

## **ANÁLISE DE EVENTOS CLIMÁTICOS EXTREMOS NA SUB-BACIA 25, GOIÁS, UTILIZANDO ÍNDICE DE PRECIPITAÇÃO PADRONIZADO**

**Roberta Bitencourt dos Santos<sup>(1)</sup>**

Graduanda em Engenharia Ambiental e Sanitária pela Universidade do Estado do Pará (UEPA). Bolsista da Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas (FAPESPA).

**Glauber Epifanio Loureiro<sup>(2)</sup>**

Engenheiro Ambiental e Mestre em Engenharia Civil. Docente da Universidade do Estado do Pará (UEPA).

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Avenida Hiléia, s/nº, Agrópolis do INCRA, Amapá - Marabá - Pará - CEP: 68502-100- Brasil - Tel: +55 (91) 992714369 - e-mail: **robertabitencourtdossantos@gmail.com**

### **RESUMO**

O estudo analisou a variabilidade climática na sub-bacia 25, Goiás, utilizando o Índice Padronizado de Precipitação (SPI) entre 1988 e 2017. Os resultados evidenciaram a influência dos fenômenos El Niño e La Niña nos padrões de precipitação, com períodos de seca extrema (como em 2015) e umidade acima da média (como em 2010-2011). A análise em escalas temporais de 3, 6 e 12 meses destacou tendências de redução hídrica a longo prazo e flutuações sazonais críticas. Concluiu-se que a região é altamente sensível a anomalias climáticas, reforçando a necessidade de monitoramento contínuo e estratégias adaptativas para gestão sustentável dos recursos hídricos e atividades agrícolas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Índices climáticos, período histórico, El Niño/La Niña

### **INTRODUÇÃO**

A sub-bacia 25, localizada no estado de Goiás, desempenha um papel crítico na dinâmica hidrológica do Cerrado, que é um dos biomas mais biodiversos e é crucial para o equilíbrio ecológico no Brasil, afirma Sano et al. (2020). Segundo Costa et al. (2018), esta área, altamente diversa em espécies, também é significativa para a agricultura do país, pois abriga a produção de grãos, carne e fibras.

Essa relevância ecológica e produtiva exige atenção especial quanto à estabilidade dos regimes climáticos, uma vez que o Cerrado é um bioma altamente sensível às variações na disponibilidade hídrica e nas condições atmosféricas. A crescente pressão sobre os recursos naturais da região, somada à expansão agrícola e à transformação do uso do solo, intensifica a necessidade de ferramentas eficazes para o monitoramento climático e o manejo ambiental.

Posteriormente, a influência das mudanças climáticas e da variabilidade da precipitação cria enormes desafios para a gestão sustentável da água da região. A instabilidade dos padrões de chuva, associada a eventos climáticos de grande escala, tende a afetar diretamente tanto os ecossistemas quanto as atividades humanas, como a agricultura e o abastecimento público. Assim, compreender os mecanismos por trás dessas variações climáticas se torna essencial para fortalecer a resiliência ambiental e socioeconômica da bacia.

No passado recente, a incidência de eventos climáticos extremos, como El Niño e La Niña, tem aumentado as secas e inundações, causando uma ampla gama de impactos socioeconômicos e ecológicos. Esses eventos, causados pelas mudanças relacionadas nas temperaturas topográficas do Oceano Pacífico, levam a uma interrupção nos padrões de precipitação em várias regiões brasileiras, incluindo o Centro-Oeste, onde a sub-bacia 25 está situada. A atuação cíclica desses fenômenos interfere diretamente na dinâmica hídrica regional, intensificando períodos de escassez ou excesso de água, o que exige respostas adaptativas por parte da gestão ambiental.

O impacto direto no abastecimento de água e na agricultura é uma preocupação fundamental para os gestores de recursos naturais. Nesse contexto, a utilização de índices climáticos, como o Índice Padronizado de Precipitação (SPI, do inglês *Standardized Precipitation Index*), se torna uma ferramenta essencial para o monitoramento da variabilidade pluviométrica e a identificação de períodos de seca ou umidade (McKee et al., 1993).

O SPI classifica os níveis de precipitação em relação à média ao longo de um determinado período histórico para fornecer uma avaliação empírica dos impactos sistêmicos relacionados à precipitação dentro de prazos que variam de mensal a anual. Ao transformar dados brutos em informações organizadas por classes de severidade climática, o SPI permite análises comparativas e facilita a tomada de decisões em contextos vulneráveis à escassez ou ao excesso de chuvas.

## OBJETIVOS

Este estudo tem como objetivo aplicar o Índice Padronizado de Precipitação (SPI) às séries históricas de precipitação da sub-bacia 25, localizada no estado de Goiás, no período de 1988 a 2017, com o intuito de identificar padrões de variabilidade climática associados aos eventos El Niño e La Niña.

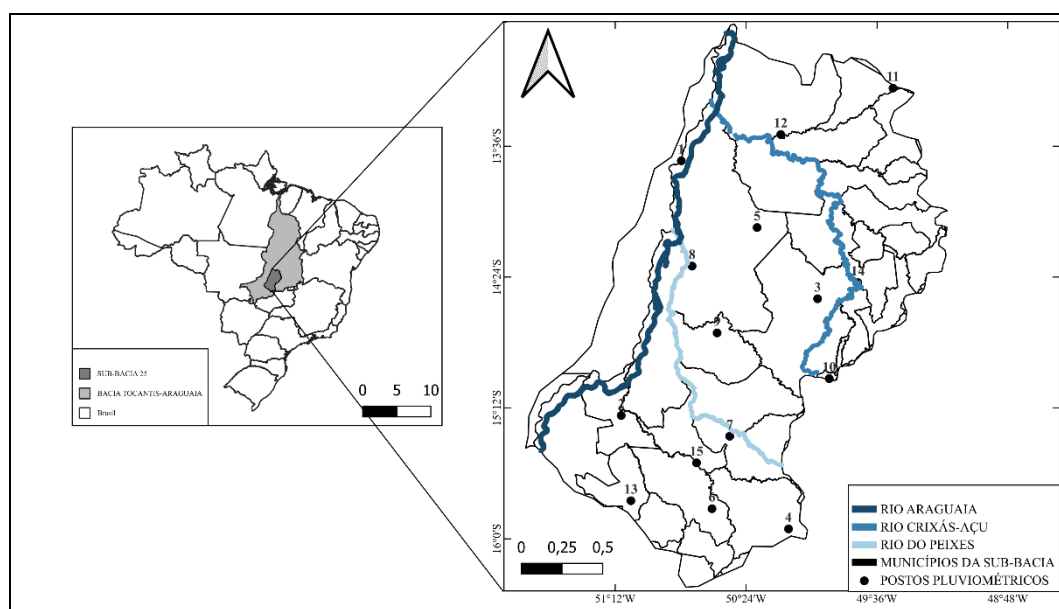
Busca-se, ainda, analisar a resposta hidrológica da região em diferentes escalas temporais (3, 6 e 12 meses), visando subsidiar o planejamento e a gestão dos recursos hídricos frente aos impactos decorrentes da variabilidade climática. A investigação pretende contribuir tecnicamente para a formulação de estratégias de adaptação às mudanças do clima em bacias hidrográficas do Cerrado.

## MATERIAIS

### Área de estudo

A pesquisa foi desenvolvida na sub-bacia hidrográfica 25, localizada no estado de Goiás, região central do Brasil. Esta área está inserida no bioma Cerrado, reconhecido tanto por sua importância ecológica quanto por sua relevância para o agronegócio brasileiro. O rio principal dessa região hidrográfica é o Araguaia, mas conta com dois fortes afluentes, o Crixás-açu e o Peixes.

A Figura 1 apresenta a delimitação geográfica precisa da área de estudo, mostrando a distribuição espacial das 15 estações pluviométricas que foram analisadas. Cada estação pluviométrica conta com o equipamento pluviômetro, o qual registra, em milímetros lineares, a quantidade de chuva. Esta distribuição foi cuidadosamente planejada para garantir uma cobertura representativa de toda a sub-bacia e os rios que estão presentes ali. Nota-se que as estações pluviométricas estão bem próximas aos rios.



**Figura 1: Localização dos postos pluviométricos na sub-bacia hidrográfica 25**

**Fonte: Autores, 2024.**

A tabela 1 permite verificar onde cada posto pluviométrico está situado, facilitando assim a visão de qual rio será impactado com as quantidades de chuvas.

**Tabela 1: Relação das coordenadas geográficas com os n° dos postos pluviométricos citadas no mapa de localização.**

**Fonte: Autores, 2024.**

N°	Código	Postos Pluviométricos	Municípios	UF	Latitude (S)	Longitude (W)
1	1350000	Bandeirantes	Novo Cixás	GO	-13,6894	-50,7961
2	1551000	Britânia	Britânia	GO	-15,2461	-51,1633
3	1449003	Crixas	Crixas	GO	-14,5325	-49,9628
4	83374	Goiás	Goiás	GO	-15,91	-50,13
5	1450002	Governador Leônino	Nova Crixás	GO	-14,0972	-50,3328
6	1550000	Itapirapua	Itapirapuã	GO	-15,8158	-50,6086
7	1550001	Jeroaquara	Faina	GO	-15,3731	-50,5
8	1450000	Lagoa da Flexa	Nova Crixás	GO	-14,3328	-50,7303
9	1450001	Morzalândia	Mozarlândia	GO	-14,7414	-50,5772
10	1549004	Nova América	Nova América	GO	-15,0206	-49,8917
11	1349001	Novo Planalto	Novo Planalto	GO	-13,2447	-49,5017
12	1350001	Rio Pintado	São Miguel do Araguaia	GO	-13,5286	-50,1881
13	1551003	Santa Fé	Santa Fé de Goiás	GO	-15,7672	-51,1044
14	1449002	Santa Terezinha	Santa Terezinha de Goiás	GO	-14,4336	-49,7167
15	1550002	Travessão	Matrinchã	GO	-15,5356	-50,7028

#### **Fonte e seleção de dados pluviométricos**

Os dados utilizados neste estudo consistiram em registros diários de precipitação coletados no período de 1988 a 2017, totalizando 30 anos de informações climáticas. Estes dados foram obtidos através do sistema HidroWeb, mantido pela Agência Nacional de Águas (ANA), que é a principal fonte oficial de informações hidrológicas no Brasil. A seleção das estações pluviométricas seguiu critérios rigorosos, priorizando aquelas com séries históricas mais completas (apresentando menos de 5% de falhas no período analisado) e com distribuição espacial que garantisse uma cobertura homogênea de toda a sub-bacia.

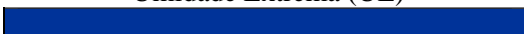
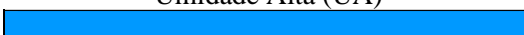

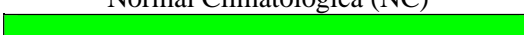
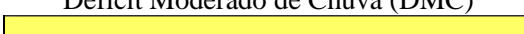


A qualidade dos dados foi ainda verificada através de relatórios técnicos específicos disponibilizados pela ANA. Para enriquecer a análise, foram incorporados ao estudo dados do Índice Oceânico Niño (ONI), obtidos junto ao National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), que permitiram a identificação precisa dos períodos de ocorrência dos fenômenos El Niño e La Niña durante o intervalo temporal estudado.

#### **Tratamento e manipulação**

O processamento e análise dos dados seguiram uma metodologia cuidadosamente estruturada em três etapas principais. Na fase de pré-processamento, as séries temporais foram organizadas e tratadas em planilhas eletrônicas, onde foram calculadas as médias mensais para cada estação. Nesta etapa, foi realizado um rigoroso controle de qualidade, com identificação e correção de valores inconsistentes que pudessem comprometer a análise.

Para o preenchimento de eventuais falhas pontuais nos dados, foi empregada a técnica de média móvel sazonal, utilizando uma janela de três meses. O cálculo propriamente dito do Índice Padronizado de Precipitação (SPI) foi realizado no software *SPIGenerator*, seguindo fielmente a metodologia original proposta por McKee et al. em 1993. Este processo envolveu o ajuste estatístico dos dados de precipitação à distribuição gama, sua posterior transformação para distribuição normal padrão, e finalmente o cálculo do SPI nas três escalas temporais selecionadas para o estudo (3, 6 e 12 meses).

Os resultados foram então classificados conforme os critérios estabelecidos na Figura 2 do estudo. A etapa final de análise espacial envolveu a associação dos valores de SPI obtidos com as coordenadas geográficas de cada estação, permitindo a geração de mapas temáticos no software *Golden Software Surfer*. Estes mapas, criados através de técnicas de interpolação espacial, proporcionaram uma visualização clara e intuitiva dos padrões de seca e umidade identificados na área de estudo.

VALOR SPI	CATEGORIAS COLORIDAS
$\geq 2,00$	Umidade Extrema (UE) 
1,50 a 1,99	Umidade Alta (UA) 
1,00 a 1,49	Umidade Moderada (UM) 
0,99 a -0,99	Normal Climatológica (NC) 
-1,00 a -1,49	Déficit Moderado de Chuva (DMC) 
-1,50 a -1,99	Déficit Alto de Chuva (DAC) 
$\leq -2,00$	Déficit Extremo de Chuva (DEC) 

**Figura 2: Classificação do Índice Padronizado de Precipitação em escala de cores.**

**Fonte: Autores, 2024.**

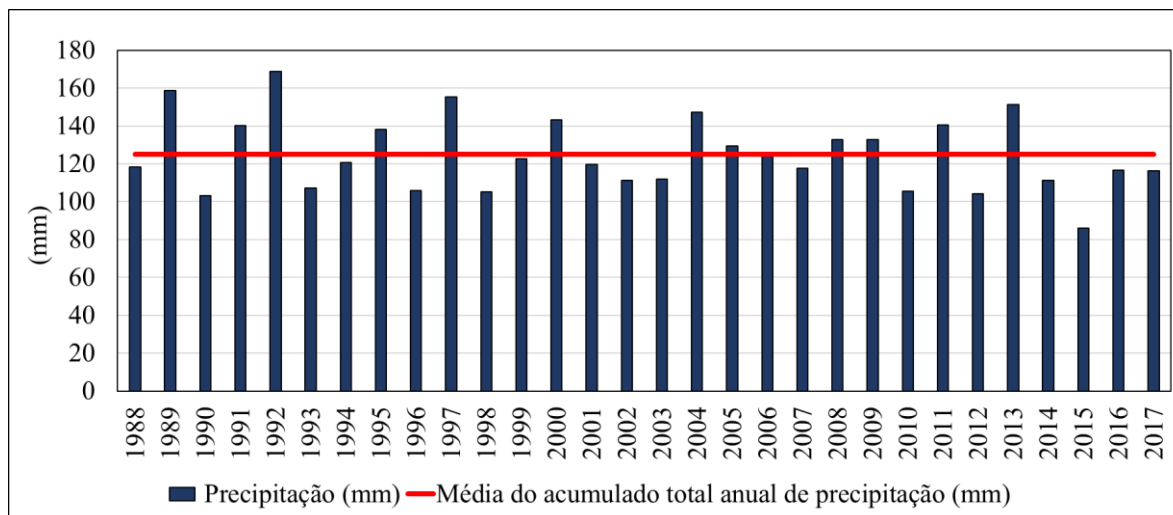
Além disso, foram gerados mapas e gráficos de SPI para cada agrometeorologia a partir de dados, destacando períodos de seca extrema e umidade extrema. Esses valores foram comparados com bases de dados de eventos climáticos expressos, a fim de estabelecer correlações entre as anomalias locais e processos de longa escala.

A validação dos resultados será feita pela comparação com estudos compreendidos anteriormente nesta região, de forma a garantir a consistência dos padrões aferidos e constatados. Essa combinação metodológica nos permite identificar padrões de variabilidade climática e contribuir para o desenvolvimento de respostas à mitigação de seus impactos na gestão hídrica regional.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A aplicação do Índice Padronizado de Precipitação (SPI) na sub-bacia 25, Goiás, revelou padrões significativos de variabilidade climática entre 1988 e 2017. As figuras geradas permitiram uma análise detalhada das tendências de precipitação e sua relação com eventos climáticos globais, como El Niño e La Niña.

A análise dos dados de precipitação na sub-bacia 25 entre 1988 e 2017 revelou padrões climáticos distintos que merecem atenção especial. Conforme ilustrado na Figura 3, que apresenta a precipitação média anual, é possível identificar três períodos climáticos distintos. Entre os anos de 1988 e 1997, a precipitação se manteve relativamente estável, com valores próximos à média histórica da sub-bacia.

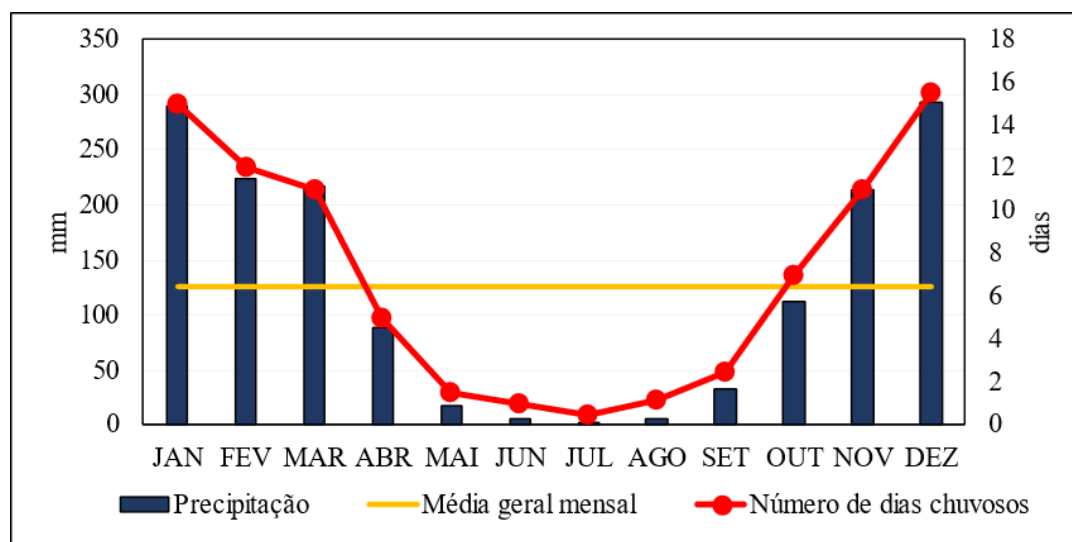


**Figura 3: Média anual da precipitação na sub-bacia 25.**

Fonte: Autores, 2024.

No entanto, destaca-se o ano de 1992 como o mais chuvoso do período, registrando um volume de 168,76 mm, o que sugere um episódio de forte anomalia positiva na disponibilidade hídrica. Em contraste, o ano de 2015 foi o mais seco, com apenas 86,2 mm, o que coincide com a ocorrência de um evento de El Niño de forte intensidade, conforme apresentado na Tabela 2. A partir de 1998, observou-se uma intensificação na variabilidade interanual, com alternância entre anos úmidos e secos, o que reforça a influência dos eventos ENOS (El Niño Oscilação Sul) na dinâmica pluviométrica regional.

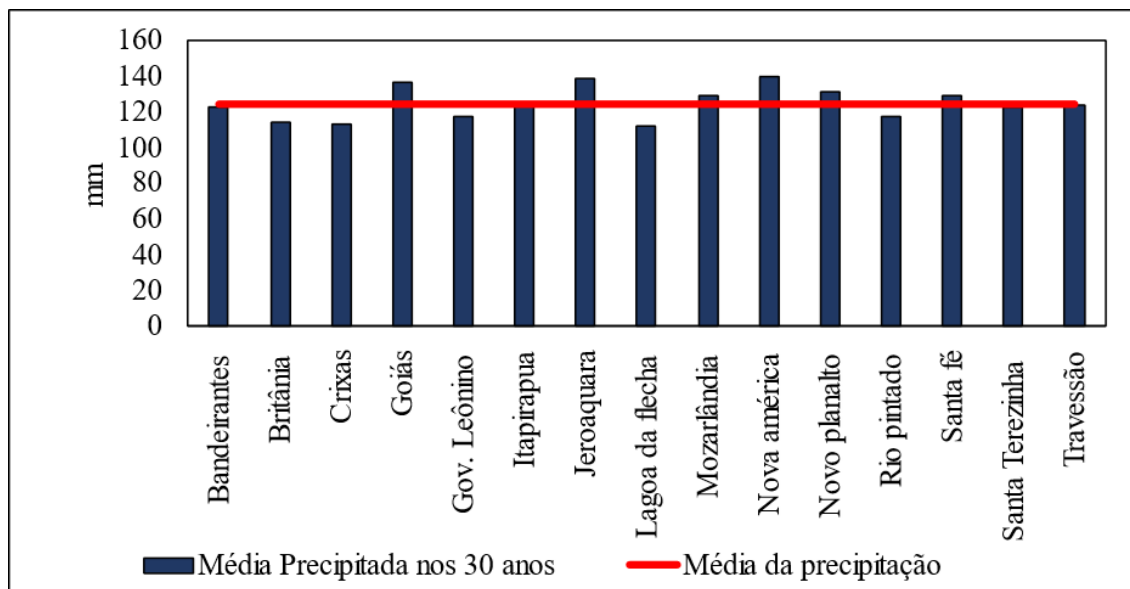
A figura 4, que demonstra a média mensal de precipitação e o número de dias chuvosos, evidencia a sazonalidade típica do bioma Cerrado, com maior concentração de chuvas entre outubro e março, e um período seco entre abril e setembro. Essa distribuição sazonal já representa um desafio natural à gestão hídrica; entretanto, os dados revelam que, durante os anos de El Niño, mesmo os meses tradicionalmente chuvosos apresentaram redução significativa nos volumes pluviométricos. Tal padrão compromete a recarga dos aquíferos e a estabilidade hídrica da sub-bacia.



**Figura 4: Média mensal de precipitação com n° de dias chuvosos na sub-bacia 25.**

Fonte: Autores, 2024.

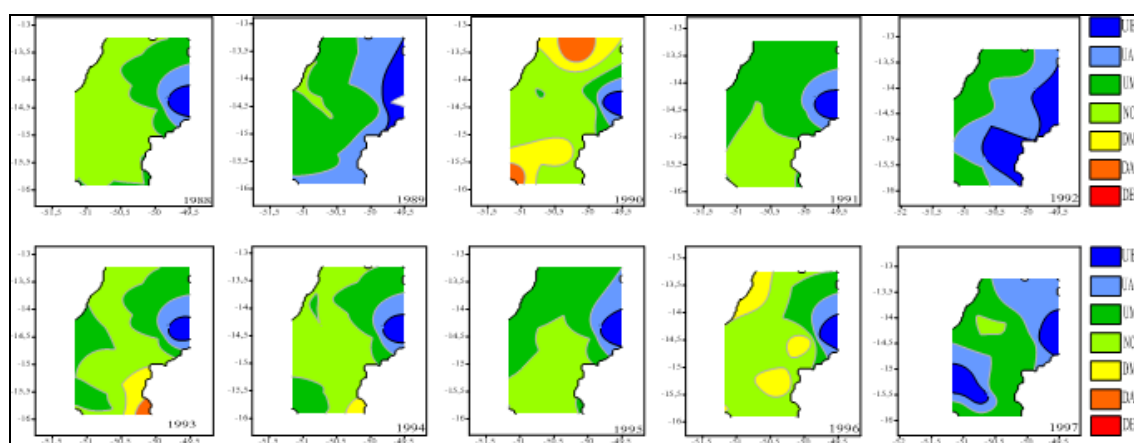
A variação espacial da precipitação é apresentada na Figura 5, o qual consolida a média total de precipitação registrada nos diferentes postos pluviométricos. Observa-se uma heterogeneidade na distribuição espacial das chuvas, com alguns postos indicando volumes significativamente maiores que outros. Essa variação pode estar associada a fatores locais, como altitude, cobertura vegetal e proximidade com os rios principais da sub-bacia, especialmente o Araguaia e seus afluentes, Crixás-açu e Peixes.



**Figura 5: Média total de precipitação nos postos pluviométricos na sub-bacia 25.**
  
**Fonte: Autores, 2024.**

As Figuras 6, 7 e 8 apresentam a distribuição espacial e temporal do SPI nos períodos de 1988-1997, 1998-2007 e 2008-2017, respectivamente.

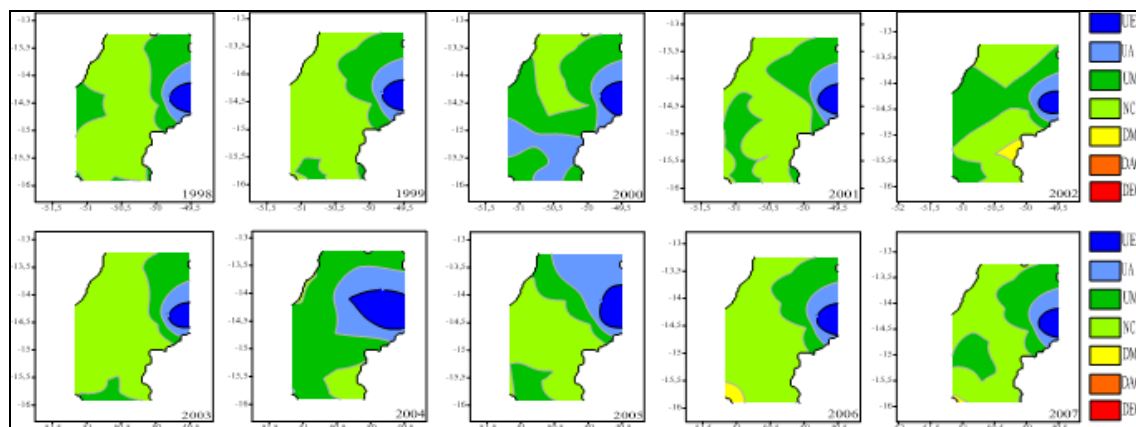
A Figura 6, correspondente ao intervalo de 1988 a 1997, demonstra que nesse período predominam valores próximos à normal climatológica (NC), com episódios esporádicos de umidade moderada (UM) e déficit moderado de chuva (DMC). A estabilidade observada sugere que a sub-bacia 25 ainda não estava sob forte influência de eventos extremos, o que corrobora com a menor incidência de El Niños intensos durante esses anos. Este foi, portanto, um período relativamente equilibrado em termos hidrológicos.



**Figura 6: Índice Padronizado de Precipitação durante o período de 1988 a 1997.**
  
**Fonte: Autores, 2024.**

A Figura 7, que representa o intervalo de 1998 a 2007, revela uma intensificação dos eventos de seca na região. Nota-se o aumento na frequência de categorias como déficit alto de chuva (DAC) e déficit extremo de chuva (DEC), especialmente entre os anos de 1997 e 1998, que coincidem com um El Niño classificado como forte. Essa figura indica uma transição importante no regime climático da sub-bacia, marcando o início de uma fase mais crítica do ponto de vista hídrico.

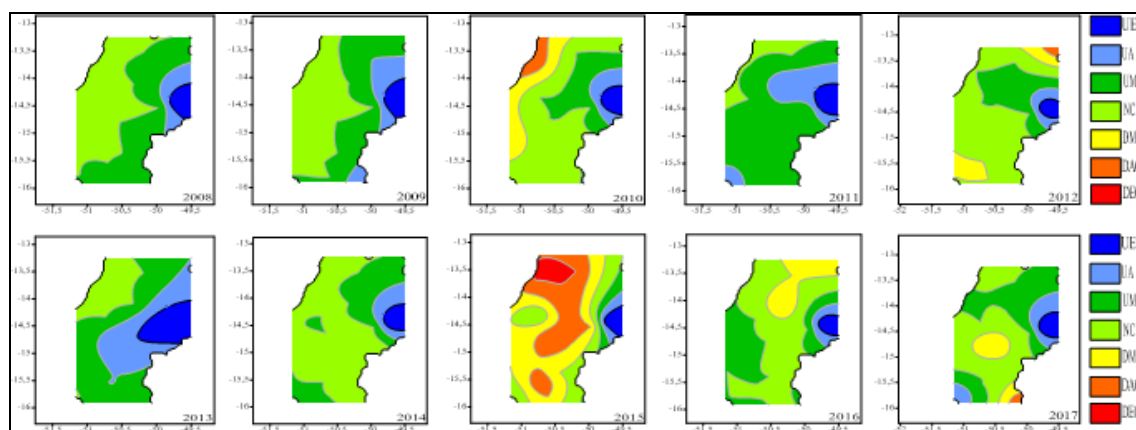




**Figura 6: Índice Padronizado de Precipitação durante o período de 1998a 2007.**

**Fonte: Autores, 2024.**

Por sua vez, a Figura 7, referente ao período de 2008 a 2017, evidencia um agravamento dos déficits hídricos em relação aos períodos anteriores. A maior parte das estações da sub-bacia apresentou SPI negativo, com destaque para áreas sob influência de eventos classificados como seca extrema (DEC). Essa tendência se alinha aos registros do ano de 2015, quando ocorreu mais um episódio de El Niño forte, associado ao menor volume pluviométrico do período estudado. Essa figura ilustra com clareza o cenário de crescente vulnerabilidade hídrica da sub-bacia 25.



**Figura 7: Índice Padronizado de Precipitação durante o período de 2008 a 2017.**

**Fonte: Autores, 2024.**

Esses padrões são reforçados pela Tabela 2, que associa os anos hidrológicos com os fenômenos El Niño e La Niña, classificados por intensidade. Os anos de El Niño forte, como 1997-1998 e 2015-2016, coincidem com os episódios mais críticos de seca registrados pelo SPI. Por outro lado, anos de La Niña, como 2010-2011, apresentaram SPI positivo, refletindo umidade acima da média e contribuindo para a recuperação parcial dos volumes hídricos.

**Tabela 2: Ocorrência de ENOS (Fenômenos La Niña e El Niño), baseado em anos hidrológicos.**

**Fonte: INPE (2023). Org.: Autores (2025).**

Fenômeno	Intensidade	Anos	IESP	Intensidade	Anos
El Niño	Forte	1997-1998, 2015-2016	Déficit (Seca)	Forte	1997-1998, 2015-2016
	Moderada	1991-1992, 2002-2003, 2009-2010		Moderada	2001-2002, 2012-2013
	Fraca	1994-1995, 2004-2005, 2006-2007		Fraca	1994-1995, 2006-2007
La Niña	Forte	1988-1989, 1998-1999, 2007-2008, 2010-2011	Umidade (Chuva acima da média)	Forte	2010-2011
	Moderada	1995-1996, 2000-2001		Moderada	1998-1999, 2007-2008
	Fraca	1996-1997, 2005-2006, 2011-2012		Fraca	1996-1997, 2005-2006

A integração entre o SPI e os registros dos fenômenos ENOS permite inferir que a sub-bacia 25 é altamente sensível às oscilações oceânicas-atmosféricas. A alternância entre eventos secos e úmidos, em especial com a intensificação das secas no período recente, impõe desafios crescentes à gestão dos recursos hídricos, à agricultura e à conservação dos ecossistemas locais.

Portanto, os resultados obtidos neste estudo não apenas confirmam a vulnerabilidade climática da sub-bacia 25, mas também destacam a importância do uso de ferramentas como o SPI para o monitoramento contínuo e a formulação de estratégias de adaptação frente às mudanças do clima. Além disso, reforçam a necessidade de integrar dados meteorológicos, hidrológicos e geoespaciais para uma compreensão mais abrangente dos impactos das anomalias climáticas sobre os territórios hidrográficos do Cerrado.

## CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Este estudo demonstrou que a sub-bacia 25, localizada no Cerrado goiano, apresenta uma clara vulnerabilidade aos fenômenos climáticos de larga escala, como El Niño e La Niña. A aplicação do SPI revelou padrões preocupantes, especialmente a intensificação de secas extremas entre 1998 e 2017, com destaque para os anos de El Niño forte (1997-1998 e 2015-2016). Em contrapartida, períodos de La Niña (como 2010-2011) trouxeram umidade acima da média, evidenciando a alta variabilidade climática da região.

A análise em diferentes escalas temporais (3, 6 e 12 meses) permitiu identificar tanto flutuações sazonais críticas para o balanço hídrico quanto tendências de longo prazo de redução na disponibilidade de água. Esses resultados têm implicações diretas para a gestão dos recursos hídricos, a agricultura e a conservação dos ecossistemas locais, que dependem da estabilidade pluviométrica. contingência e gerenciamento de crise hídrica. Estudos futuros poderiam adicionar outras variações, como alterações no padrão de ocupação do solo e impactos da atividade humana como fatores contribuintes na análise da dinâmica climática regional.

### Recomenda-se, portanto:

- Fortalecer o monitoramento climático: por meio de ferramentas como o SPI, integrando-o a sistemas de alerta precoce para secas e inundações.
- Implementar políticas públicas: que incentivem o uso sustentável da água, como técnicas de irrigação eficientes e a recuperação de áreas degradadas.
- Desenvolver planos de adaptação regional que considerem os impactos dos eventos ENOS (El Niño-Oscilação Sul), incluindo reservatórios estratégicos e culturas agrícolas adaptáveis.
- Ampliar estudos futuros com a inclusão de variáveis como mudanças no uso do solo e pressões antropogênicas, a fim de aprimorar a compreensão dos fatores locais que amplificam os efeitos das mudanças climáticas.

A combinação de dados climáticos, hidrológicos e socioeconômicos é essencial para construir estratégias resilientes, garantindo a sustentabilidade dessa sub-bacia diante de um cenário climático cada vez mais imprevisível.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- i. ANA (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO). *HIDROWEB*. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/apresentação>. Acesso em: 18 ago. 2024.
- ii. COSTA, J. F.; PEREIRA, F. J.; SOARES, A. C. *O Cerrado e suas potencialidades agropecuárias: desafios e perspectivas para a sustentabilidade*. Agropecuária Brasileira, v. 3, p. 1-15, 2018.
- iii. GOLDEN SOFTWARE. *SURFER®* (Versão 17.0.275). Colorado, EUA, 2019. Disponível em: [www.goldensoftware.com](http://www.goldensoftware.com).
- iv. INMET (INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA). *BDMEP*. Disponível em: <https://bdmep.inmet.gov.br/>. Acesso em: 5 ago. 2024.
- v. INPE (INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS). *Dados climáticos: El Niño e La Niña (1988-2017)*. 2023.
- vi. McKEE, T. B.; NICHOLS, N.; MO, K. C. *Um Índice Padronizado de Precipitação para os Estados Unidos*. Colorado State University, Fort Collins, 1993.
- vii. SANO, E. E.; ALMEIDA, J. E.; RIBEIRO, S. L. *Biodiversidade e uso do solo no Cerrado brasileiro: uma análise da dinâmica dos recursos naturais*. Sociedade Brasileira de Ecologia, v. 32, n. 1, p. 50-68, 2020.