

ÍNDICES DE TELECONEXÕES EM PROJEÇÕES CLIMÁTICAS

Pedro Lucas Lopes da Silveira Silva¹ (IC), Michelle Simões Reboita (PQ)¹¹Universidade Federal de Itajubá.**Palavras-chave:** Índices. SPEI. Variabilidade climática**Introdução**

Períodos de secas e úmidos fazem parte da variabilidade climática natural de certas regiões. Essas condições estão projetadas para que se tornem mais frequentes e intensas devido às mudanças climáticas (Marengo et al., 2016). Isso pode agravar os desafios enfrentados por essas regiões, exigindo maior atenção e adaptação por parte das comunidades e governos.

A Organização Meteorológica Mundial (WMO, 2012) ressalta que eventos climáticos secos e úmidos afetam diversos setores sociais e econômicos. Marengo (2010) destaca que a seca prolongada provoca escassez de água para consumo humano e dessedentação animal.

Por outro lado, condições climáticas úmidas extremas estão associadas a uma série de impactos devastadores, que incluem inundações severas e deslizamentos de terra (Marengo e Espinoza., 2016). Esses fenômenos prejudicam comunidades e ecossistemas, causando perdas econômicas, danos à infraestrutura e aumentando riscos à segurança e à saúde pública.

Indicadores como o Índice Padronizado de Precipitação-Evapotranspiração (SPEI) são utilizados para identificar e quantificar extremos climáticos, fornecendo dados sobre frequência, intensidade e duração desses eventos. O SPEI, desenvolvido por Vicente Serrano et al. (2010), evoluiu a partir do Índice Padronizado de Precipitação (SPI), proposto por McKee et al. (1993).

Com isso, o estudo tem como objetivo usar o SPEI para caracterizar o número de eventos secos e úmidos globalmente, analisando três períodos: o histórico (1995-2014) e dois futuros (2040-2059 e 2080-2099). Serão avaliadas as durações médias, picos médios e máximos desses eventos, com base nas projeções do cenário SSP5.85 do IPCC.

Metodologia

A área de estudo abrange todo o globo terrestre, com latitudes que vão de -90° a 90° e longitudes de -180° a 180°. Essa cobertura global inclui desde as regiões polares, que enfrentam condições climáticas extremas, até os trópicos, caracterizados por padrões climáticos variados. Este trabalho utilizou dados mensais de precipitação e temperatura mínima e máxima do modelo MPI-ESM1-2-LR, disponíveis na plataforma ESGF (<https://esgf-ui.ceda.ac.uk/cog/search/cmip6-ceda/>), para o cenário SSP5-8.5.

Os dados abrangem o período histórico de 1995 a 2014 e projeções futuras de 2015 a 2100, com resoluções horizontais de 1.875°x1.85° em longitude e latitude. Após o download, os dados foram organizados em *time slices*: histórico (de 1995 a 2014) e futuro (de 2040 a 2059 e de 2080 a 2099), visando facilitar a visualização. Os dados futuros utilizam o cenário RCP-8.5, que representa um futuro de altas emissões de gases de efeito estufa, com crescimento econômico acelerado, dependência de combustíveis fósseis e estilos de vida com alto consumo energético (RIAHI et al., 2017).

Para monitorar e quantificar os eventos climáticos extremos, tanto secos quanto úmidos, foi utilizado o SPEI. Uma das principais vantagens do SPEI é sua aplicação em diferentes escalas temporais. Neste trabalho, foi utilizado o SPEI de 6 meses, considerando o mês escolhido e os 5 anteriores. Os eventos podem ser classificados como moderados, severos ou extremos, tanto úmidos quanto secos. Também é possível calcular parâmetros como número de eventos, duração, pico médio e máximo.

Valores do SPEI**Classificação**

Acima de 2,00	Extremamente úmido
Entre 1,50 e 1,99	Severamente úmido
Entre 1,00 e 1,49	Moderadamente úmido
Entre -1,49 a -1,00	Moderadamente seco
Entre -1,99 a -1,50	Severamente seco
Menor do que -2,00	Extremamente seco

Tabela 01 - Classificação do SPEI (Bae et al., 2018).

Resultados e discussão

Durante o período histórico representado na Figura 1A, observa-se que a duração dos períodos secos é mais prolongada nas regiões polares e no Pacífico tropical. Na América do Sul, os períodos de maior duração estão localizados no nordeste do Brasil. Entretanto, os cenários futuros apresentados nas Figuras 1B e 1C mostram uma tendência de aumento na duração desses eventos. Sob o cenário SSP5-8.5, espera-se que os dias considerados secos aumentem de forma considerável, tanto em frequência quanto em duração, especialmente em regiões já propícias à aridez, como porções da América do Sul e do nordeste brasileiro. A análise desses dois períodos futuros mostrou que, para o final do século (figura 2C), os eventos secos se tornam bem mais intensos. Também fica evidente nas figuras 1B e 1C que as regiões oceânicas, assim como as regiões polares, são bem propícias ao aumento das condições secas.

A Figura 1D-E indica a quantidade de eventos secos, e a análise desses eventos, dividida em três períodos temporais, revela uma relação com a frequência e a duração das secas em cenários futuros. Ao analisar a Figura 1D, nota-se que o número de eventos considerados secos são bem recorrentes. Nas Figuras 1E e 1F, observa-se que, em algumas regiões, o total de eventos secos tende a diminuir em cenários futuros, especialmente ao comparar a Figura 1F com a 1D. Nessa comparação, as regiões polares apresentam uma menor ocorrência desses eventos em relação ao período histórico (Figura 1D). Essa redução na quantidade de eventos pode, à primeira vista, sugerir uma melhora nas condições climáticas futuras ou uma menor exposição de períodos de estiagem. No entanto, ao comparar essa informação com a figura 1A-C, que representa a duração desses eventos secos, surge um cenário mais preocupante, de forma que eventos futuros,

embora menos frequentes, apresentam uma duração significativamente maior.

Esse aumento na duração dos eventos secos futuros (Figuras 1E-F) é um aspecto fundamental para compreender as dinâmicas das secas em cenários de mudanças climáticas. A redução na frequência de eventos não significa necessariamente uma gravidade menor. Pelo contrário, as secas mais prolongadas podem resultar em impactos mais severos em setores como a agricultura e os recursos hídricos.

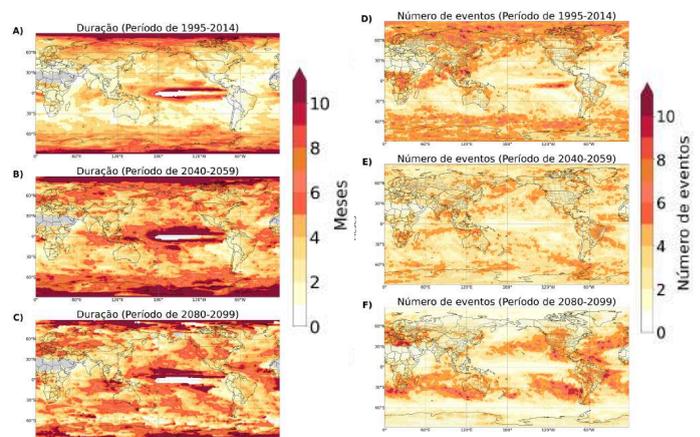


Figura 1 – Duração, em meses, dos eventos secos divididos em três cortes temporais (Figuras 1A-C). Número de eventos secos divididos em três cortes temporais (Figuras 1D-F).

A Figura 2A ilustra eventos extremamente secos, com valores inferiores a -2, que ocorrem em grande parte da área oceânica e em algumas regiões continentais, como o sul do continente africano e a maior parte da Europa. Nos dois períodos temporais de cenários futuros (Figuras 2B e 2C), observa-se um padrão de aumento na severidade dos eventos secos, evidenciando que, enquanto os eventos moderados, com valores entre -1 e -1,49, estão diminuindo em frequência, os eventos severos e extremos estão aumentando em grande parte do território.

Os picos médios, que representam a média dos eventos mais intensos em cada ponto da grade, revelam uma clara tendência de intensificação dos períodos secos em cenários futuros. Ao comparar os valores médios dos picos entre o período histórico (Figura 2D) e os eventos futuros (Figuras 2E-F), nota-se um aumento significativo dos eventos extremos secos, indicando não

apenas uma maior duração (Figura 1A-C), mas também uma maior intensidade. A elevação dos picos médios dos valores negativos do SPEI reforça essa projeção, indicando que as condições de seca estão se agravando sob cenários de emissões elevadas, tornando os períodos secos mais severos e prolongados no futuro.

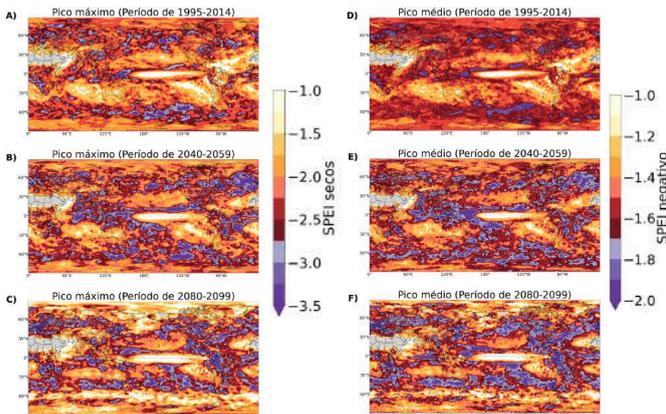


Figura 2 – Pico máximo, menor valor do índice SPEI para cada ponto de grade, dos eventos secos divididos em três cortes temporais (Figuras 2A-C). Pico médio de eventos secos divididos em três cortes temporais (Figuras 2D-F).

A Figura 3A-C mostra a duração dos períodos úmidos, oferecendo uma visão clara das mudanças climáticas observadas e projetadas em diversas regiões do mundo. A Figura 1A, que representa o período histórico, indica que, embora períodos úmidos de magnitude considerável sejam comuns, eles permanecem dentro dos padrões esperados, refletindo a variabilidade natural do clima, especialmente em áreas com maior umidade, como florestas tropicais.

No entanto, ao analisar as figuras subsequentes com foco em cenários de emissões climáticas (Figuras 3B-C), percebe-se um aumento significativo na duração dos períodos úmidos em regiões específicas. O cenário mais alarmante ocorre nas zonas polares e no Pacífico tropical leste-central, região influenciadas pela oscilação El Niño-Sul, onde se projeta um aumento acentuado na duração dos períodos úmidos. Nas regiões polares, a ampliação da área úmida pode ser atribuída a mudanças nos padrões atmosféricos causadas pelo derretimento do gelo. Esse aumento de umidade influencia diretamente o índice SPEI e altera o equilíbrio de energia, resultando em uma intensificação da circulação de umidade.

A análise dos eventos úmidos ao longo dos

períodos temporais mostra uma mudança significativa nas ocorrências futuras, especialmente na faixa tropical. Durante o período histórico (Figura 3D), os eventos úmidos são mais frequentes nessas regiões, devido à maior umidade disponível e aos sistemas atmosféricos característicos das zonas tropicais que favorecem a precipitação. Nos cenários futuros, com base em diferentes trajetórias de emissões climáticas (Figuras 3D-F), observa-se uma mudança significativa. As imagens indicam um aumento no número de eventos úmidos em algumas regiões, enquanto nas áreas tropicais há uma diminuição na frequência desses eventos. Isso demonstra que, enquanto os períodos úmidos se tornam menos recorrentes na faixa tropical, os eventos secos começam a dominar essa região (Figuras 1E-F).

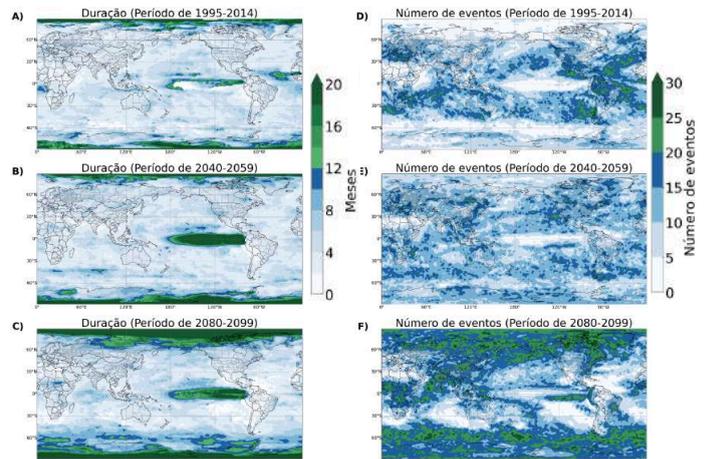


Figura 3 – Duração, em meses, dos eventos úmidos divididos em três cortes temporais (Figuras 3A-C). Número de eventos úmidos divididos em três cortes temporais (Figuras 3D-F).

A análise da Figura 4A-C, que mostra os picos máximos dos períodos úmidos ao longo do tempo, revela variações significativas entre os períodos históricos e futuros, com implicações importantes para eventos extremos de precipitação. Assim como nas figuras anteriores, essas diferenças são notáveis tanto para os períodos secos quanto para os úmidos. No cenário histórico, os eventos úmidos extremos, com valores superiores a 2, estão predominantemente concentrados na faixa tropical.

As projeções futuras (Figuras 4B-C) apresentam uma perspectiva alarmante. Embora os picos máximos de eventos úmidos permaneçam semelhantes aos do

período histórico, a intensidade desses eventos tende a aumentar em regiões que antes não registravam eventos úmidos extremos. Isso indica que, no futuro, os eventos úmidos extremos se tornarão mais frequentes e severos em várias áreas.

A análise do pico médio (Figuras 4D-F) dos eventos úmidos ao longo do tempo destaca uma intensificação da severidade desses eventos nos cenários futuros, assim como o que foi discutido na análise da figura do pico máximo (figura 4A-C). No período histórico (figura 4D), os eventos úmidos extremos e severos são concentrados, predominantemente, nas regiões tropicais.

As projeções para cenários futuros (Figuras 4E-F) indicam uma mudança drástica no comportamento dos eventos úmidos. Além do aumento na frequência, os valores médios dos picos destes eventos mostram que áreas historicamente isentas de precipitação extrema começarão a experimentar eventos mais severos. Essa intensificação dos eventos úmidos futuros é alarmante, pois revela que, além de mais frequentes, os eventos extremos estão se tornando mais intensos.

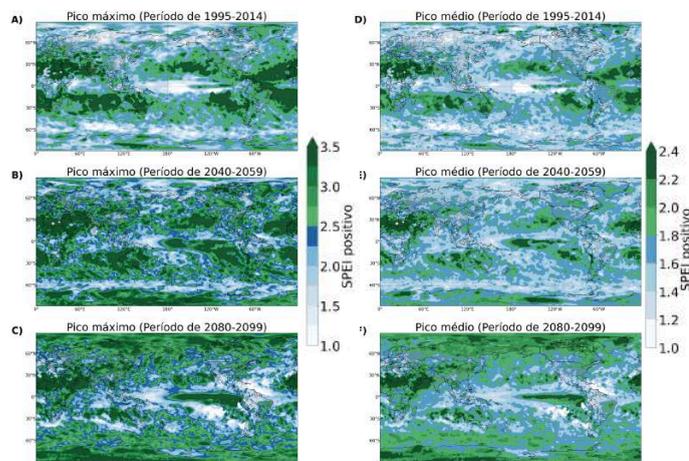


Figura 4 – Pico máximo, maior valor do índice SPEI para cada ponto de grade, dos eventos úmidos divididos em três cortes temporais (Figuras 4A-C). Pico médio de eventos úmidos divididos em três cortes temporais (Figuras 4D-F).

Conclusões

As análises do modelo MPI-ESM1-2-LR, para o cenário SSP5-8.5, mostram que tanto os períodos úmidos e secos aumentam de forma considerável a sua duração quanto o número de eventos, principalmente

para o final da década, período de 1980 até 2099. O aumento da duração desses eventos pode agravar os efeitos adversos e intensificar os desafios de adaptação. Para os picos máximos e médios, úmidos e secos, temos que, quando comparados ao período histórico, eventos úmidos e secos extremos aumentam a frequência, principalmente em regiões que não apresentavam essas ocorrências extremas.

De forma geral, essa mudança nos padrões de períodos úmidos e secos exige uma atenção especial nas estratégias de mitigação e adaptação às mudanças climáticas, focando não apenas na frequência, mas também em outros parâmetros como a duração desses eventos extremos.

Agradecimentos

Os autores agradecem aos centros meteorológicos que disponibilizaram os dados utilizados neste estudo e a FAPEMIG, CAPES e PROEX-UNIFEI pelo auxílio financeiro.

Referências

- BAE, Seungjong et al. Analysis of drought intensity and trends using the modified SPEI in South Korea from 1981 to 2010. *Water*, v. 10, n. 3, p. 327, 2018.
- MARENGO, JOSE A., ANA P. CUNHA, AND LINCOLN M. ALVES. "A seca de 2012-15 no semiárido do Nordeste do Brasil no contexto histórico." *Revista Climática* 3 (2016)
- MARENGO, José Antonio; ESPINOZA, Jhan Carlo. Extreme seasonal droughts and floods in Amazonia: causes, trends and impacts. *International Journal of Climatology*, v. 36, n. 3, 2016.
- MARENGO, JOSE A. "Vulnerabilidade, impactos e adaptação à mudança do clima no semiárido do Brasil." *Parcerias estratégicas* 13.27 (2010)
- VICENTE-SERRANO, Sergio M.; BEGUERÍA, Santiago; LÓPEZ-MORENO, Juan 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.