temporal das secas no Brasil considerando o Índice Padronizado de Precipitação e Evapotranspiração (SPEI) de dezembro de 1951 a outubro de 2024. As barras em azul indicam anos em que a precipitação foi maior do que a evapotranspiração (balanço hídrico positivo), indicando períodos mais úmidos, com maior disponibilidade de água, ao passo que as barras vermelhas indicam anos em que a evapotranspiração foi maior que a precipitação (balanço hídrico negativo), resultando em condições mais secas, com menor disponibilidade de água. (Fonte dos dados de SPEI: Vicente-Serrano et al., 2010, pós-processamento e análises: CEMADEN/MCTI ).



**Figura B.** Evolução temporal das anomalias de temperatura da superfície do hemisfério Sul de janeiro de 1950 a outubro de 2024. As barras em azul indicam anos em que a temperatura foi menor que a média do período 1901-2000, e as barras vermelhas indicam anos em que a temperatura esteve acima do valor médio. (Fonte dos dados: NOAA, e gráfico: CEMADEN/MCTI).



**Figura C.** Comparação das áreas afetadas por diferentes intensidades de secas no Brasil em 1998, 2015, 2020 e 2024. (Fonte: CEMADEN/MCTI).

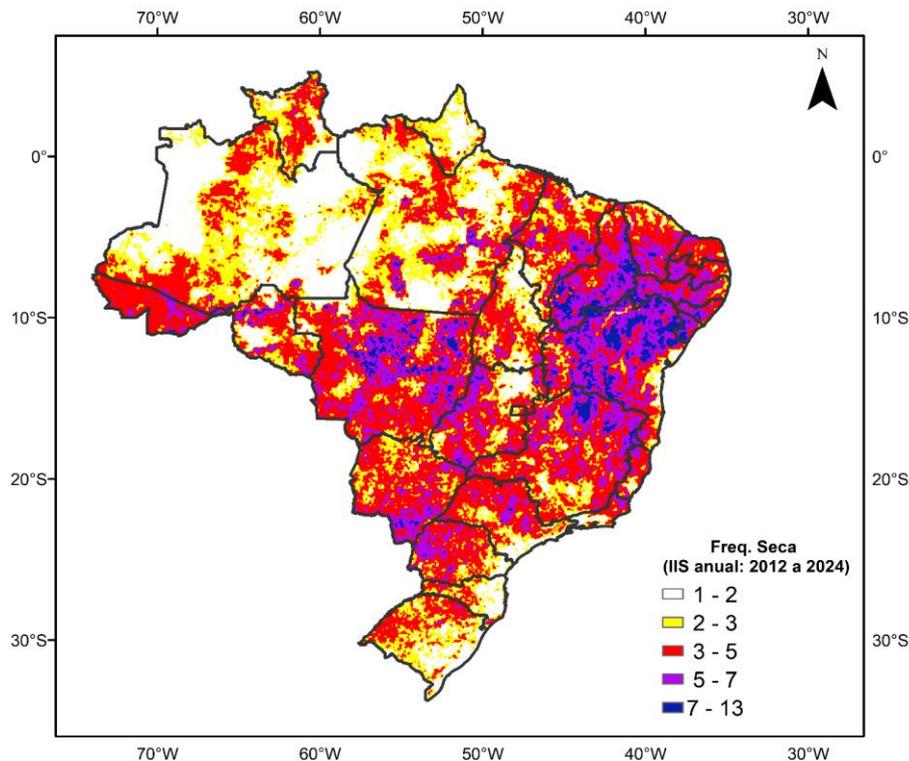
## 2. Secas no Brasil: Análise Temporal (1982-2024) com Ênfase no Período Crítico de 2012-2024

Particularmente no Brasil, as secas são generalizadas e recorrentes na região semiárida, que possui a maior proporção de pessoas vivendo na pobreza no país. Entre os anos de 2012 e 2017, a região semiárida foi intensamente impactada por um processo prolongado de seca, já definido como o “evento” mais intenso dos últimos 30 anos (Brito et al., 2017; Cunha et al., 2018). Considerando os impactos acumulados entre 2012 e 2016, cerca de 1.100 municípios foram afetados (33,4 milhões de pessoas atingidas por ano), especialmente com relação ao abastecimento

de água e às perdas dos sistemas agroprodutivos, com impactos estimados em aproximadamente R\$ 104 bilhões (Marengo et al., 2017). De acordo com Marengo et al., (2017), essa seca plurianual de 2012 a 2017 apresentou uma intensidade e impacto não vistos em várias décadas na economia e na sociedade regional.

Dados do CEMADEN ([www.cemaden.gov.br](http://www.cemaden.gov.br)) mostram que em 2024 mais da metade do Brasil sofreu os impactos diretos da crise climática, onde os biomas Amazônia, Cerrado e Pantanal estão enfrentando a pior seca dos últimos 70 anos. Até setembro de 2024, aproximadamente 1200 municípios no Brasil enfrentaram condições de seca severa. Já em situação de seca extrema, foram 263 municípios brasileiros. O déficit de chuvas observado desde a primavera de 2023 em uma área tão extensa do Brasil (abrangendo as regiões do norte ao sudeste do país), e a ocorrência de altas temperaturas, ondas de calor e baixa umidade relativa do ar, chegando a registrar valores próximos de 7% em parte da região Centro-Oeste, impulsionou o alastramento das queimadas.

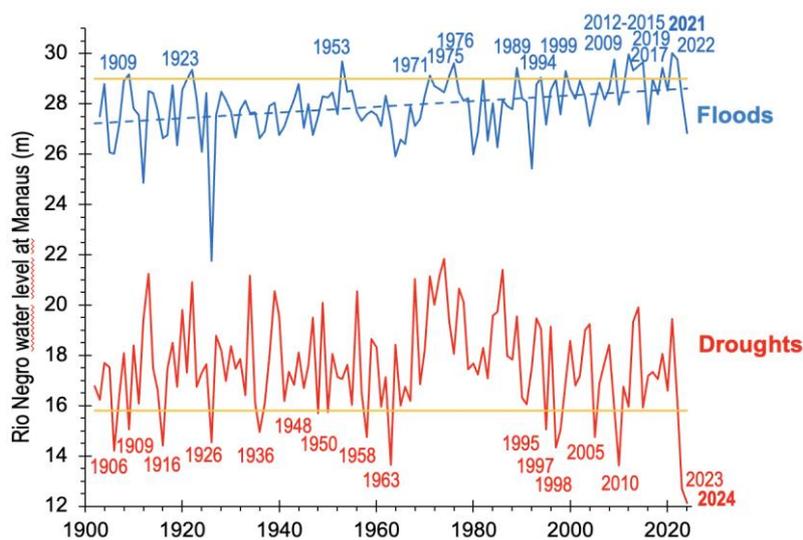
Embora historicamente as secas sejam mais recorrentes na região semiárida (Figura D), nos últimos anos, as secas têm sido bastante severas, causando impactos em diferentes regiões do Brasil. Como por exemplo, as secas que têm afetado a Amazônia nos últimos anos. Apenas no século 21, estas aconteceram em 2005, 2010, 2015-16 e 2023-24 que foram anos de El Niño (Marengo et al 2013, 2018, 2024; Jiménez-Muñoz et al., 2016). Durante anos de seca na Amazônia, os níveis dos rios caem drasticamente, provocando alta mortalidade de peixes, especialmente, se combinados com ondas de calor, como aconteceu em 2023 (Marengo et al 2024, Fleishmann et al 2024). Tal condição contribui para impactos na navegação fluvial, o que causa o isolamento das comunidades locais ribeirinhas, que utilizam os rios e afluentes como forma de locomoção (Marengo et al. 2024).



**Figura D.** Mapa de frequência anual de secas severas (ou categoria superior) em todo o Brasil considerando dados do Índice Integrado de Secas (IIS) para o período de 2012 a outubro de 2024 (Fonte: CEMADEN-MCTI).

No ano de 2023, de acordo com os dados do Boletim de Monitoramento de Secas do CEMADEN/MCTI, a seca na região Amazônica teve um início gradual e silencioso a partir do mês de maio. Nos meses subsequentes, os impactos começaram a ser amplamente reportados, com destaque para os níveis extremamente baixos dos rios ([Monitoramento de Seca para o Brasil — Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais - Cemaden/MCTI \(www.gov.br\)](#)). A estação chuvosa na Amazônia, que normalmente se estende de setembro a março, foi marcada por precipitações abaixo da média e temperaturas elevadas, o que determinou a continuidade da seca (déficit hídrico) até outubro de 2024 (Marengo et al 2024). A continuidade e severidade da seca estão, em parte, associadas ao impacto persistente do El Niño, um padrão climático que esteve presente durante o segundo semestre de 2023 e no primeiro semestre de 2024. Esse fenômeno, amplamente reconhecido por sua capacidade de modificar os padrões atmosféricos e reduzir a convergência de umidade sobre a Amazônia, intensificou a escassez de chuvas e o aumento das temperaturas, contribuindo para os impactos extremos nos recursos hídricos registrados na região.

Conforme informações das autoridades do Porto de Manaus, o nível do rio Negro, na estação fluviométrica de Manaus, atingiu 12,11 m em 10 de outubro de 2024 (Figura E), estabelecendo o menor valor já registrado desde o início das observações sistemáticas em 1902. Os níveis mínimos recordes anteriores no rio Negro foram observados em anos de seca prolongada: 12,70 m em 2023 e 13,63 m em 2010. Além disso, outros principais rios da Amazônia, como o Solimões, Madeira, Acre e Araguaia, também experimentaram quedas drásticas em seus níveis em várias áreas, com alguns trechos chegando a secar completamente. O nível do rio Madeira em Porto Velho, Brasil, atingiu 41 cm em 14 de setembro de 2024, o menor valor registrado desde 1967. O rio Solimões, em Tabatinga, atingiu -1,7 m na mesma data, estabelecendo o nível mais baixo desde 1983, enquanto o rio Amazonas registrou 1,17 m em 15 de setembro, o valor mais baixo desde 1967 (SGB, 2024). A queda acentuada nos níveis dos rios resultou no isolamento de algumas comunidades indígenas rurais, que dependem da chuva e da água do rio para sobreviver, especialmente para alimentação, água potável e navegação. Os baixos níveis dos rios também comprometeram a mobilidade dessas populações, dificultando o transporte de produtos para os mercados, o que impactou a capacidade de comercialização das colheitas. (<https://www.copernicus.eu/en/media/image-day-gallery/drought-amazon-river>) .



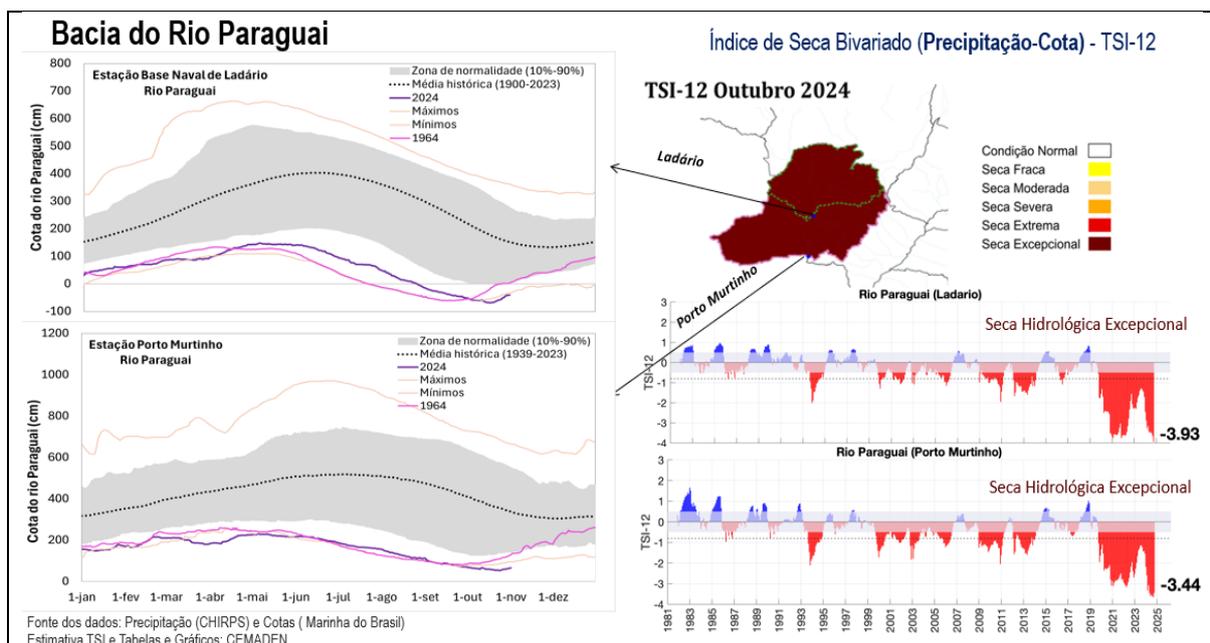
**Figura E.** Níveis máximos (linhas azuis) e mínimos (linhas vermelhas) do Rio Negro no Porto de Manaus, 1902 a novembro de 2024. Os números azuis e vermelhos indicam enchentes e secas recordes, respectivamente. As linhas laranjas representam os limiares mais alto (29,0 m) e mais baixo (15,8 m) para definir cheias e secas, respectivamente. Os valores estão em metros. (Fonte: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPA).

Cada evento de seca apresenta um padrão distinto em termos de causas físicas e de distribuição geográfica de déficit de precipitação (Cunha et al., 2023). De modo geral, durante anos de secas severas na Amazônia, como o ocorrido em 2023, por exemplo, observa-se uma queda acentuada nos níveis dos rios, o que resulta em elevados índices de mortalidade de peixes, especialmente quando combinados com temperaturas extremas. Além disso, a redução dos níveis dos rios afeta significativamente a navegação fluvial, o que, por consequência, provoca o isolamento das comunidades locais, que dependem dos rios e seus afluentes para locomoção e acesso a serviços essenciais (Marengo, et al 2008; 2024; Borma et al., 2013; Tomasella et al., 2013).

A região do Pantanal tem experimentado secas severas e prolongadas desde 2019, com os anos de 2019-2022 marcados por eventos climáticos extremos, incluindo três episódios consecutivos de El Niño (Marengo et al., 2021; Leal Filho et al., 2021; Libonati et al., 2021, 2022; Cunha et al., 2023; Geirinhas et al., 2023), e atualmente, em 2023-2024, a região enfrenta outro evento crítico de seca. Esses eventos têm provocado um desastre ambiental de grandes proporções para a região, e os incêndios subsequentes consumiram centenas de milhares de hectares de vegetação ([Libonati et al., 2022a](#)). A seca prolongada desde 2019 afetou severamente a hidrologia do Pantanal, comprometendo os ciclos sazonais de inundação e de vazante que são essenciais para a manutenção da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos. A escassez de chuvas, particularmente durante os verões de 2019 e 2020, foi atribuída a alterações nos padrões atmosféricos, com destaque para a redução do transporte do ar quente e úmido do verão da Amazônia para o Pantanal (Marengo et al., 2021). Esta seca teve graves impactos na hidrologia do Pantanal. Os níveis hidrométricos, ao longo de todo o rio Paraguai, caíram substancialmente. Em 2021, os níveis dos rios atingiram valores extremamente baixos e, em alguns trechos do rio, o transporte fluvial teve que ser restringido. Até 2023, a seca atingiu níveis comparáveis aos menores já registrados, em 1964. No entanto, em 2024, os dados observados indicam uma situação ainda mais crítica, com valores inferiores aos de 1964. Esses dados indicam que a seca que afeta o Pantanal teve início em 2019, e sua persistência sublinha a gravidade da situação hidrológica. Os níveis excepcionalmente baixos dos rios afetaram a mobilidade de pessoas e dificultaram o transporte de commodities, como de soja e minerais para o Oceano Atlântico por meio da Hidrovia Paraná-Paraguai (Marengo et al 2021). A precipitação abaixo da média, as altas temperaturas, somado aos níveis críticos dos rios, indicam uma situação de escassez hídrica extrema e crescente vulnerabilidade ambiental. Esta combinação de fatores cria um ambiente propício à propagação de incêndios florestais no Pantanal, que já têm sido uma preocupação recorrente no Pantanal durante os períodos de seca. Além disso, a escassez dos recursos hídricos agrava os desafios relacionados ao abastecimento de água, à agricultura e à pecuária, e compromete o funcionamento

de serviços ecossistêmicos vitais, como a regulação do clima e a manutenção da biodiversidade.

No dia 18 de outubro de 2024 o rio Paraguai atingiu o menor nível histórico registrado na estação fluviométrica de Ladário, -69 centímetros, e representa uma marca histórica, ultrapassando o recorde mínimo anterior de -62 cm, registrado em 1964, estabelecendo o pior valor observado desde o início do monitoramento em 1990, como evidenciado na Figura F. A situação crítica no rio Paraguai não se limitou à região de Ladário. À jusante, na estação fluviométrica de Porto Murtinho, outro recorde mínimo foi registrado em 2024, com o nível do rio atingindo apenas 53 cm em 24 de outubro (Figura F). Diante dessa situação crítica, o Instituto de Meio Ambiente de Mato Grosso do Sul (Imasul) emitiu um alerta, destacando os riscos ambientais e operacionais associados a esse evento extremo. Segundo o Índice de Seca Bivariado Precipitação-Cota (TSI), índice operacional para o monitoramento de secas hidrológicas no CEMADEN/MCTI, revela uma condição de seca hidrológica extremamente crítica a partir de 2019 nas bacias afluentes às estações fluviométricas de Ladário e Porto Murtinho (Figura F). Essa seca é caracterizada, na maior parte desse período, por uma intensidade classificada como excepcional, refletindo um quadro persistente e agravado de estresse hídrico na região.



**Figura F.** À esquerda: Séries de cotas diárias mínimas, máximas e médias registradas nas estações fluviométricas de Ladário (1900-2023) e de Porto Murtinho (1939-2023), às margens do rio Paraguai, com destaque para os anos críticos de 1964 e 2024; À direita: Série temporal do Índice de Seca Bivariado Precipitação-Cota (TSI) referente a escala temporal de 12 meses, para as bacias afluentes às estações fluviométricas de Ladário e Porto Murtinho. (Fonte: CEMADEN/MCTI).

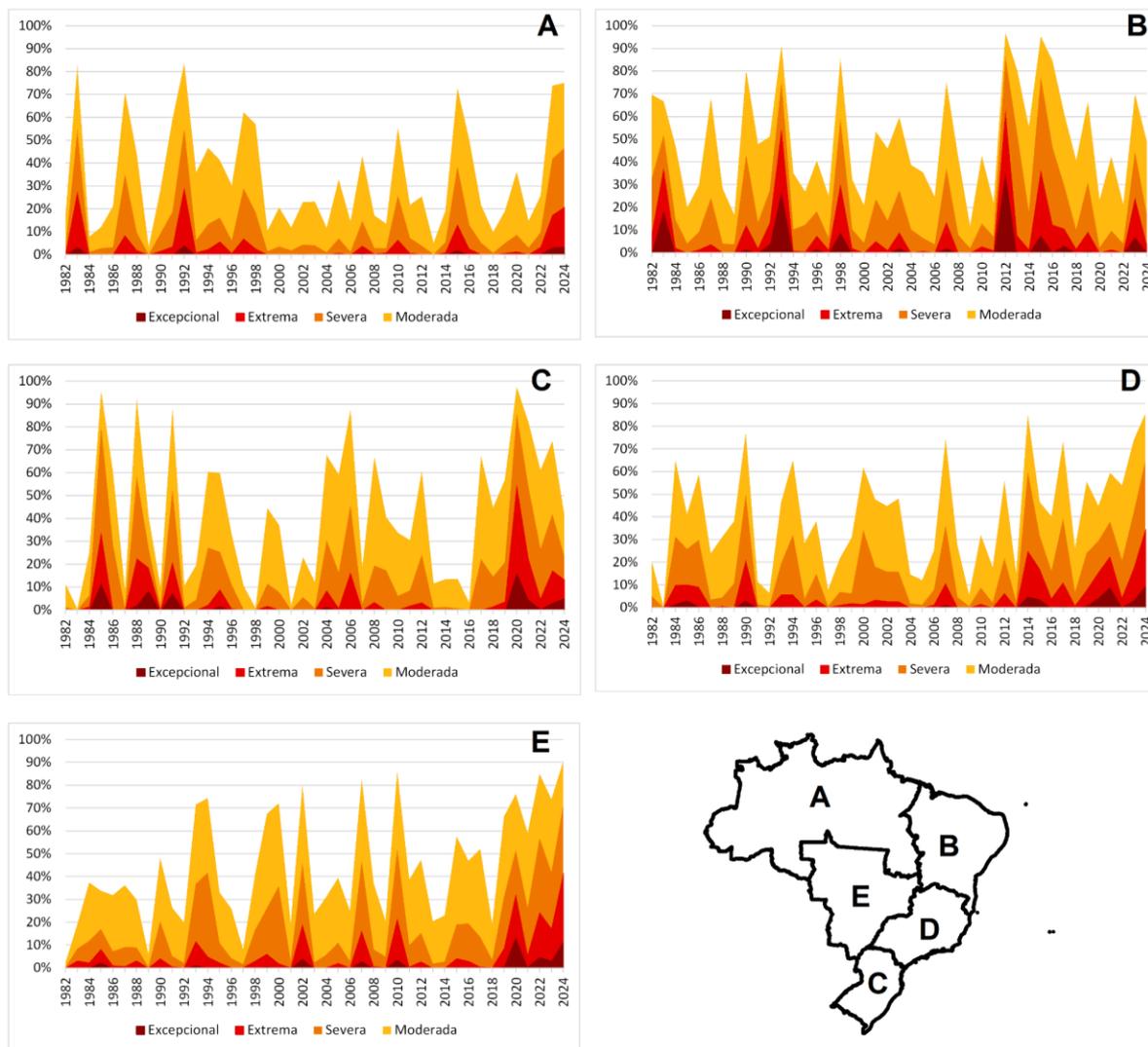
### 3. Áreas afetadas por secas entre 1982 e 2024

A Figura G apresenta a evolução da área em condição de seca para cada região do Brasil entre os anos de 1982 a 2024. Da Figura G.a, observa-se os picos de áreas afetadas por secas na região Norte, conforme já mencionado, relacionados em sua maior parte, com a ocorrência do fenômeno El Niño. A região amazônica foi afetada por secas extremas em 1982/83, 1997/98, 2010, 2015-16 e mais recentemente, a partir do segundo semestre de 2023 (Marengo, 2013; Jiménez-Muñoz et al., 2016, CEMADEN, 2023).

Da Figura G, também é possível observar que a região Centro-Sul do Brasil (SE, CO e S) foi aquela com maior área afetada por condições de secas nos últimos 4 anos (2020 a 2024). Em relação à região Centro-Oeste, as secas ocorridas entre os anos de 2019 a 2022, afetaram sobretudo a produção agrícola da região, assim como a biodiversidade e população do Pantanal.

A seca de 2014–2015 em São Paulo causou restrições hídricas em toda a região metropolitana de São Paulo (Figura G.d). A diminuição da precipitação tornou-se mais pronunciada e generalizada nos últimos anos, principalmente depois de 2014, quando a seca levou a uma crise hídrica na região metropolitana de São Paulo (Nobre et al., 2016, Deusdará et al., 2022 e Coelho et al., 2016).

Também entre os anos de 2019 a 2022, a região Sul do Brasil foi impactada por um evento severo e prolongado de déficit hídrico, que causou impactos no abastecimento urbano em grandes cidades como, por exemplo, Curitiba e, impactos na produção agrícola em grande parte da região. No evento de seca de 2019 a 2020, o primeiro trimestre de 2020 foi o mais crítico em termos de intensidade e expansão, uma vez que 100% dos municípios de toda a região foram classificados com condição de seca severa a excepcional (Fernandes et al., 2021 e CEMADEN-MCTI, 2024). O impacto deste evento de seca também pôde ser observado pela queda da vazão do reservatório da Usina Hidrelétrica de Itaipu.

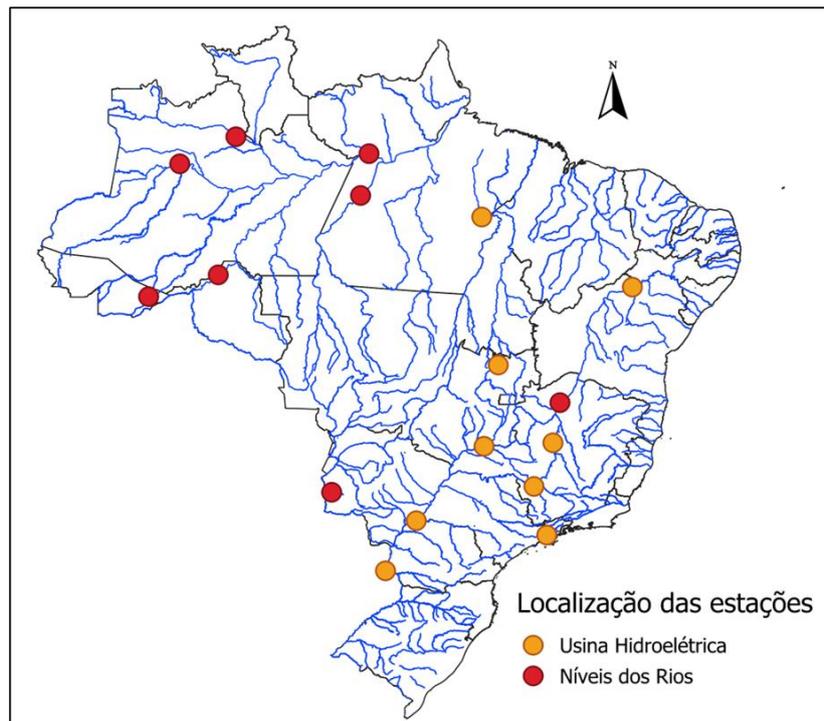


**Figura G.** Evolução temporal das áreas em condição de seca severa (ou categoria superior) em todo o Brasil considerando dados do Índice Integrado de Secas para o período de 1982 a 2024 (parcial) (Fonte: CEMADEN-MCTI).

Na região Nordeste, parte dos picos de áreas em condição de seca também ocorreu em anos de El Niño, no entanto, ressalta-se que a última grande seca na região (2012-2017), não teve o início relacionado ao evento, mas por outro lado, intensificada entre os anos de 2015 e 2016, em razão do El Niño. Outro destaque para a região Nordeste é que é a região em que aparece a maior recorrência e áreas com condição de seca excepcional (marrom escuro), cuja categoria é considerada a mais intensa (Figura G.b). **Embora as secas sejam cada vez mais recorrentes em todo o país, o semiárido nordestino, ainda concentra os eventos mais intensos (excepcionais) da história recente do Brasil.**

#### 4. Impactos dos eventos extremos de secas nos Recursos Hídricos nas últimas décadas

A Figura H apresenta a localização dos pontos de medição de dados históricos de níveis dos rios Acre, Solimões, Madeira, Negro, Amazonas, Tapajós, Paraguai e São Francisco, e históricos de vazões naturais para as bacias afluentes às Usinas Hidroelétricas (UHE) Serra da Mesa, Tucuruí, Três Marias, Sobradinho, Itumbiara, Furnas, Rosana, Itaipu e Paraibuna.

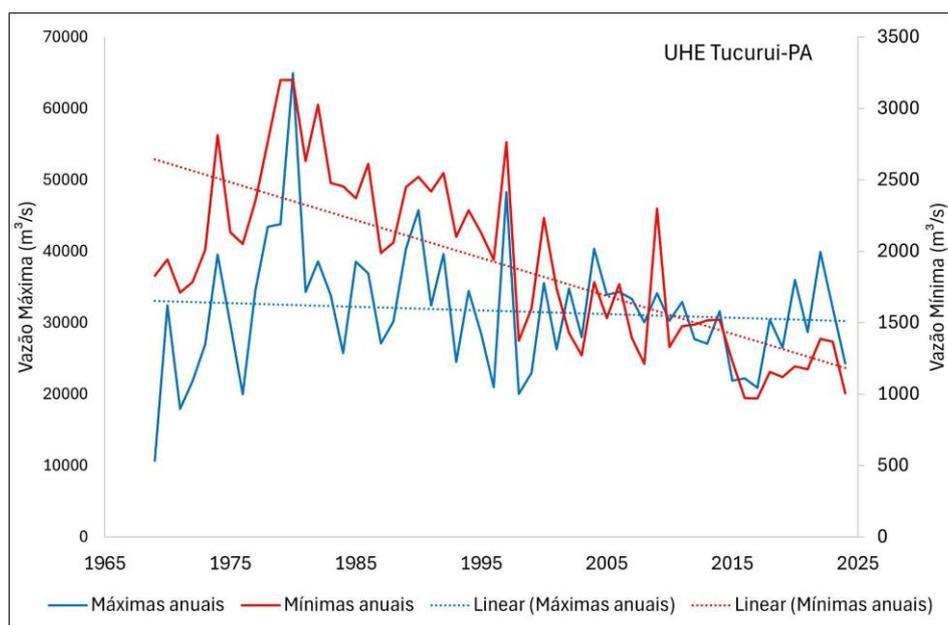


**Figura H.** Localização dos pontos de medição de níveis dos rios (vermelho) do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH) da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) e de vazões naturais das UHE (laranja) do Sistema Interligado Nacional (SIN) do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS). (Fonte: CEMADEN-MCTI).

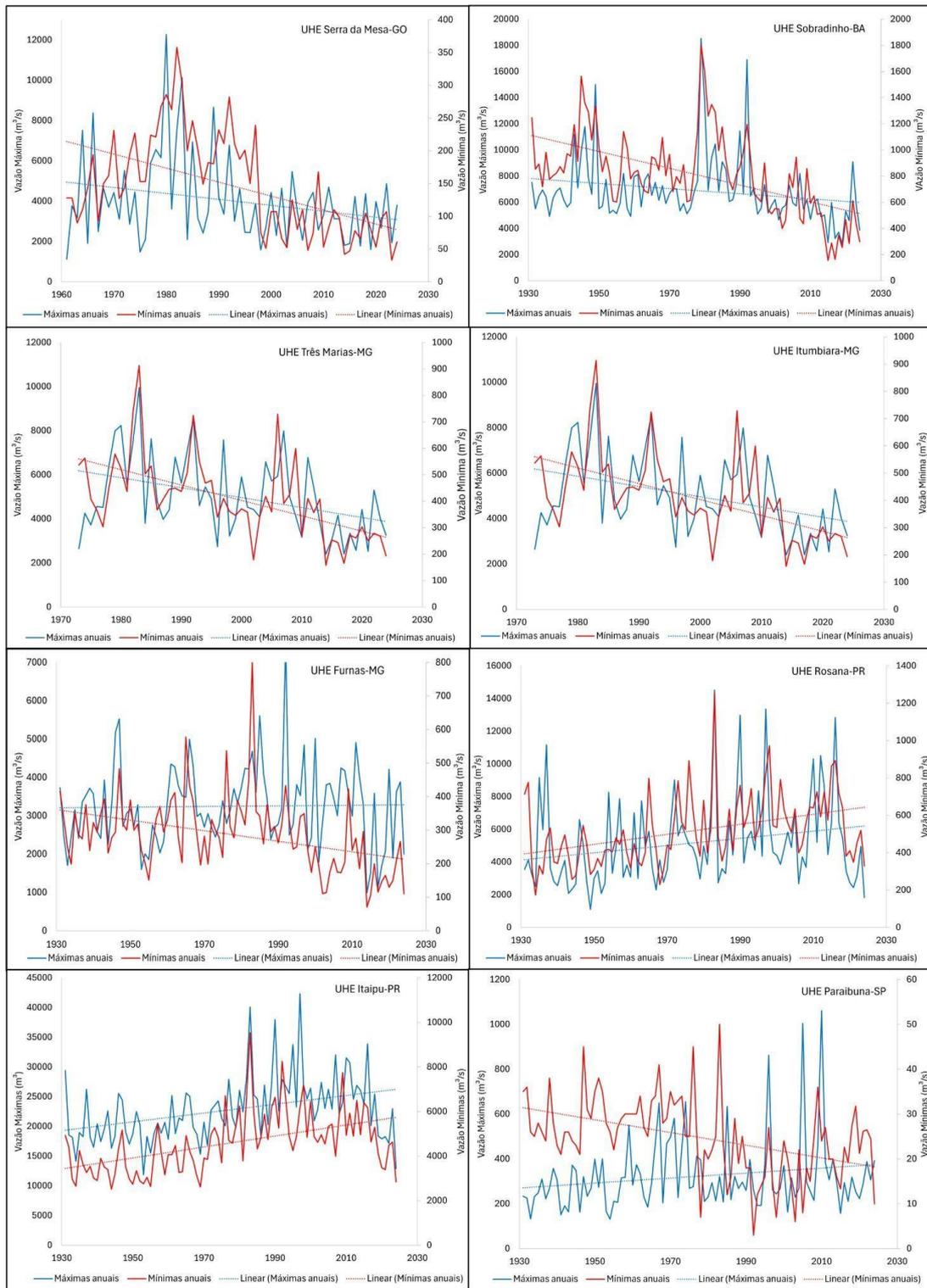
As bacias afluentes às UHEs localizadas nos estados de Goiás e Minas Gerais apresentam tendência de diminuição das vazões máximas e mínimas anuais, com exceção do Reservatório de Furnas que apresenta ligeira tendência de aumento das vazões máximas (Figuras I e J). As bacias afluentes às UHEs localizadas na região Sul do País apresentam tendência de aumentos tanto das vazões máximas quanto das mínimas, já na bacia afluente à UHE Paraibuna, localizada em São Paulo apresenta tendência de aumento das vazões máximas e diminuição das vazões mínimas.

Os níveis dos rios localizados da região Norte do país apresentam tendência de aumento dos níveis máximos anuais e diminuição dos níveis mínimos (Figura K), os níveis do Rio Paraguai observados na estação de Ladário apresentou ligeira

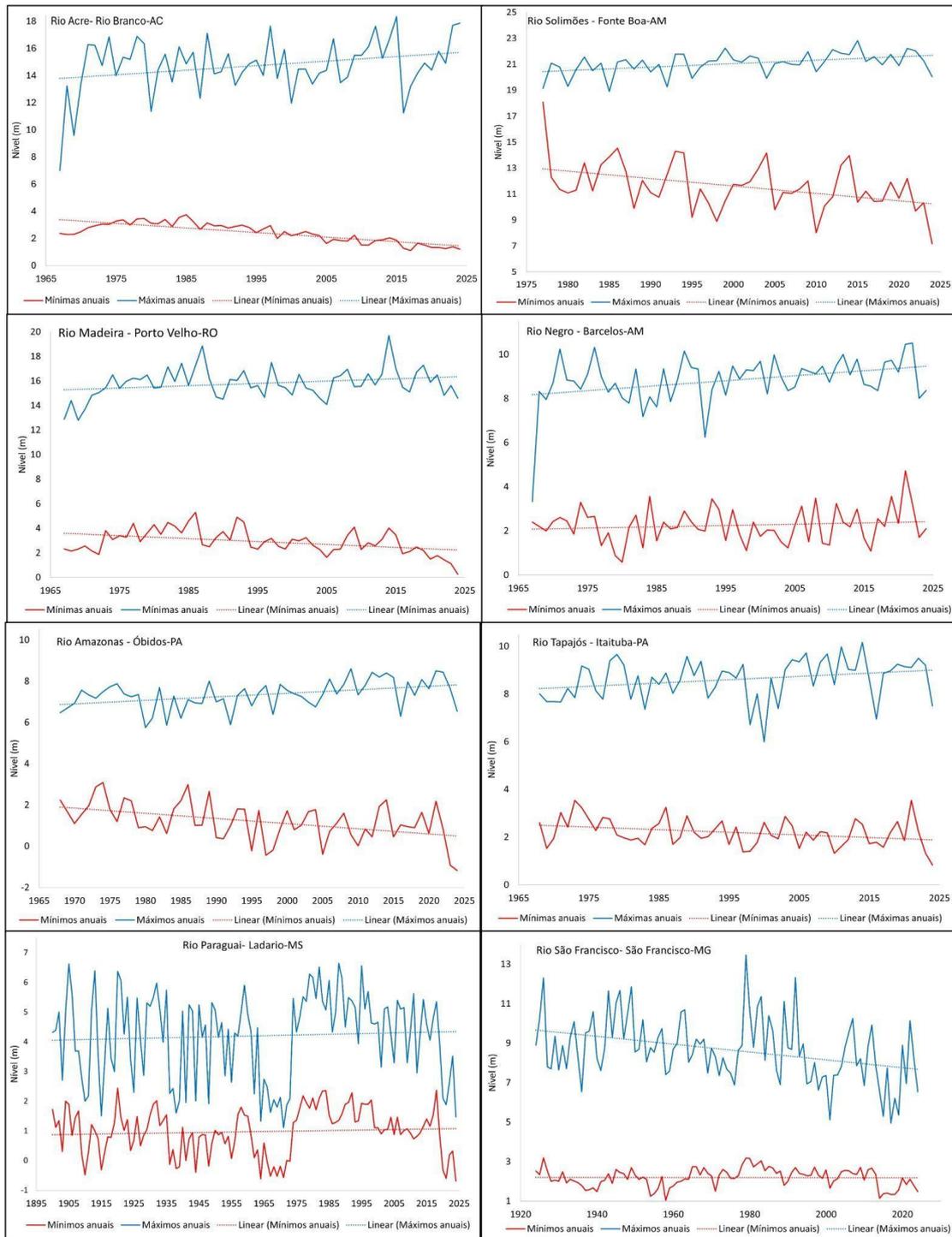
tendência de aumento dos níveis máximos e mínimos anuais, embora desde 2019 as curvas mostram uma diminuição dos níveis máximo e mínimos, com o mínimo histórico, como já mencionado acima, registrado no dia 18 de outubro de 2024 (-69cm). Os níveis do Rio São Francisco observados na estação de São Francisco em Minas Gerais apresentaram uma diminuição dos máximos, enquanto os níveis mínimos anuais permaneceram estáveis (Figura K), o qual está associado com a vazão regularizada pelo reservatório da UHE Três Marias, localizado a montante da estação.



**Figura I.** Vazões naturais máximas (linhas azuis) e mínimas (linhas vermelhas) anuais da bacia afluente à UHE Tucuruí, entre 1969 a novembro de 2024. As linhas pontilhadas azuis e vermelhas indicam uma ligeira tendência das vazões máximas anuais aumentarem e uma tendência acentuada das vazões mínimas anuais reduzirem respectivamente. (Fonte dos dados: Sistema Interligado Nacional - SIN, Operador Nacional do Sistema Elétrico-ONS e gráficos: CEMADEN-MCTI).



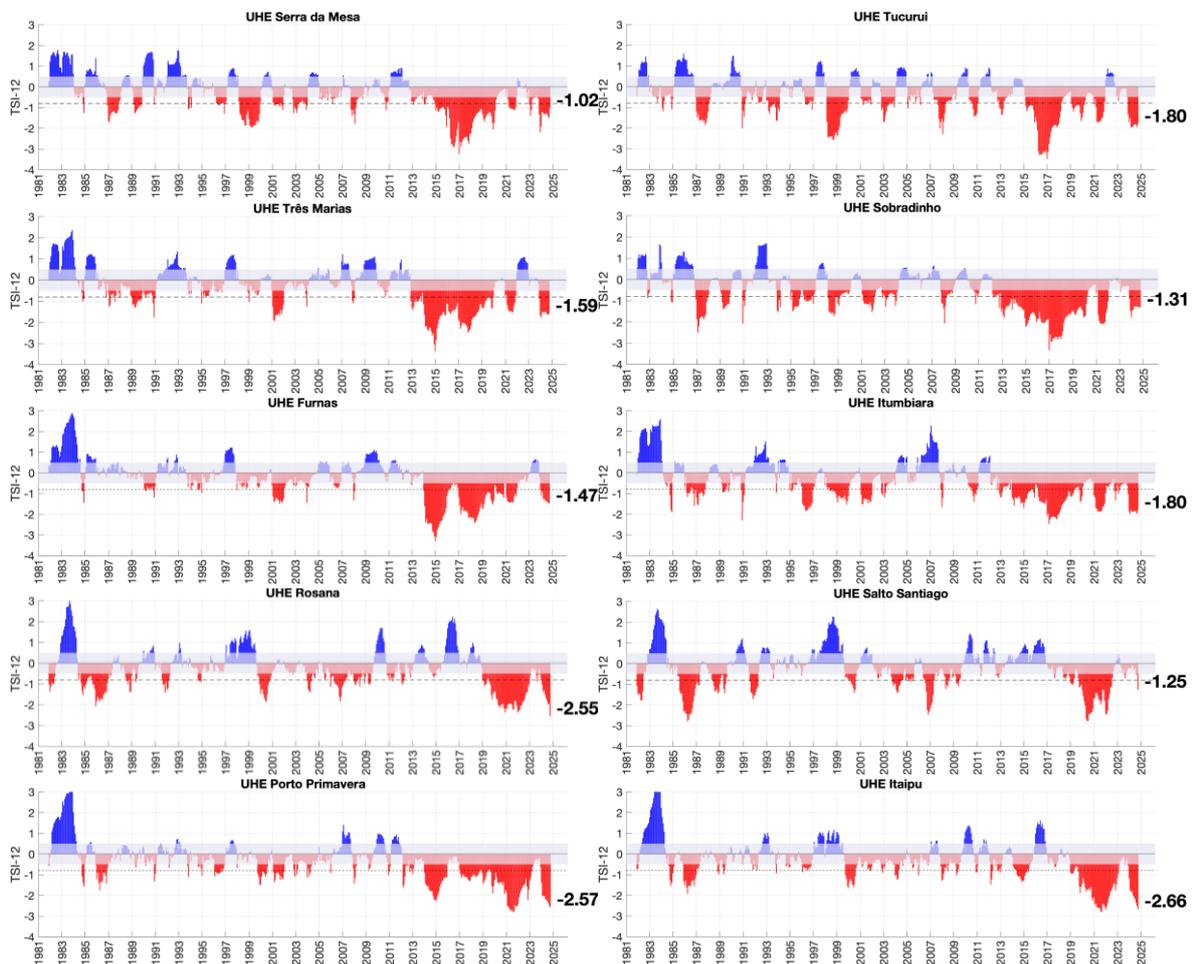
**Figura J.** Vazões naturais máximas (linhas azuis) e mínimas (linhas vermelhas) anuais das bacias afluentes aos Reservatórios Serra da Mesa, Sobradinho, Três Marias, Itumbiara, Furnas, Rosana, Itaipu e Paraibuna, respectivamente, entre o primeiro ano de medida a novembro de 2024. As linhas pontilhadas azuis e vermelhas são a tendência das vazões máximas e mínimas anuais respectivamente. (Fonte dos dados: Sistema Interligado Nacional - SIN, Operador Nacional do Sistema Elétrico-ONS e gráficos: CEMADEN-MCTI).



**Figura K.** Níveis máximos (linhas azuis) e mínimos (linhas vermelhas) anuais dos rios Acre, Solimões, Madeira, Negro, Amazonas, Tapajós, Paraguai e São Francisco, respectivamente, entre o primeiro ano de medida e novembro de 2024. As linhas pontilhadas azuis e vermelhas são a tendência dos níveis máximos e mínimos anuais respectivamente. (Fonte dos dados: Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico - ANA e gráfico: CEMADEN-MCTI).

A Figura L apresenta a evolução temporal das secas hidrológicas, através do Índice de Seca Bivariado precipitação-vazão (TSI), para algumas bacias hidrográficas afluentes a usinas hidrelétricas (UHE) do sistema elétrico nacional. As UHEs Serra

da Mesa, Três Marias, Furnas e Porto Primavera, com suas bacias localizadas na região Sudeste, bem como as UHE Turucuí (região Norte) e Sobradinho (região Nordeste), mostraram na última décadas eventos de secas mais intensos. Nas bacias da região Sul (p.e., UHE Salto Santiago), as secas mais intensas foram observadas a partir de 2019, assim como na UHE Itaipu, na bacia do rio Paraná, localizada entre as regiões Sudeste e Sul. Essa condição crítica, observada na última década, em todas as bacias do país, impactou consideravelmente a geração de energia hidrelétrica (Cuartas et al., 2022, 2024), mas também o abastecimento de água para as diversas regiões.



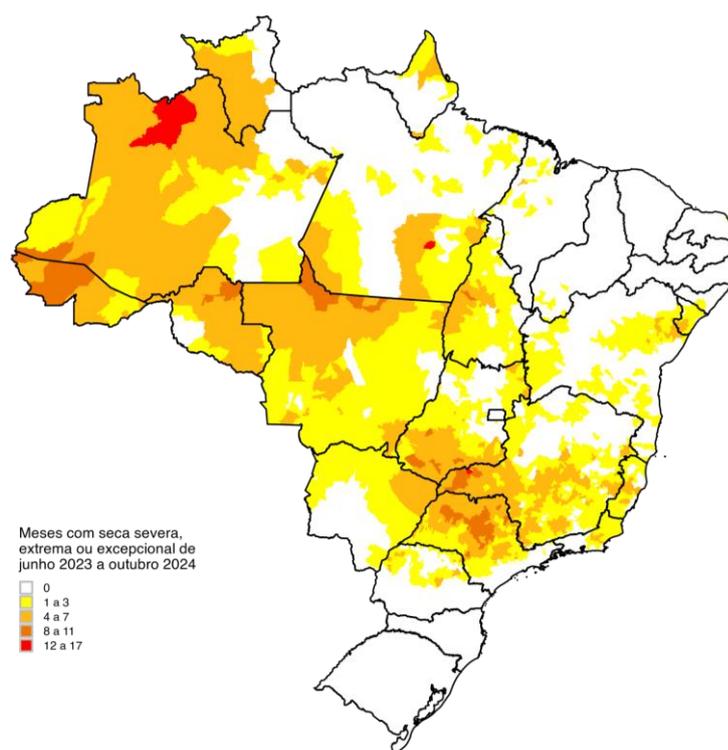
**Figura L.** Evolução temporal das secas hidrológicas em bacias afluentes a usinas hidrelétricas (UHEs) do Brasil considerando o Índice de Seca Bivariado precipitação-vazão (TSI), de dezembro de 1981 a outubro de 2024. As barras em azul indicam períodos mais úmidos, com precipitação e vazões acima da média, enquanto que as barras vermelhas indicam anos em condições mais secas. A faixa em cinza representa a condição de normalidade (Fonte dos dados: ONS e ANA, e estimativa do TSI e gráficos: CEMADEN/MCTI).

## 5. A seca de 2023-2024

A Figura M ilustra os municípios que registraram mais meses com condição de seca no Brasil entre os meses de junho/2023 e outubro/2024. A recorrência de secas no

período foi mais intensa nas regiões norte de SP, região do triângulo mineiro, norte do MT, oeste de AM e no Acre.

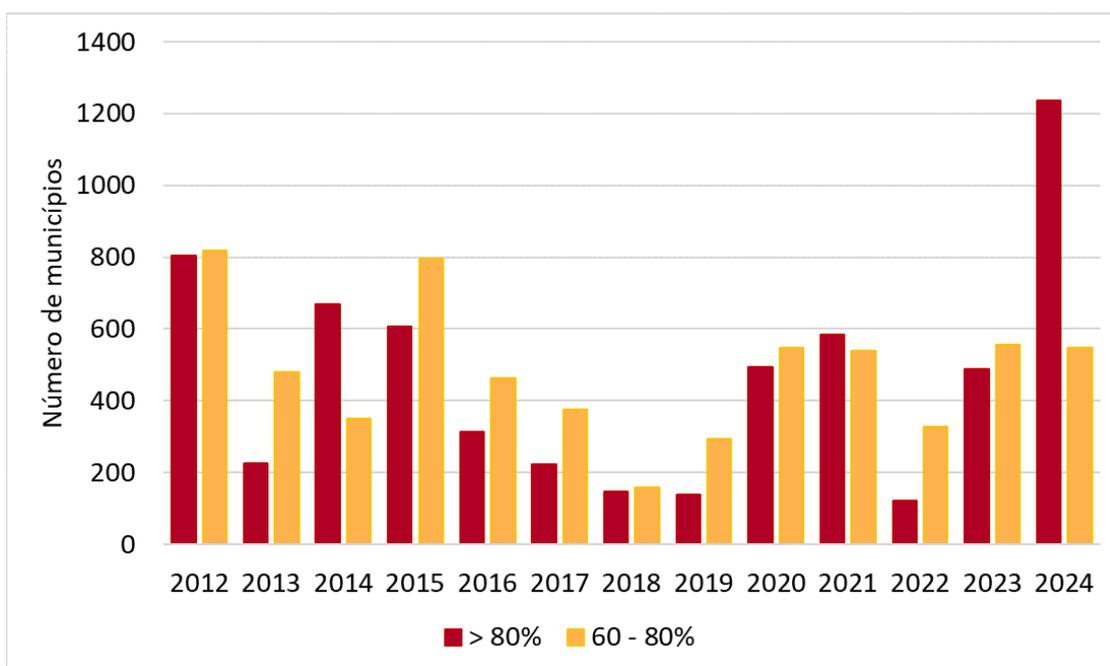
Sob a influência do El Niño e do aquecimento do Atlântico Tropical Norte, a partir do segundo semestre de 2023, a seca se intensificou e se alastrou por extensas regiões do Centro-Oeste, Norte e Sudeste. Em particular, municípios do Amazonas e do norte de São Paulo vivenciaram um período de seca (déficit de chuvas) superior a um ano, causando impactos em diferentes setores tais como, no abastecimento de água, navegabilidade, maior risco de propagação do fogo e de maneira geral, nos ecossistemas locais.



**Figura M.** Mapa de duração da seca por município entre junho/2023 e outubro/2024 de acordo com o Índice Integrado de Secas (Fonte: CEMADEN-MCTI).

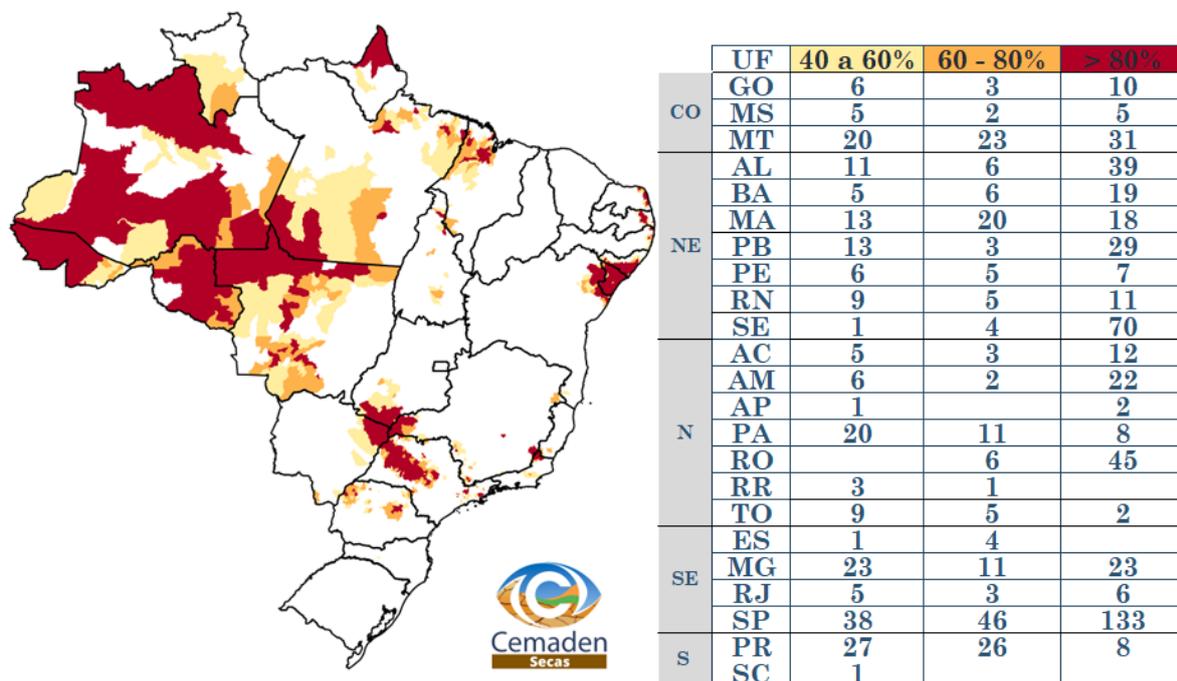
## 5.1 Estimativa das Áreas Agroprodutivas Afetadas por Município

De acordo com as estimativas dos impactos da seca em áreas agroprodutivas (atividades agrícolas e/ou pastagens) no período de 2012 a 2024, mesmo sendo um resultado parcial, o ano de 2024 se destaca como aquele com o maior número de municípios com mais de 80% de suas áreas atingidas pela seca (Figura N). Esse resultado reflete a peculiaridade da seca de 2023/2024, que se caracterizou como a mais extensa da história recente no Brasil.



**Figura N** - Municípios com pelo menos 60% de área impactada pela seca de acordo com o IIS-3, para o período de 2012 a 2024 para o Brasil.

Em outubro de 2024, 923 municípios registraram impacto da seca em pelo menos 40% de suas áreas agroprodutivas (Figura O). Entre eles, 500 apresentaram mais de 80% das áreas afetadas, com maior concentração nos estados de São Paulo (133), Roraima (45) e Alagoas (39). Outros 195 municípios tiveram entre 60% e 80% de suas áreas comprometidas, destacando-se São Paulo com 46 municípios nessa condição. Por fim, 228 municípios apresentaram mais do que 80% de suas áreas agroprodutivas atingidas pela seca, distribuídos majoritariamente entre os estados de São Paulo (38), Paraná (27), Minas Gerais (23), Mato Grosso (20) e Pará (20).



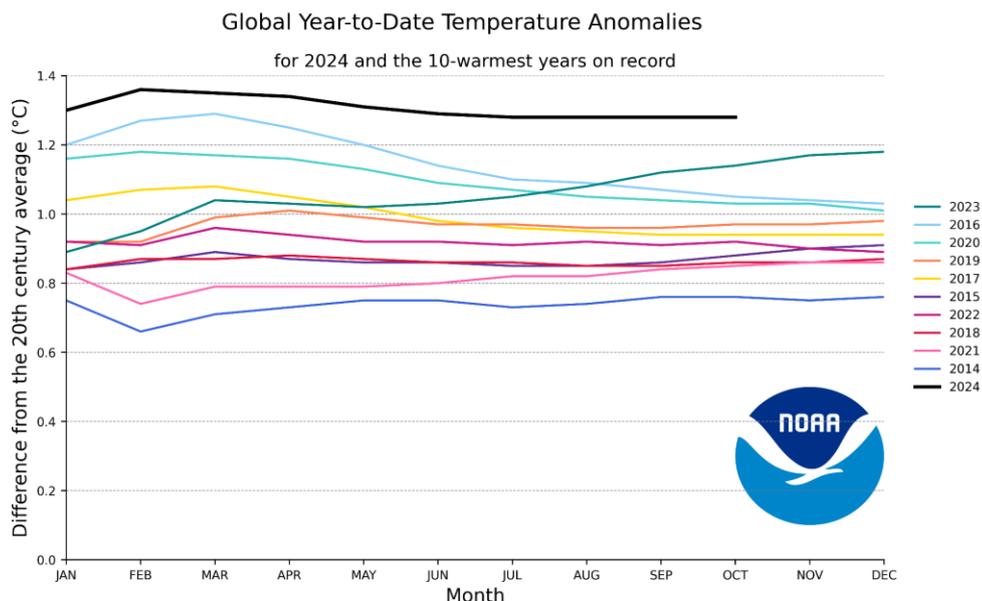
**Figura O** - Municípios com pelo menos 40% de área impactada pela seca (considerando apenas as áreas de pastagens e agrícolas) de acordo com o IIS-3, referente a situação em outubro de 2024 para o Brasil.

Mais informações sobre as secas observadas nos anos de 2023 e 2024, bem como seus impactos, podem ser encontradas no seguinte link: <https://www.gov.br/cemaden/pt-br/assuntos/monitoramento> e no mapa interativo: <https://mapasecas.cemaden.gov.br/>.

## 6. Extremos de temperatura nos últimos anos no Brasil

De acordo com os dados da World Meteorological Organization (WMO) e a National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), por enquanto, o ano de 2023 foi o ano mais quente desde que os registros globais começaram em 1850, com 1,18°C acima da média do século XX de 13,9°C. Este valor é 0,15°C superior ao recorde anterior estabelecido em 2016. O fenômeno de El Niño se desenvolveu com intensidade em 2023. Já em 2024, a temperatura média anual global perto da superfície em junho-setembro foi  $1,54 \pm 0,13$  °C acima da média pré-industrial de 1850–1900.

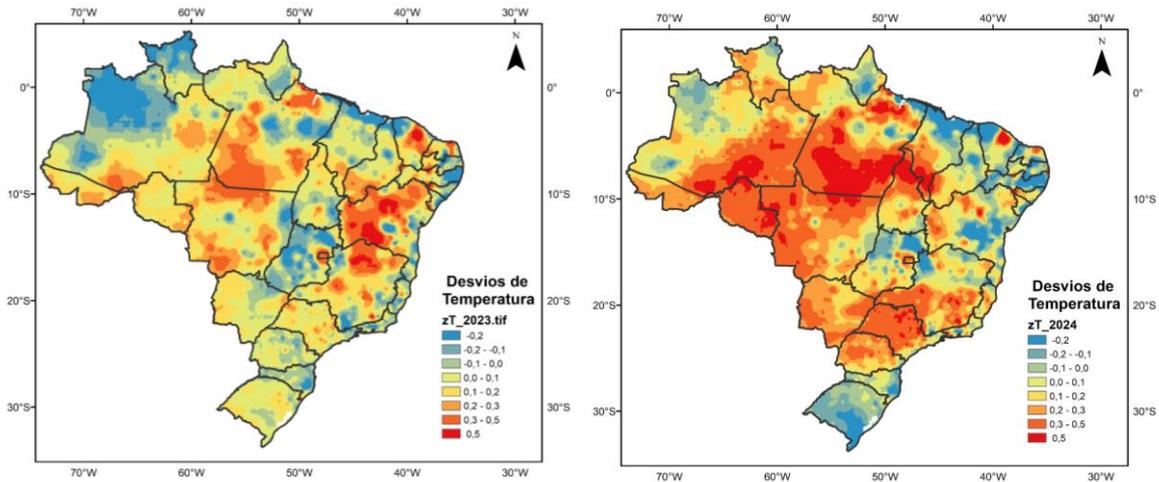
No entanto, de acordo com dados prévios para 2024, a temperatura global da superfície de janeiro a outubro foi classificada como a mais quente no registro de 175 anos, 1,28 °C, acima da média do século XX (Figura P). Assim, de acordo com a NOAA, há uma chance de >99% de que 2024 seja classificado como o ano mais quente já registrado.



**Figura P.** Comparação das anomalias de temperatura parciais para 2024 (linha preta) com os dez anos mais quentes já registrados: 2023 (1º), 2016 (2º), 2020 (3º), 2019 (4º), 2017 (5º), 2015 (6º), 2022 (7º), 2018 (8º), 2021 (9º) e 2014 (10º). (Fonte: NOAA, <https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/monthly-report/global/202410/supplemental/page-1>).

A Figura Q mostra os desvios anuais da temperatura máxima para os anos de 2023 e 2024 (parcial). As cores quentes (vermelho e laranja) indicam regiões onde a temperatura máxima esteve acima da média histórica, enquanto as cores frias (azul e verde) indicam regiões onde a temperatura máxima esteve abaixo da média. Ambos os anos, mas sobretudo o ano de 2024, apresenta uma predominância de áreas com temperaturas máximas acima da média, indicando um padrão de aquecimento em grande parte do território brasileiro.

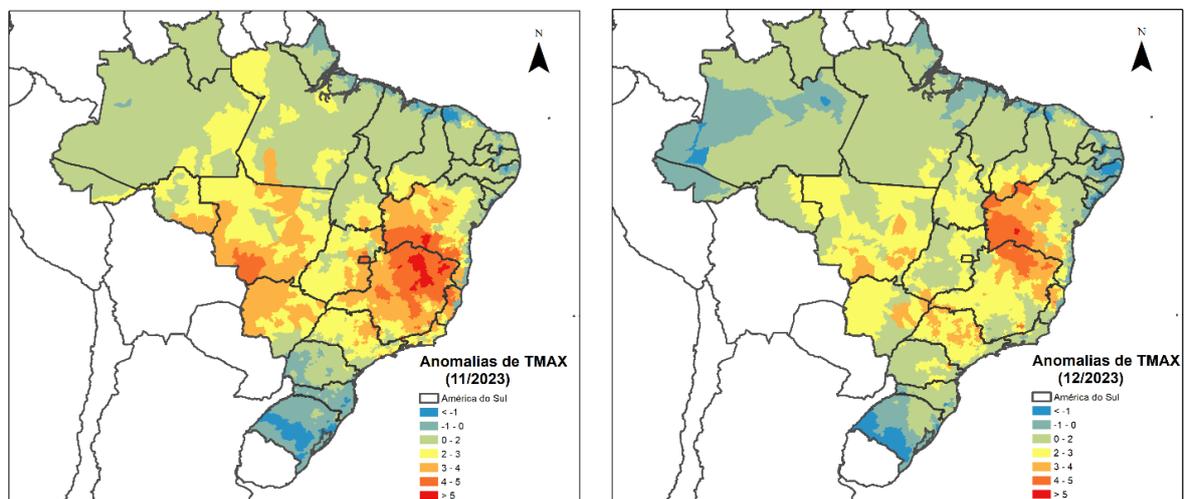
Na média global, o segundo semestre de 2023 foi marcado por extremos de temperatura em grande parte do globo. No Brasil, verificou-se que os meses de setembro a dezembro apresentaram maiores anomalias de temperatura em grande parte do país. No entanto, anomalias entre 4 a 5 graus foram observadas especialmente nos meses de novembro e dezembro. Segundo o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) foram registradas 6 ondas de calor intensas entre agosto e novembro 2023. Considerando o mês de novembro, os municípios com anomalias entre 4 e 5 graus concentrou-se no sul da Bahia, norte de Minas Gerais e parte do Pantanal como pode ser visto no Figura R (municípios coloridos em laranja escuro e vermelho).



**Figura Q.** Desvios de temperatura máxima anual para os anos de 2023 (esquerda) e 2024 - parcial (direita). Tons em vermelho indicam desvios positivos (temperatura acima da média) e tons em azul indicam desvios negativos (temperatura abaixo da média). (Fonte dos dados de temperatura: CPTEC/INPE; pós-processamento e análises: CEMADEN-MCTI).

De acordo com o Relatório do Clima de 2023 da NOAA, o El Niño pode ter contribuído para tal aquecimento anômalo, uma vez que durante anos de El Niño, as temperaturas globais tendem a ser mais quentes do que os anos neutros ou de La Niña. Além de meses com temperatura acima da média em grande parte do país, os anos de 2023 e 2024 também foram anos marcados por secas severas, conforme destacado previamente.

A seca combinada com temperaturas extremas, o que é chamado de evento composto de seca-calor, resulta em impactos mais intensos sobretudo nos recursos hídricos, risco de fogo e produção Agrícola.



**Figura R.** Mapas de anomalias de Temperatura Máxima para os meses de novembro e dezembro de 2023 por município (Fonte dos dados de Temperatura INPE, processamento: CEMADEN-MCTI).

De 15 a 18 de março de 2024, uma onda de calor recorde afetou o sul do Brasil, com temperaturas atingindo níveis sem precedentes para o período do início do outono no hemisfério sul, com 42°C no Rio de Janeiro (<https://www.climameter.org>). Os estados de Rio de Janeiro, Minas Gerais, São Paulo, Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Paraná foram afetados por uma forte onda de calor, que começou em 27 de abril e durou 5 dias. Entre o final de agosto e a primeira semana de setembro, as ondas de calor afetaram partes do Brasil com temperaturas 7°C acima do normal para esta época do ano no centro-oeste do Brasil (Belo Horizonte e Brasília), enquanto a região Norte (Manaus-MA) enfrentou temperaturas de até 6°C acima do normal. Entre 16 e 23 de agosto, com temperaturas superiores a 41°C em diversas partes do Brasil. A temperatura mais alta foi registrada em Cuiabá (MT), com 42,2°C no dia 18, seguida de Porto Nacional (TO) com 41,1°C, ambas quebrando recordes anteriores. Nos dias 22 e 23 de setembro, Cuiabá, Goiânia e Brasília registraram novos recordes de temperaturas mais altas chegando a 40 °C. Goiânia (GO) atingiu 40,3°C em 23 de setembro, Cuiabá (MT) atingiu 43,1°C em 22 de setembro e Palmas (TO) atingiu 41,6°C em 23 de setembro. Brasília (DF) atingiu 33,5°C em 23 de setembro, Corumbá (MS) atingiu 42,5°C no mesmo dia (INMET).

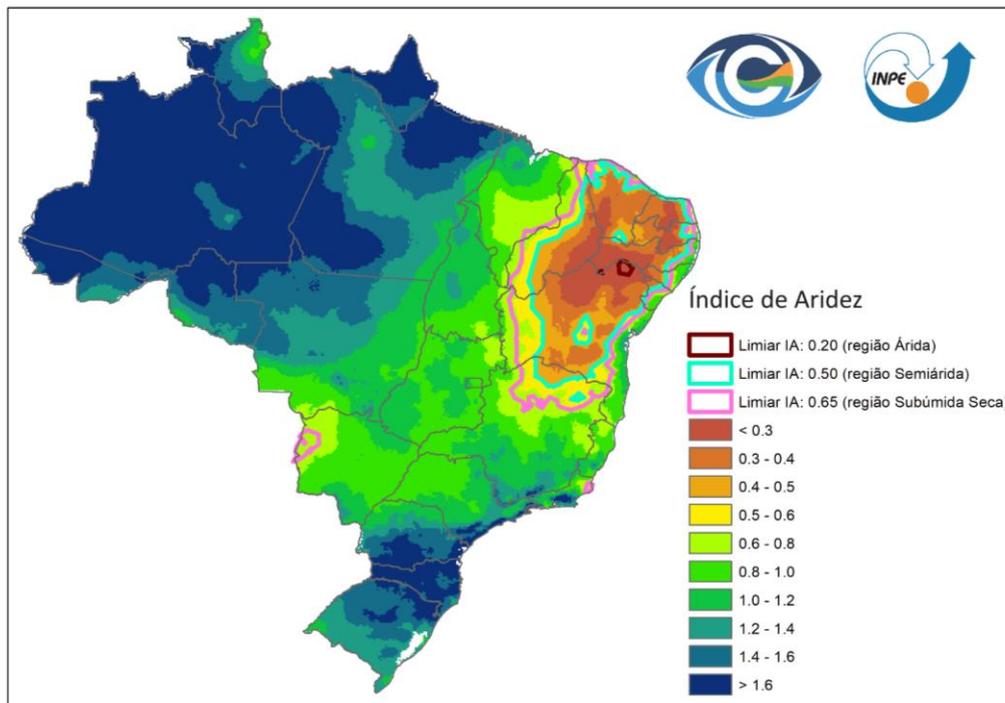
Além dos extremos de calor, algumas regiões do país também sofreram com as ondas frias. O estado do Rio Grande do Sul enfrentou ondas de frio extremo que se intensificaram desde o final de junho 2024, afetando diversas cidades com temperaturas abaixo de zero. Fenômeno esse, impulsionado por um ciclone extratropical de baixa intensidade. No Brasil, Quaraí (RS) registou -2,7°C e Uruguaiana (RS) -0,4°C, enquanto São Borja (RS) teve temperaturas igualmente baixas (INMET).

## **7. Evolução temporal do Índice de Aridez (IA) no Brasil (Referência à Nota Técnica Elaborada pelo CEMADEN e INPE em novembro de 2023)**

A crescente frequência de eventos extremos, como ondas de calor e secas prolongadas, tem contribuído de maneira significativa para alterações nos padrões climáticos ao longo do tempo, intensificando o fenômeno da aridez. Este, por sua vez, caracteriza-se como uma condição climática de longo prazo, resultante de um déficit hídrico. Tal déficit decorre da insuficiência de precipitação média combinada com uma alta taxa de evapotranspiração, que consiste na perda de água para a atmosfera devido ao calor.

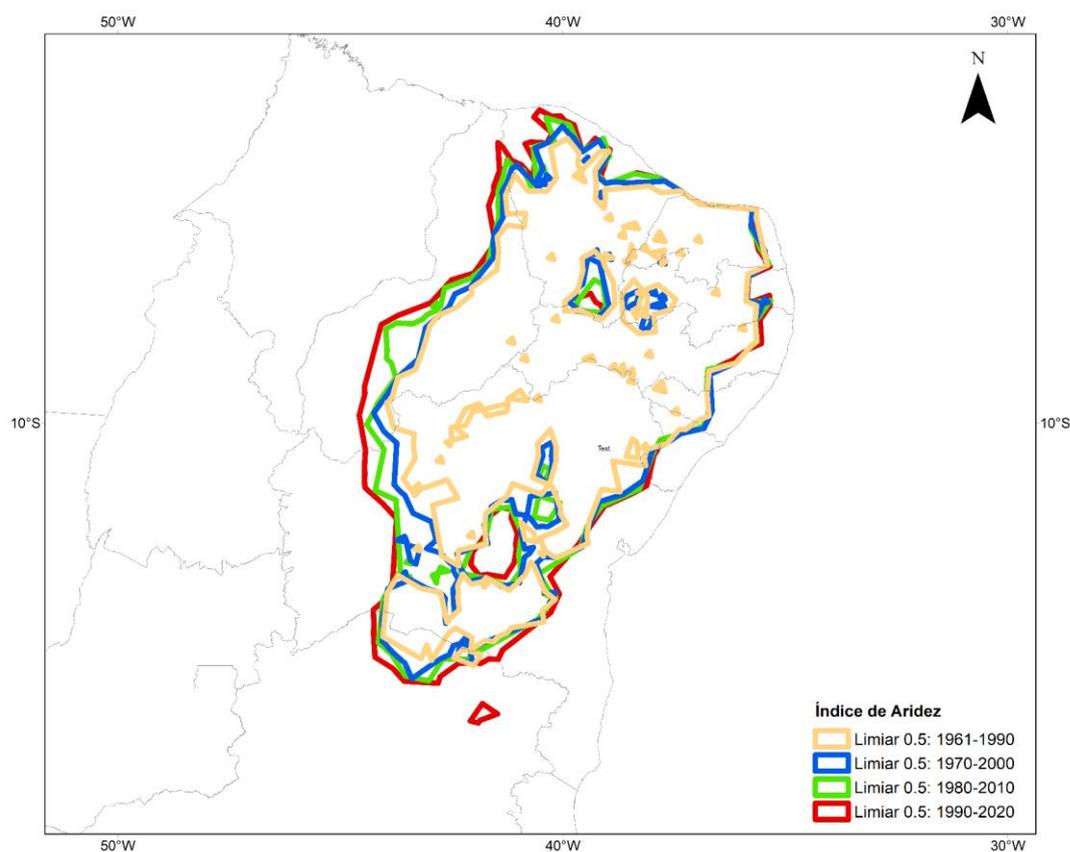
Com base na atualização do Índice de Aridez para a mais recente normal climatológica (1991-2020), áreas com índice de aridez inferior a 0,2 (classificadas como áridas) foram identificadas em uma região localizada no extremo norte da Bahia. Já as áreas com índices inferiores a 0,5 (semiáridas) concentram-se

predominantemente no interior da Região Nordeste (exceto o Maranhão) e no norte de Minas Gerais. As áreas classificadas como clima sub úmido seco, com índice de aridez entre 0.5 e 0.65, podem ser observadas na Região Nordeste, norte de Minas Gerais, no Estado do Mato Grosso do Sul, na bacia do Rio Paraguai, e em uma pequena área no norte do Estado do Rio de Janeiro (Figura S).



**Figura S.** Índice de aridez para o período 1991-2020. As linhas delimitam as áreas com índice de aridez correspondentes a clima árido (marrom), semiárido (ciano) e sub úmido seco (rosa).

Destaca-se que, apenas na atualização do Índice de Aridez referente ao período de 1991-2020, foi identificada uma área com clima árido, além de áreas classificadas como de clima subúmido seco nos estados do Rio de Janeiro e Mato Grosso do Sul, em comparação com as análises realizadas desde a década de 1960. Além disso, observa-se, de forma consistente, um aumento gradual das áreas classificadas como semiáridas ao longo das décadas (Figura T e Tabela A). Esse aumento é mais expressivo na porção oeste da Região Nordeste, com uma progressão que se estende também ao norte de Minas Gerais.



**Figura T.** Evolução histórica do contorno que define áreas com índice de aridez inferior a 0.5 (semiárido).

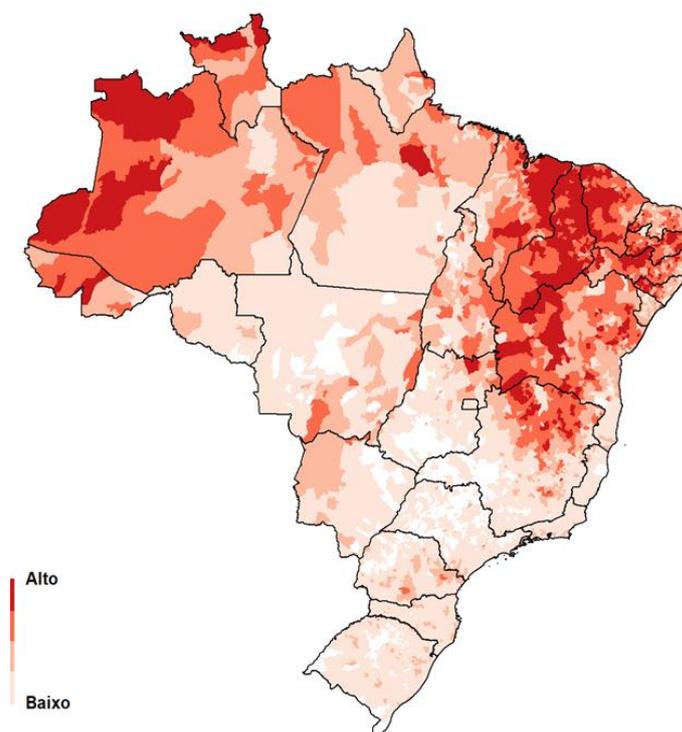
A tabela A indica que as áreas classificadas como semiárido aumentaram em média 75 mil km<sup>2</sup> por década (média móvel – janelas de 30 anos), enquanto as áreas consideradas sub úmido seco mostraram uma redução média de 12 mil km<sup>2</sup> por década. Somando todas as áreas (árido, semiárido e sub úmido seco), esse incremento médio foi de 65 mil km<sup>2</sup> por década.

Tabela A: expansão das áreas em km<sup>2</sup> com IA menor a 0.2 (árido), entre 0.2 e 0.5 (semiárido) e 0.5 e 0.65 (sub úmido seco)

Período	Árido < 0.2		Semiárido 0.2 < IA < 0.5		Sub úmido seco 0.5 < IA < 0.65	
	Área	Incremento	Área	Incremento	Área	Incremento
1960-1990	0		569497		365528	
1970-2000	0	0	663066	93569	331282	-34247
1980-2010	0	0	726373	63307	308246	-23036
1990-2020	5763	5763	796175	69801	329075	20829

## 8. Projeções de Secas para o Brasil

Vários estudos já indicam que há fortes evidências de que as mudanças climáticas aumentarão o risco e a intensidade das secas em todo o globo (IPCC, 2021, Cook et al., 2020, Marengo et al., 2021). No Brasil, estudos mostram que tais mudanças poderão causar impactos significativos na produção agrícola por meio do aumento da frequência de secas no Brasil (Assad et al., 2013; Marengo et al., 2017, 2020, 2021). De acordo com Marengo et al., (2021), especialmente no semiárido do Brasil, onde predomina a agricultura familiar de sequeiro e alta vulnerabilidade socioeconômica (Figura U), as perdas de produtividade podem levar ao aumento da pobreza, conflitos por terra e à migração em massa para centros urbanos sobrepovoados.



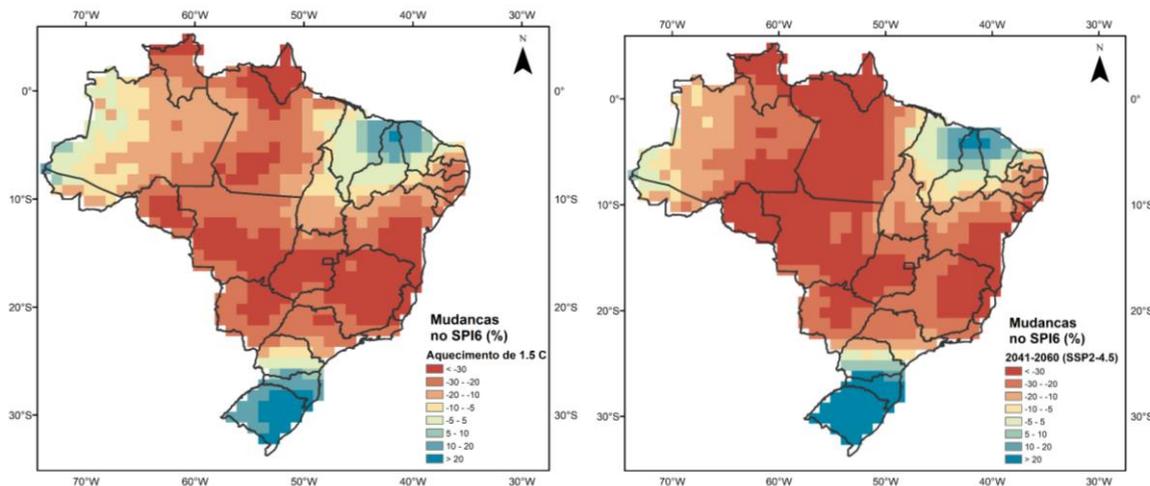
**Figura U.** Vulnerabilidade socioeconômica às secas no Brasil (Fonte: CEMADEN-MCTI).

A Figura V exibe as projeções climáticas derivadas de um conjunto multimodelo do Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6). Essas projeções são baseadas nos cenários de emissões impulsionados por diferentes premissas socioeconômicas, que são os SSPs (Shared Socio-Economic Pathways - Caminhos Socioeconômicos Compartilhados). Na Figura CC, são apresentadas as mudanças previstas (em %) no Índice Padronizado de Precipitação na escala de 6 meses (SPI6), considerando o cenário SSP2-4.5 para o 2041 a 2060 e para um cenário de aquecimento de 1,5 C. Vale destacar que o cenário SSP2-4.5 descreve um mundo em que as emissões de gases de efeito estufa continuam a aumentar nas próximas décadas, mas a um ritmo mais lento do que em cenários mais pessimistas. De acordo

com as projeções, até 2060 é esperado que o valor do SPI6 diminua, principalmente na região central do país (Figura CC).

É importante destacar que a redução no valor do SPI6 indica maior intensidade de secas. Assim, espera-se que para as próximas décadas, as secas sejam ainda mais intensas nas regiões acima destacadas, ainda que não considerando o cenário mais pessimista do IPCC (SSP2-4.5).

De acordo com o Relatório “Summary for Policymakers. In: Global Warming of 1.5°C do IPCC (IPCC, 2018), estima-se que as atividades humanas tenham causado aproximadamente 1,0°C de aquecimento global acima dos níveis pré-industriais, com um intervalo provável de 0,8°C a 1,2°C. O aquecimento global deverá atingir 1,5°C entre 2030 e 2052 se continuar a aumentar ao ritmo atual. Assim, a Figura CC (esquerda) mostra as possíveis mudanças na seca (indicador SPI6) considerando que o planeta atinja o aquecimento de 1,5°C, cujo padrão é muito próximo considerando as projeções para o período de 2041 a 2060.



**Figura V.** Projeções de mudanças no Índice Padronizado de Precipitação (SPI6) no Brasil de acordo com multimodelos do CMIP6, considerando um aquecimento de 1,5°C (esquerda) e para 2041 a 2060 (direita), ambos considerando o cenário SSP2-4.5. (Fonte dos dados: IPCC, 2024).

## Considerações Finais: Pesquisa e Monitoramento de Secas no CEMADEN-MCTI

Em 2012, logo após a implementação do CEMADEN/MCTI, o Centro foi demandado a auxiliar o governo federal nas ações de mitigação dos impactos das secas na região semiárida do Brasil. Neste escopo, na Resolução N° 13, de 22 de maio de 2014, que estabeleceu critérios para a ampliação do Auxílio Emergencial Financeiro, prevista na MP n° 645, de 05 de maio de 2014, no Art 5º, Incisos I e II, o CEMADEN/MCTI passou a prover informações para identificação de municípios impactados por desastres associados às secas. A partir de então, o Centro estruturou uma equipe de

profissionais especialistas nas áreas de desastres, meteorologia, agrometeorologia, hidrologia, engenharia, sensoriamento remoto, geotecnologias, sistemas de informações georreferenciadas, tecnologia da informação, com vistas a desenvolver metodologia estado-da-arte para monitoramento do impacto de secas em diferentes setores, incluindo agricultura familiar de sequeiro. Posteriormente, o CEMADEN/MCTI foi demandado a contribuir para o programa Garantia Safra do então Ministério do Desenvolvimento Agrário. Logo, no âmbito do Decreto Presidencial Nº 8.472, de 22 de junho de 2015, o CEMADEN/MCTI passou a ter a responsabilidade de prover informações para a identificação de municípios impactados por eventos de secas, compilando dados e informações de diferentes fontes com a finalidade de prover base de dados para subsidiar o Programa Garantia Safra na avaliação de perdas na agricultura familiar.

Desde 2013, o CEMADEN passou a compilar mensalmente dados hidrometeorológicos de diferentes fontes, com a finalidade de prover base de dados para subsidiar a avaliação e identificação de municípios impactados por secas. Desde então, mensalmente são publicados Boletins de Monitoramento e Impactos de Seca no webiste do CEMADEN (<https://www.gov.br/cemaden/pt-br/assuntos/monitoramento/monitoramento-de-seca-para-o-brasil>).

Além disso, é importante destacar que no contexto do PPA 2024-2027, o CEMADEN é responsável pela entrega 0275 no Programa N1DA - Gestão de Riscos e de Desastres, relacionada com o Monitoramento e previsão de riscos de seca. A objetivo dessa entrega é o de Monitorar e Prever o Risco de Desastres Associados às Secas no Brasil por meio da implementação de sistema de previsão de risco, que combina redes observacionais, previsão hidrometeorológica e variáveis socioambientais para a representação da ameaça, das vulnerabilidades e exposição.

Por fim, destaca-se que embora o CEMADEN/MCTI seja uma Instituição operacional no contexto de Monitoramento e Alertas de Desastres, o Centro, como Unidade de Pesquisa do Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI), o CEMADEN, além de realizar o monitoramento da seca e dos impactos, tem também como objetivo gerar conhecimento científico-tecnológico sobre ameaças, processos e vulnerabilidade associados às secas e seus impactos, visando subsidiar a sociedade e tomadores de decisão. Assim, o CEMADEN/MCTI tem desenvolvido conhecimento científico e novas metodologias que podem contribuir para a implementação de Sistema de Alerta de Risco de Desastre Associado às Secas no Brasil

## Elaborado por:

Dra. Ana Paula M. A. Cunha  
*Pesquisadora em Secas do CEMADEN-MCTI*

Dr. José Marengo  
*Pesquisador em Secas e Coordenação-Geral de Pesquisa e Desenvolvimento do CEMADEN-MCTI*

Dra. Luz Adriana Cuartas  
*Pesquisadora em Hidrologia do CEMADEN-MCTI*

Dr. Marcelo Zeri  
*Pesquisador em Agrometeorologia do CEMADEN-MCTI*

Dra. Larissa Antunes da Silva  
*Pesquisadora Colaboradora em Hidrologia do CEMADEN-MCTI*

Eng.a Lidiane Costa  
*Pesquisadora Colaboradora em Secas do CEMADEN-MCTI*

Dra. Elisângela Broedel  
*Pesquisadora Colaboradora em Hidrologia do CEMADEN-MCTI*

Dra. Márcia Guedes  
*Pesquisadora Colaboradora em Secas do CEMADEN-MCTI*

Ms. Alan Pimentel  
*Pesquisador Colaborador em Impactos do CEMADEN-MCTI*

Dr. Christopher  
*Pesquisador em Meteorologia do CEMADEN-MCTI*

## REFERÊNCIAS

Brito, S. S. B, Cunha, A.P.M.A., Castro, C.C., Alvalá, R.C.S., Marengo, J.A., Carvalho, M. Frequency, duration, and severity of drought in the Brazilian semiarid. INTERNATIONAL JOURNAL OF CLIMATOLOGY. doi:10.1002/joc.5225. v. 41, p. 487, 2018. <https://doi.org/10.1002/joc.5225>.

Cuartas, L. A., Cunha, A. P. M. A., Alves, J. A., Parra, L. M. P., Deusdará-Leal, K.,

Costa, L. C. O., Molina, R. D., Amore, D., Broedel, E., Seluchi, M. E., Cunningham, C.; Alvalá, R. C. Dos S., Marengo, J. A. Recent Hydrological Droughts in Brazil and Their Impact on Hydropower Generation. *Water*, v. 14, p. 601, 2022. <https://doi.org/10.3390/w14040601>

Cuartas, L. A., Fujita, T., Campos, J. A., Uvo, C. B., Nikravesh, G., Olsson, J., Sörensen, J., Marengo, J. A., Amore, D., Broedel, E., Peixoto, J. Hydrometeorological drought analysis through Two-variate Standardized Index for the Paraná River Basin, Brazil, *Journal of Hydrology: Regional Studies*, v. 54, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2024.101886>.

Cunha, A. P. M. A.; Tomasella, J.; Ribeiro-Neto, G.; Brown, M.; Garcia, S. R.; Brito, S.B.; Carvalho, M. A. Changes in the spatial-temporal patterns of droughts in the Brazilian Northeast. *ATMOSPHERIC SCIENCE LETTERS*, v. 19, p. e855, 2018. <https://doi.org/10.1002/asl.855>.

Cunha, A.P.M.A.; Zeri, M.; Deusdará Leal, K.; Costa, L.; Cuartas, L.A.; Marengo, J.A.; Tomasella, J.; Vieira, R.M.; Barbosa, A.A.; Cunningham, C.; Cal Garcia, J.V.; Broedel, E.; Alvalá, R.; Ribeiro-Neto, G. Extreme Drought Events over Brazil from 2011 to 2019. *ATMOSPHERE* 2019, 10, 642. <https://doi.org/10.3390/atmos10110642>.

Cunha, A.P.M.A; Marchezini, V.; Lindoso, D. P.; Saito, S. M.; Alvalá, R. C. Dos Santos. The challenges of Consolidation of a Drought-Related Disaster Risk Warning System to Brazil. *SUSTAINABILITY IN DEBATE*, v. 10, p. 43-76, 2018. <https://doi.org/10.18472/SustDeb.v10n1.2019.19380>.

Cunha, A.P.M.A., Buermann, W. & Marengo, J.A. Changes in compound drought-heat events over Brazil's Pantanal wetland: an assessment using remote sensing data and multiple drought indicators. *Clim Dyn* (2023). <https://doi.org/10.1007/s00382-023-06937-x>.

Coelho, C.A.S.; de Oliveira, C.P.; Ambrizzi, T.; Reboita, M.S.; Carpenedo, C.B.; Campos, J.L.P.S.; Tomaziello, A.C.N.; Pampuch, L.A.; de Souza Custódio, M.; Dutra, L.M.M.; et al. The 2014 southeast Brazil austral summer drought: Regional scale mechanisms and teleconnections. *Clim. Dyn.* 2016, 46, 3737–3752.

Nobre, C.A.; Marengo, J.A.; Seluchi, M.E.; Cuartas, L.A.; Alves, L.M. Some Characteristics and Impacts of the Drought and Water Crisis in Southeastern Brazil during 2014 and 2015. *J. Water Resour. Prot.* 2016, 8, 252–262.

Deusdará-Leal, K.R.; Cuartas, L.A.; Zhang, R.; Mohor, G.S.; de Castro Carvalho, L.V.;

Nobre, C.A.; Mendiondo, E.M.; Broedel, E.; Seluchi, M.E.; dos Santos Alvalá, R.C. Implications of the New Operational Rules for Cantareira Water System: Re-Reading the 2014–2016 Water Crisis. *J. Water Resour. Prot.* 2020, 12, 261–274.

Coelho, C.A.S.; de Oliveira, C.P.; Ambrizzi, T.; Reboita, M.S.; Carpenedo, C.B.; Campos, J.L.P.S.; Tomaziello, A.C.N.; Pampuch, L.A.; de Souza Custódio, M.; Dutra, L.M.M.; et al. The 2014 southeast Brazil austral summer drought: Regional scale mechanisms and teleconnections. *Clim. Dyn.* 2016, 46, 3737–3752.

Fleischmann, A., Papa, F., Hamilton, S., Melack, J., et al. (2024). Extreme Warming of Amazon Waters in a Changing Climate.

IPCC. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change; Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pirani, A., Connors, S.L., Péan, C., Berger, S., Caud, N., Chen, Y., Eds.; 2021; Available online: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>.

Marengo JÁ et al. 2017. Climatic characteristics of the 2010-2016 drought in the semiarid Northeast Brazil region, *Anais da Academia Brasileira de Ciências* (2017) (Annals of the Brazilian Academy of Sciences), <http://dx.doi.org/10.1590/0001-3765201720170206>

MARENGO JA, ALVES LM, SOARES WR, RODRIGUEZ DA, CAMARGO H, RIVEROS MP AND PABLO AD (2013) Two Contrasting Severe Seasonal Extremes in Tropical South America in 2012: Flood in Amazonia and Drought in Northeast Brazil. *J Clim* 26(22): 9137-9154.

MARENGO JÁ, ALVES LM, ALVALA RSC, CUNHA AP, BRITO S, MORAES OLL (2017) Climatic characteristics of the 2010-2016 drought in the semiarid Northeast Brazil region, *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, Printed version ISSN 0001-3765 / Online version ISSN 1678-2690, <http://dx.doi.org/10.1590/0001-3765201720170206>

Marengo JA, Cunha AP, Cuartas LA, Deusdará Leal KR, Broedel E, Seluchi ME, Michelin CM, De Praga, Baião CF, Chuchón Angulo E, Almeida EK, Kazmierczak ML, Mateus NPA, Silva RC and Bender F (2021) Extreme Drought in the Brazilian Pantanal in 2019–2020: Characterization, Causes, and Impacts. *Front. Water* 3:639204. doi: 10.3389/frwa.2021.639204

Marengo, J. A., Souza, C. M., Thonicke, K., Burton, C., Halladay, K., Betts, R. A., et al.

(2018). Changes in Climate and Land Use over the Amazon Region: Current and Future Variability and Trends. *Frontiers in Earth Science*, 6, Article 228.

<https://doi.org/10.3389/feart.2018.00228>

Marengo, J. A., Cunha, A. P., Espinoza, J.-C., Fu, R., Schongart, J., Jimenez, J. C., Costa, M. C., Ribeiro, J. M., Wongchuig, S., & Zhao, S. Y. (2024). The Drought of Amazonia in 2023-2024. *American Journal of Climate Change*, 13, 567-597.

<https://doi.org/10.4236/ajcc.2024.133026>

Nobre, C.A.; Marengo, J.A.; Seluchi, M.E.; Cuartas, A.; Alves, L.M. Some Characteristics and Impacts of the Drought and Water Crisis in Southeastern Brazil during 2014 and 2015. *J. Water Resour. Prot.* 2016, 8, 252–262.

WILHITE, D. A.; GLANTZ, M.H. Understanding the drought phenomenon: The role definitions. In: WILHITE et al. *Planning for drought toward a reduction of societal vulnerability Colorado: Westview*, 1987. cap. 2, p. 11-14.