

Comparação entre os Índices SPI e SPEI e sua Concordância com o Monitor de Secas em Minas Gerais (2020-2023)

Hudson F. Lopes¹, Carlos A. Silva¹, Renato M. Filho¹

¹Instituto Federal de Minas Gerais (IFMG) - CEP 34.590-390 – Sabará, MG – Brasil

hudsonferreira00@gmail.com, {carlos.silva, renato.miranda}@ifmg.edu.br

Abstract. *This study aims to compare the SPI and SPEI drought indices in characterizing droughts in the state of Minas Gerais between 2020 and 2023, using meteorological data from INMET. The indices were calculated and classified according to drought severity tables from the literature, then compared with each other and with the records of the Brazilian Drought Monitor. The results indicate that both SPI and SPEI indices did not show agreement with the Drought Monitor for Moderate Drought, Severe Drought, Extreme Drought, and Exceptional Drought levels. Additionally, the number of matches between SPI/Monitor and SPEI/Monitor was similar, with Weak Drought being the most predominant severity. The study showed that the presence of the SRI in the combination of indices that make up the Drought Monitor may be one of the reasons for the low agreement between it and the other indices.*

Resumo. *Este estudo tem como objetivo comparar os índices meteorológicos de seca SPI e SPEI na caracterização de secas no Estado de Minas Gerais entre 2020 e 2023, utilizando dados meteorológicos do INMET. Os índices foram calculados e classificados conforme tabelas de severidade de seca da literatura, sendo posteriormente comparados entre si e com os registros do Monitor de Secas Brasileiro. Os resultados indicam que ambos os índices SPI e SPEI não apresentaram concordâncias para os níveis de Seca Moderada, Seca Grave, Seca Extrema e Seca excepcional com o Monitor de Secas. Além disso, houve quantidade de acertos similares de SPI/Monitor e SPEI/Monitor, sendo predominante a Seca Fraca entre as severidades. O estudo mostrou que a presença do índice hidrológico SRI na combinação de índices que compõem o Monitor de Secas pode ser um dos motivos para a baixa concordância entre ele e os outros índices.*

1. Introdução

Um dos grandes desafios da sociedade no mundo atual são as mudanças climáticas, e no Brasil não é diferente. Nas regiões cujo clima semiárido predomina, parte da população brasileira é afetada por longos períodos de seca, pois a água necessária para o dia a dia diminui drasticamente em virtude das chuvas irregulares e do nível de evaporação aumentado [Santos 2020]. Diferentes segmentos da sociedade estudam e mantêm informações sobre os fenômenos climáticos que acontecem ao redor do mundo. No Brasil, o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) [INMET 2024] é um órgão federal que possui ferramentas como o Sistema de Suporte à Decisão na Agropecuária (SISDRAGRO) [SISDRAGRO 2024] com dados abertos periódicos que estão disponíveis para o acesso da população.

Este estudo busca analisar a variabilidade climática em Minas Gerais, com foco na caracterização dos eventos de seca. Para isso, foram utilizados o Índice Padronizado de Precipitação (SPI) [McKee et al. 1993] e o Índice Padronizado de Precipitação e Evapotranspiração (SPEI) [Beguería et al. 2014], amplamente empregados no monitoramento climático. O objetivo principal é comparar esses índices e avaliar qual deles apresenta maior concordância com os registros dos informativos do Monitor de Secas Brasileiro [Monitor de Secas do Brasil ANA 2024] disponíveis em SIMGE [SIMGE 2025]. Além disso, será investigada a influência do tamanho da população e da localização de municípios da região semiárida, nas características climáticas.

São calculados os índices e classificados conforme as tabelas de severidade de seca. De posse dos resultados, analisam-se as concordâncias entre os valores e, não havendo, inferem-se possíveis motivos para essas diferenças acontecerem, tendo como base o escopo dos índices. Além disso, são feitas observações sobre a influência dos resultados quanto ao tamanho das populações locais e em relação aos parâmetros das equações. Assim as cinco menores, Carbonita, Florestal, Formoso, Juramento, Coronel Pacheco e as cinco maiores, Belo Horizonte, Juiz de Fora, Montes Claros, Governador Valadares, Sete Lagoas, de acordo com [MIDR 2024], são os municípios contidos nesse estudo.

Para esse estudo buscou-se informações populacionais dos municípios de Minas Gerais referentes ao último censo no [MIDR 2024]. Também foram coletados dados sobre o clima no [SISDAGRO 2024] necessários para cálculos dos índices SPI e SPEI. Utilizamos neste trabalho a linguagem de programação Python com a biblioteca SPEI [Vonk 2024], específica para cálculo dos índices de seca. Os dados foram manipulados para garantir a integridade do conjunto e, posteriormente, utilizá-los no processamento dos índices. Os resultados obtidos foram trabalhados para que estivessem categorizados de acordo com a Classificação de Severidade de Seca SPI [McKee et al. 1993]/SPEI [Beguería et al. 2014] para posteriormente serem comparados com os resultados contidos nos Informativos de Secas do Monitor de Secas [SIMGE 2025].

Os arquivos Informativos de Seca retirados do [SIMGE 2025] foram organizados para que fossem separadas todas as severidades registradas em cada mês nos municípios mineiros. Filtrou-se, então, as cidades escolhidas para este estudo, identificando o nível mais grave de seca ocorrido em cada uma delas no período compreendido entre janeiro de 2020 e novembro de 2023.

Com os resultados de SPI e SPEI, e do Monitor de Secas preparados, foram realizadas contagens dos eventos de seca, categorizados como: SEM SECA, SECA FRACA (S0), SECA MODERADA (S1), SECA GRAVE (S2), SECA EXTREMA (S3), SECA EXCEPCIONAL (S4). Também foram verificadas as correlações entre os SPI e Monitor de Secas, SPEI e Monitor de Secas, além dos índices SPI/SPEI.

Nas ocorrências de SPI e SPEI foram vistos níveis de seca mais severos durante o período analisado. Observou-se também entre esses índices, mais proximidade na quantidade de meses em que aconteceram algum tipo seca. O Monitor de Secas, por sua vez, não registrou episódios de SECA GRAVE (S2), SECA EXTREMA (S3) E SECA EXCEPCIONAL (S4), indicando uma divergência significativa em relação à gravidade dos eventos reportados pelos índices SPI e SPEI.

As correlações entre SPI/Monitor e SPEI/Monitor apresentaram menor con-

cordância em comparação com a correlação entre SPI e SPEI. Enquanto SPI e SPEI frequentemente coincidiram na identificação de eventos de seca, a inclusão do Monitor de Secas nas comparações resultou em uma redução na concordância. Uma possível explicação para essa divergência é a incorporação do índice hidrológico SRI na composição do Monitor de Secas, que combina informações de SPI e SPEI com dados hidrológicos.

Não foi possível identificar uma correlação significativa entre o tamanho dos municípios e os índices de seca analisados. Da mesma forma, não se observou uma associação clara entre os municípios localizados no semiárido e níveis específicos de seca.

Este trabalho está organizado da seguinte forma: a Seção 2 apresenta a revisão bibliográfica, abordando o fenômeno da seca e as métricas utilizadas. Os materiais e métodos empregados estão descritos na Seção 3. Os resultados obtidos são apresentados na Seção 4. Por fim, a Seção 5 traz as conclusões e sugestões para trabalhos futuros.

2. Revisão Bibliográfica

Dotado de diversos climas, o Brasil possui em todas as suas cinco regiões eventos de seca [Brito 2021]. Mesmo não tendo definição única sobre este fenômeno, pode-se considerar que a seca se dá quando determinada região é afetada pela diminuição de chuva abaixo do normal [Santos 2020]. O acontecimento desse fenômeno geralmente é percebido quando comparadas a duração, intensidade e localização do período sem chuva.

Além da seca, a Defesa Civil brasileira também identifica a estiagem como uma condição caracterizada pela redução, atraso ou ausência temporária de chuvas, diferenciando-a da seca propriamente dita. No contexto das classificações relacionadas à escassez hídrica, são destacados os fenômenos de seca, aridez, escassez e desertificação, cada um com critérios específicos para sua identificação [Santos 2020].

A persistência da seca em uma determinada região pode gerar impactos ambientais, econômicos e sociais significativos. No Brasil, observa-se um crescimento na frequência desses períodos de estiagem, especialmente nas regiões semiáridas, que historicamente apresentam maior vulnerabilidade a esse fenômeno [Moreira 2016].

2.1. A Região de Estudo - Minas Gerais

Minas Gerais (MG) é uma unidade da federação que está localizada no Sudeste Brasileiro com aproximados 590 mil km² de área territorial, entre as latitudes 14° 13' 57" S e 22° 55' 47" S e as longitudes 39° 51' 24" W e 51° 02' 56" W., sendo o segundo estado mais populoso do Brasil, com população aproximada de 21 milhões de habitantes [Petrucci et al. 2022].

O Estado de Minas Gerais foi escolhido como objeto de estudo devido à presença de uma porção do semiárido brasileiro em sua região norte. Essa área se destaca no contexto estadual, pois concentra a maior parte dos eventos de escassez hídrica registrados [Petrucci et al. 2022]. Além disso, é caracterizada por um clima seco, com temperaturas elevadas, baixa capacidade hídrica e grande dificuldade na previsão de chuvas.

Segundo o [MIDR 2024] de 1991 a 2022, foram registradas 3.186 ocorrências de períodos com estiagem ou seca que afetaram cerca de 7,91 milhões de pessoas, desabrigando, cerca de 1,8 mil pessoas e levando 64 a óbito na região norte de Minas Gerais.

2.2. Panorama sobre o Semiárido

Com cerca de 1 milhão de quilômetros quadrados o semiárido brasileiro (Figura 1) compreende 12% do território nacional [INSA 2025]. Essa área abrange 1477 municípios distribuídos entre os estados de Alagoas, Bahia, Ceará, Espírito Santo, Maranhão, Minas Gerais, Paraíba, Pernambuco Piauí, Rio Grande de Norte e Sergipe [IBGE 2024], com uma população de quase de 28 milhões de habitantes nas zonas urbanas com 62% da população e rurais 38% [INSA 2025]. O semiárido é caracterizado pelo clima seco com altas temperaturas, baixa capacidade hídrica e difícil previsão de chuva. Embora essa região possua um dos maiores índices pluviométricos do planeta dentre as regiões semiáridas, podendo chegar a 800 milímetros, outros locais semiáridos possuem a média anual entre 80 e 250 milímetros. A distribuição irregular das chuvas, associada a um índice de evaporação superior à quantidade de precipitação anual, provoca escassez hídrica, impactando diretamente a população local [da Cruz et al. 2018].

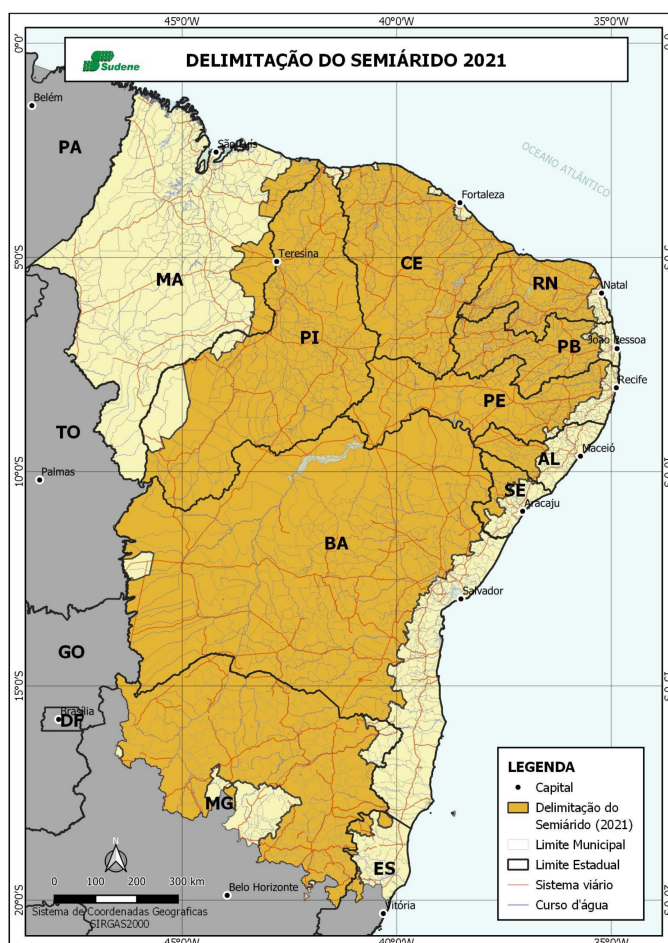


Figura 1. Delimitação do Semiárido Brasileiro 2021 - [SUDENE 2021]

Segundo [Moreira 2016] a delimitação do semiárido brasileiro é balizada por três critérios:

1. *Precipitação pluviométrica média anual inferior a 800 milímetros;*

2. Índice de aridez de até 0,5 calculado pelo balanço hídrico que relaciona as precipitações e a evapotranspiração potencial no período entre 1961 e 1990; e
3. Risco de seca maior que 60%, tomando-se por base o período entre 1970 e 1990.

Em Minas Gerais, 91 municípios fazem parte dessa região [INSA 2025]. Entre as cidades deste estudo, Formoso, Juramento, Montes Claros e Governador Valadares fazem parte do território do Semiárido [SUDENE 2021]. Assim, o semiárido em Minas Gerais, mostrado na Figura 2, compreende o Norte do estado e o Vale do Jequitinhonha.

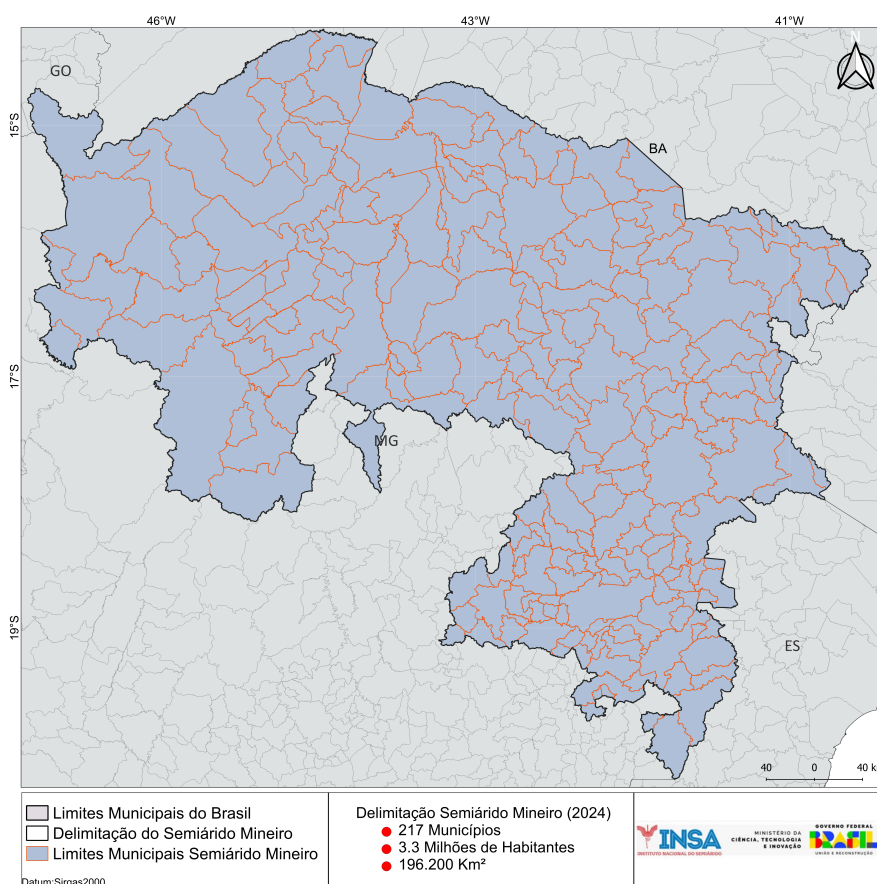


Figura 2. Delimitação do Semiárido Mineiro 2024 [INSA 2025]

2.3. O Monitor de Secas Brasileiro

A dificuldade de se apontar o início de um período de seca e mensurar o nível em relação a intensidade, gravidade, abrangência e tempo, criam problemas que afetam a economia, o setor agrícola e o meio ambiente durante as janelas de seca. Os resultados desse período só são vistos ao fim de muito tempo [Beguiría et al. 2024]. Contudo, planejar formas para monitorar secas e ter de antemão um plano de ações que minimizem impactos da estiagem é possível, uma vez que este fenômeno ocorre de forma lenta e gradativa [Santos 2020].

Embora sejam necessárias medidas de gestão de seca para minimização dos impactos, o Brasil não possui em seu passado sólidos planos de gestão. Quando em tempos de estiagem, o governo tem histórico de adoção de ações de gestão de crise,

movimentações urgentes para resolução, transcorrendo geralmente quando já está estabelecida a seca como um problema [Santos 2020].

Surge então o Monitor de Seca [Martins et al. 2015], construído a partir de outubro de 2013. O Monitor de Secas é uma ferramenta criada durante um período de longa seca no nordeste brasileiro com o intuito de se abrigar dentro da Política Nacional de Secas um ciclo de gestão proativa e reativa. Com a criação do monitor o Governo Federal visava monitorar, identificar, avaliar potenciais secas, estando preparado para atenuar impactos.

Apoiado por entidades e órgãos nacionais e internacionais o sistema coleta dados e utiliza-os na classificação das condições climáticas, mostrando secas de curto prazo de 3 a 6 meses ou de longo prazo de 12 a 24 meses. Embora sejam recomendados dados de 30 anos ou mais [Santos 2020], o Monitor de Secas Brasileiro utiliza médias de 10 anos para estações [Martins et al. 2015] para calcular e categorizar a severidade da seca.

Como não se pode unificar os índices devido as particularidades dos diferentes setores, regiões e recursos, o Monitor baseia-se na combinação de três índices de seca para avaliação: o SPI - Índice Padronizado de Precipitação - e o SPEI - Índice Padronizado de Precipitação e Evapotranspiração -, que são índices meteorológicos, além de um hidrológico, o SRI - Indicador Padronizado de Escoamento . Alguns elementos como anomalias na precipitação, umidade de solo, índice de saúde de vegetação e outros, são utilizados para composição do monitor acrescentando aos índices informações relevantes, sobretudo, no cálculo para locais onde a obtenção de dados é difícil ou inexistente. A Tabela 1 do Monitor de Secas é uma adaptação do *National Drought Mitigation Center*, Lincoln, Nebraska, EUA e categoriza a seca, descrevendo os impactos, intensidade e os valores para classificação [Martins et al. 2015].

Em novembro de 2018, Minas Gerais foi o primeiro estado fora da região nordeste a integrar o Monitor de Secas [IGAM 2025]. No mês de setembro de 2019, o IGAM - Instituto Mineiro de Gestão das Águas - começa o treinamento que culminaria na entrada para a equipe de autoria do Mapa em janeiro de 2020. Diariamente o IGAM monitora os recursos hídricos e o clima através do SIMGE - Sistema de Meteorologia e Recursos Hídricos de Minas Gerais [SIMGE 2025]. Os arquivos informativos do Monitor de Secas estão disponíveis no portal do SIMGE. Para a realização deste estudo, foi selecionado o período de janeiro de 2020 a novembro de 2023.

2.4. Instituto Nacional de Meteorologia (INMET)

O Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) [INMET 2024] é um órgão vinculado ao Ministério da Agricultura e Pecuária que monitora, analisa e prevê as condições meteorológicas no Brasil. Um dos principais objetivos do Instituto é aportar os setores de Agricultura, Marinha, Aeronáutica, Pesca, Turismo, Defesa Civil, estados, municípios, distritos e população com informações que auxiliem nas tomadas de decisões.

O INMET dispõe de diversos equipamentos meteorológicos que auxiliam a monitorar o clima nas regiões, as formações de nuvens e identificar possíveis fenômenos adversos. Como representante do Brasil na Organização Meteorológica Mundial (OMM), o instituto também é responsável pela gestão dos dados provenientes de centros de meteorologia em toda a América do Sul.

Tabela 1. Estágios de seca, ou categorias, as quais definem a intensidade de seca no Mapa do Monitor. [Martins et al. 2015]

Categoria	Percentil	Descrição	Impactos Possíveis	SPI/SPEI
S0	30 %til	Seca Fraca	Entrando em seca: veranico de curto prazo diminuindo plantio, crescimento de culturas ou pastagem. Saindo de seca: alguns déficits hídricos prolongados, pastagens ou culturas não completamente recuperadas.	-0,5 a -0,7
S1	20 %til	Seca Moderada	Alguns danos às culturas, pastagens; córregos, reservatórios ou poços com níveis baixos, algumas faltas de água em desenvolvimento ou iminentes; restrições voluntárias de uso de água solicitadas.	-0,8 a -1,2
S2	10 %til	Seca Grave	Perdas de cultura ou pastagens prováveis; escassez de água comuns; restrições de água impostas.	-1,3 a 1,5
S3	5% til	Seca extrema	Grandes perdas de culturas / pastagem; escassez de água generalizada ou restrições.	-1,6 a -1,9
S4	2 %til	Seca Excepcional	Perdas de cultura / pastagem excepcionais e generalizadas; escassez de água nos reservatórios, córregos e poços de água, criando situações de emergência.	<-2

De hora em hora o INMET recebe os dados sobre o clima por meio de 750 estações divididas entre seus 10 Distritos de Meteorologia e após tratamento desses dados, acompanha a situação climatológica em todo país e prevê o comportamento do clima nas próximas 174 horas. Esses dados estão disponíveis em tempo real na página do INMET que conta com informações desde o ano de 1961 em formato digital [INMET 2024].

O INMET também disponibiliza uma ferramenta de suporte à gestão agropecuária, denominada Sistema de Suporte à Decisão na Agropecuária (SISDAGRO). Esse sistema permite o monitoramento das condições agrometeorológicas vigentes até a data da consulta, além de fornecer previsões para os cinco dias subsequentes [SISDAGRO 2024]. Entre os principais recursos disponibilizados estão o Balanço Hídrico e Perda de Produtividade, o Índice de Vegetação e os Graus de Vegetação. Através do SISDAGRO, foram obtidos os dados de Precipitação e Evapotranspiração de Referência utilizados nos cálculos deste trabalho.

2.5. Índices de Monitoramento de Seca

Segundo [Gonçalves et al. 2021] “*os índices são representações numéricas que expressam e quantificam, por meio de valores, a severidade e magnitude das secas, facilitando a determinação da interpretação de um evento ou característica*”. Esses indicadores, no entanto, possuem em suas determinações uma gama de variáveis que expressam particularidades de cada setor ou região. Isso faz com que não seja possível unificar os diversos

índices de seca em um único [Martins et al. 2015].

Há distinções entre índices e indicadores, segundo [Santos 2020]. Indicadores meteorológicos e hidrológicos, são variáveis ou parâmetros como Temperatura, Evapotranspiração, Precipitação Padronizada, Balanço hídrico, Umidade do solo, Anomalia etc [SANTOS 2011], que podem compor as formulações dos índices. Os índices são a parte numérica calculada a partir dos indicadores; podendo também ser considerados também indicadores [Santos 2020]. Cada autor emprega diversas variáveis, ajustes, distribuições em seus métodos. [SANTOS 2011] indica que alguns parâmetros trazem resultados mais adequados em cenários diferentes.

Ao longo dos séculos 20 e 21 índices como: o Índice de Severidade de Seca de Palmer (PDSI,1965), SPI (Índice de Precipitação Padronizado, 1993), IAC (Índice de Anomalia de Chuva) [Petrucci et al. 2022], SPEI (Índice de Precipitação e Evapotranspiração Padronizado), o SRI (Índice Padronizado de Escoamento) [Santos 2020], entre outros, foram desenvolvidos para medir períodos chuvosos ou estios nas mais diversas situações do meio ambiente. Os índices SPI e SPEI foram escolhidos pela facilidade no cálculo de ambos [McKee et al. 1993] [Beguería et al. 2014] e por serem os dois índices meteorológicos que fazem parte do Monitor de Secas [Martins et al. 2015].

A Tabela 2 contém os valores dos índices SPI e SPEI, categorizados desde seca extrema à chuva extrema, conforme [McKee et al. 1993] e [Beguería et al. 2024]. As cores e nomenclaturas foram adaptadas baseando-se na classificação dos autores.

Tabela 2. Classificação de Severidade de Seca SPI [McKee et al. 1993]/ SPEI [Beguería et al. 2024] / Monitor [Martins et al. 2015] - Adaptado.

CLASSIFICAÇÃO	SPI	SPEI
SECA EXCEPCIONAL(S4)	<-2,0	<-2,33
SECA EXTREMA (S3)	-1,99 a -1,50	-2,33 a -1,66
SECA GRAVE (S2)	-1,49 a -1,25	-1,65 a -1,29
SECA MODERADA (S1)	-1,24 a -1,00	-1,28 a -0,84
SECA FRACA (S0)	-0,99 a -0,49	-0,83 a -0,1
Quase Normal/ SEM SECA	0,48 a 0,00	0 a 0,83
Chuva Leve	N/A	0,84 a 1,27
Chuva Moderada	N/A	1,28 a 1,64
Chuva Severa	N/A	1,65 a 2,32
Chuva Extrema	N/A	>2,33

[McKee et al. 1993] considera os níveis de seca: *mild* (0,00 a -0,99), *moderate* (-1,00 a -1,49), *severe* (-1,50 a -1,99) e *extreme* (-2,00). Para melhor visualização e comparação adaptou-se a nomenclatura para SECA FRACA (S0), SECA MODERADA (S1), SECA GRAVE (S2), SECA EXTREMA (S3), SECA EXCEPCIONAL (S4), utilizando o padrão do Monitor de Secas, e dividiu-se o intervalo do nível de Seca Moderada entre (1,00 a 1,24) mantendo a nomenclatura e inserindo a SECA GRAVE, utilizada no Monitor para o intervalo entre (1,25 e 1,49), a fim de que as visualização e comparação sejam melhores.

Os autores de [McKee et al. 1993] não classificam a quantidade de precipitação no SPI, razão pela qual o nível de chuva não é considerado na Tabela 2. Por outro

lado, no SPEI, [Beguería et al. 2014] incorporam a quantidade de precipitação em sua classificação.

2.5.1. Índice Padronizado de Precipitação (SPI)

O SPI - Índice Padronizado de Precipitação (*Standardized Precipitation Index*) - é usado para monitorar chuvas e secas, prevendo eventuais períodos nos quais algum fenômeno pode ocorrer, além de ser uma forma propícia para verificar as alterações em quaisquer das cinco fontes de água utilizáveis [Santos 2020].

Criado por [McKee et al. 1993] em 1993, o SPI traz como premissa a precipitação padronizada. Essa metodologia é de simples cálculo (Equação 5), utilizando a diferença entre a quantidade de chuva observada e a quantidade média de chuva numa janela de tempo determinada, e então dividindo esse resultado pelo desvio padrão. Para se aplicar a fórmula do SPI [Santos et al. 2017] indica o cálculo prévio da função gama $g(x)$ (Equação 1).

$$g(x) = \frac{X^{\alpha-1} * e^{-\frac{x}{\beta}}}{\beta^{\alpha}\Gamma(\alpha)} \quad (1)$$

Onde $\Gamma(\alpha)$ representa a função gama completa, sendo α e β os parâmetros de forma e escala, respectivamente, e x a precipitação (mm), com todas essas variáveis assumindo valores maiores que zero. Os parâmetros α e β são determinados pelas Equações 2 e 3, respectivamente.

$$\alpha = \frac{1}{4A} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right) \quad (2)$$

$$\hat{\beta} = \frac{\bar{x}}{\alpha} \quad (3)$$

A partir da equação apresentada, obtém-se β , enquanto A é calculado considerando n como o número de precipitações observadas e x como o valor médio da chuva, conforme a Equação 4.

$$A = \ln(\hat{x}) - \frac{\sum \ln(x)}{n} \quad (4)$$

[McKee et al. 1993] aponta uma dificuldade para o cálculo já que os dados de chuva não são distribuídos normalmente para um conjunto anual. Ao aplicar uma alteração à distribuição o autor resolve o problema utilizando agrupamentos dos valores de precipitação padronizada em períodos de tempo. Desta forma, o SPI é capaz de mostrar resultados dos efeitos da falta de água causados pela seca de curto e longo prazo caracterizados na tabela de chuva e seca 2 usando grupos de 3, 4, 6, 12, 24 e 48 meses para determinar os impactos em um período. Uma vez que um mês acaba, pode-se acrescentar os novos dados às informações pluviométricas, ajustando a média móvel, a função gama $g(x)$ e a probabilidade de chuva para se obter resultado atualizados. A quantidade

de dados é algo que impacta diretamente nos resultados, uma vez que a amostra cresce, a acurácia para determinação de fenômenos climáticos também aumenta.

[Santos 2020] apresenta a Tabela 2 com categorias e valores do SPI e descreve o roteiro para o cálculo como:

1. *É preparado um banco de dados mensais de precipitação para um período de n meses. Idealmente, deve haver, no mínimo, 30 anos de série histórica. O conjunto de dados é atualizado a cada mês, uma vez que um novo valor é determinado a partir dos meses anteriores;*
2. *Os conjuntos de dados para cada período de n meses são ajustados à função Gama para definir a probabilidade de ocorrência da precipitação;*
3. *Calcula-se a probabilidade de ocorrência de determinado valor de precipitação para cada período e, a partir da inversa da distribuição normal padrão (de média zero e desvio padrão igual a um), encontram-se os desvios de precipitação em relação à média para os períodos observados. Esse é o valor do SPI (Equação 5).*

Após o ajuste da distribuição gama, o índice pode ser calculado como [Santos et al. 2017] descreve a fórmula do SPI (Equação 5) para P_i , sendo a precipitação observada \bar{P}_i subtraída da média da série e dividido pelo desvio padrão σ_i para classificação da tabela de [McKee et al. 1993].

$$SPI = Z = \frac{P_i - \bar{P}_i}{\sigma_i} \quad (5)$$

2.5.2. Índice Padronizado de Precipitação e Evapotranspiração (SPEI)

O Índice Padronizado de Precipitação e Evapotranspiração (SPEI) é uma métrica criada por [Beguería et al. 2014] com a qual se é possível graduar o nível de severidade de seca por meio da relação de tempo e espaço podendo ser calculado para diferentes climas. Sua fórmula vai além da simplicidade do SPI no quesito abrangência de variáveis de clima, mantendo os itens assinalados por [Keyantash and Dracup 2002] como de grande relevância: tendo baixo nível de dificuldade de cálculos, sendo estatisticamente contundente e sem complexidade no entendimento de sua formulação.

[Beguería et al. 2014] descreve que o SPI e outros índices possuem duas suposições “i) *variabilidade da precipitação é muito maior do que a de outras variáveis (por exemplo, a demanda evaporativa da atmosfera); ii) as outras variáveis são estacionárias (ou seja, não tem tendência temporal)*”, sendo de pouca importância os outros parâmetros. Contudo alguns autores alertam para a temperatura como uma variável que influencia fortemente no grau de severidade das secas; se a temperatura é maior, por conseguinte mais grave o nível de seca.

Com base em estudos sobre a análise dos impactos da seca conduzidos por diversos autores, [Beguería et al. 2014] propõe, na formulação do SPEI, a inclusão da evapotranspiração de referência (ET_o) como um parâmetro adicional à precipitação. Essa abordagem permite incorporar variações e padrões de temperatura ao índice de seca sem aumentar a complexidade do cálculo, além de utilizar diferentes escalas temporais semelhantes às do SPI. Dessa forma, o SPEI amplia sua aplicabilidade em diversas áreas de

estudo da seca, incluindo obtenção e monitoramento de dados, análise de diferentes tipos de seca, avaliação de impactos e previsão de condições futuras, aspectos nos quais o SPI apresenta limitações [Beguería et al. 2024].

O cálculo do SPEI baseia-se no SPI, utilizando como entradas os valores de precipitação mensal (ou semanal), dos quais é subtraída a evapotranspiração de referência, resultando no balanço hídrico climático simples (Equação 6). Na formulação do ETo, [Beguería et al. 2014] considera dados de evapotranspiração provenientes de dois métodos distintos: o de Thornthwaite e o FAO-56 Penman–Monteith. No entanto, o modelo de obtenção do SPEI proposto por [Beguería et al. 2024] não especifica diretamente qual dessas equações, ou qualquer outra, deve ser utilizada.

$$D_i = P_i - ET_{o_i} \quad (6)$$

Com um valor para evapotranspiração de referência definido, o balanço hídrico fornece uma medida simples do excedente ou déficit hídrico para o período analisado, após ser calculada a diferença entre a precipitação P_i e o ET_{o_i} , onde i corresponde ao período mensal (ou semanal).

[Beguería et al. 2014] define Log-logistic como uma distribuição de modelagem para a série D e L-moment como método para obter os parâmetros α de escala, β de forma e γ de origem, e descreve a função de densidade de probabilidade $f(x)$ na série D ($\gamma > D < \infty$) conforme a Equação 7.

$$f(x) = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{x-y}{\alpha} \right)^{\beta-1} \left(1 + \left(\frac{x-y}{\alpha} \right)^{\beta} \right)^{-2} \quad (7)$$

onde os parâmetros de L-moment são obtidos pelas Equações 8, 9 e 10,

$$\beta = \frac{2W_1 - W_0}{6W_1 - W_0 - 6W_2} \quad (8)$$

$$\alpha = \frac{(W_0 - 2W_1)\beta}{\Gamma(1 + \frac{1}{\beta})\Gamma(1 - \frac{1}{\beta})} \quad (9)$$

$$\gamma = W_0 - \alpha \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \Gamma\left(1 - \frac{1}{\beta}\right) \quad (10)$$

e sendo $\Gamma(\beta)$ a função gama de β .

[Beguería et al. 2014] descreve a aplicação da técnica de Momentos Ponderados por Probabilidade (PWMs), utilizando as Posições de Plotagem de Posição propostas por [Hosking 1990]. Na formulação inicial, o desvio padrão da série pode sofrer alterações significativas, impactando a comparação dos valores do SPEI. Para corrigir essa variação na função de escala temporal, evitar distorções nos PWMs e ajustar o SPEI para diferentes regiões do mundo, [Beguería et al. 2024] recomenda o uso da expressão apresentada na Equação 11.

$$w_s = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (1 - f_i)^x D_i \quad (11)$$

sendo f_i ,

$$f_i = \frac{i - 0.35}{n} \quad (12)$$

Considerando N quantidade de dados, i o mês e D_i o balanço hídrico. A função de distribuição de probabilidade de D Log-Logística então é dada por:

$$F(x) = \left[1 + \left(\frac{\alpha}{x - \gamma} \right)^{\beta} \right]^{-1} \quad (13)$$

Após o cálculo de $F(x)$ com todos os parâmetros ajustados, a probabilidade é determinada da seguinte forma: para $P \leq -0,5$, a probabilidade de um valor D ser excedido é dada por $P = 1 - F(x)$. Caso $P > -0,5$, ocorre a inversão de P , transformando-o em $1 - P$ e alterando seu sinal. O valor do SPEI pode então ser obtido de forma simplificada por meio da aproximação de Abramowitz and Stegun [Beguería et al. 2014], conforme apresentado a seguir:

$$W = 2\ln(P) \quad (14)$$

O valor do SPEI é resultado da expressão:

$$SPEI = W - \frac{C_0 + C_1W + C_2W^2}{1 + d_1W + d_2W^2 + d_3W^3} \quad (15)$$

Ficando as constantes definidas como: $C_0 = 2.515517$, $C_1 = 0.802853$, $C_2 = 0,10328$, $C_3 = 0.010328$, $d_1 = 1.432788$, $d_2 = 0.189269$, $d_3 = 0.001308$, o valor médio de SPEI igual a 0 e o desvio padrão 1. Assim, o SPEI é padronizado e torna-se um valor capaz de ser comparado com outros ao longo de períodos e espaços. [Beguería et al. 2024] indica que “Um SPEI 0 indica um valor correspondente a 50% da probabilidade cumulativa de D , numa distribuição Log-Logística”.

2.5.3. Índice Padronizado de Escoamento (SRI)

O Monitor de Secas possui além dos índices meteorológicos SPI e SPEI, o indicador hidrológico SRI Índice Padronizado de Escoamento (*Standardized Runoff Index*). Ele apresenta características hidrológicas da seca e possui propriedades que agregam ao Monitor, verificando o comportamento dos parâmetros de escoamento nos processos hidrológicos e observando a influência causada defasagens temporais [Santos 2020]. Os itens hidrológicos observados para inclusão no Monitor de Secas [Martins et al. 2015] são:

- *indicador simples;*
- *consistente com o processo de escoamento;*
- *evite o uso dos dados diretos de vazão e nível devido a problemas como influência de reservatórios, inconsistência nas séries, ausência ou problemas na informação de liberações dos reservatórios na maioria dos estados;*
- *faz uso das características da distribuição temporal da precipitação diária que estão relacionadas com o escoamento superficial;*
- *possa ser calculado para cada estação pluviométrica, facilitando assim o desenho do Mapa do Monitor; e*
- *normalizado para as categorias do Monitor, facilitando sua interpretação.*

Nesse indicador, assim como no SPI e no SPEI, a precipitação é uma variável importante, sobretudo em sua concentração. O cálculo do SRI é semelhante ao do SPI, alterando a escala temporal, sendo aplicado somente a série de dados mensais [BACALHAU 2015]. Na implementação feita pela FUNCEME junto com a Agência Nacional de Águas (ANA), o método de cálculo utilizado foi [Martins et al. 2015]:

$$SRI = \sum_{i=1}^N L_i W_i \quad (16)$$

Seja L_i a duração do i -ésimo período úmido e W_i a função de L_i , definida da seguinte forma: quando $L_i < 10$, então $W_i = 1$; caso contrário, se $L_i > 10$, então $W_i = 5$. Para garantir a caracterização do período úmido, considera-se a ocorrência de pelo menos três dias consecutivos com precipitação superior a 10 mm. Dessa forma, à medida que o índice aumenta, o escoamento também cresce. O período de tempo utilizado para o cálculo segue a mesma escala de 3 e 4 meses adotada no SPI e no SPEI [Martins et al. 2015].

3. Materiais e Métodos

Os dados para análise dos índices de secas foram retirados do [INMET 2024] e do [SISDAGRO 2024], que fornecem informações climatológicas obtidas das medições feitas pelas estações meteorológicas automáticas e convencionais de monitoramento. Para os cálculos dos SPI e do SPEI utilizou-se os dados de Precipitação e Evapotranspiração.

Para implementação dos códigos utilizou-se a linguagem de programação Python [Lopes 2024] e a biblioteca SPEI de [Vonk 2024], que é capaz de calcular diversos índices de seca como, por exemplo: SPI, SPEI, SGI, SSFI e SSMI.

Com base nos dados demográficos de Minas Gerais [MIDR 2024], foram selecionados os municípios que possuem estações meteorológicas ativas, com as menores e

maiores populações. Entre os municípios com as cinco menores populações estão Carbonita, Florestal, Formoso, Juramento e Coronel Pacheco, enquanto os cinco mais populosos são Belo Horizonte, Juiz de Fora, Montes Claros, Governador Valadares e Sete Lagoas. Para a análise, foram filtrados e agrupados apenas os municípios que possuem estações meteorológicas ativas.

Após essa seleção, os arquivos contendo os parâmetros climáticos necessários para o cálculo dos índices foram obtidos a partir do banco de dados do [SISDAGRO 2024], abrangendo registros diários do período de janeiro de 2010 a dezembro de 2023.

Os dados utilizados para comparação com os índices foram extraídos dos Informativos do Monitor de Secas, disponibilizados por [SIMGE 2025] e [IGAM 2025]. Esses dados foram baixados, processados e organizados de forma que os parágrafos contendo as categorias de seca e os municípios abrangidos fossem separados. Em seguida, foram filtradas apenas as dez cidades selecionadas para o estudo, e os dados resultantes foram armazenados em *dataframes* para análise.

Para cada *dataframe*, correspondente aos municípios com as maiores e menores populações, os diferentes níveis de seca registrados em um mesmo mês foram analisados. Apenas o nível de maior severidade foi considerado para comparação. Ao final do processamento, os dados referentes às cidades que apresentaram as categorias mais elevadas de seca foram consolidados nos *dataframes* para o período de 47 meses.

Obteve-se os resultados dos índices SPI e SPEI de todas as estações do território mineiro através da biblioteca SPEI [Vonk 2024] com agrupamentos mensais de 2020 a 2023, período determinado em virtude de ser a janela com maior volume de dados mensais consecutivos do Monitor de Secas para a realização das comparações. De posse dos resultados, os *dataframes* com os resultados de SPI e SPEI foram salvos em planilhas para que a manipulação fosse feita sem que houvesse necessidade de recalculiar os índices.

Em seguida, as colunas foram padronizadas, os campos não numéricos de estações que não possuíam registros foram substituídos por valores nulos, filtrados os dados apenas dos 48 meses de janeiro de 2020 a dezembro de 2023 e os municípios foram separados em dois grupos: os cinco com as maiores e os cinco com as menores populações. A partir dos valores dos indicadores e com base na Tabela 2, foi criado um *dataframe* contendo os níveis de severidade da seca, permitindo a comparação com os níveis registrados pelo Monitor de Secas.

Para os municípios que possuem mais de uma estação meteorológica ativa, seja do tipo Convencional ou Automática, e considerando que todas apresentam dados consistentes nos meses analisados, foi escolhida aleatoriamente uma das estações para ser utilizada na comparação.

A comparação da severidade de seca é feita levando em conta: SPI/Monitor, SPEI/Monitor, SPI/SPEI - sendo utilizada no Monitor a severidade mais alta encontrada no Informativo do Monitor de Secas Brasileiro.

4. Resultados

Os resultados a seguir mostram os valores calculados dos índices SPI e SPEI utilizando a biblioteca SPEI de [Vonk 2024] e o informativo do Monitor de Secas obtidos no portal

do SIMGE [SIMGE 2025]. Foi retirada do informativo a indicação de maior gravidade de seca ocorrida em cada mês.

4.1. Ocorrências de Seca por Índices e Monitor de Seca

As tabelas a seguir, mostram os acontecimentos de eventos de seca das cinco menores e maiores cidades com base nos valores calculados e, posteriormente categorizadas as severidades conforme as Tabela 2 dos índices SPI e SPEI, e da Tabela 1 do Monitor. O informativo do Monitor de Secas referente ao mês de dezembro de 2023 não estava disponível nos [SIMGE 2025] [IGAM 2025], portanto em todas as Tabelas há a categoria “DADOS AUSENTES” que referenciam o mês indisponível.

Ao analisar a quantidade de acontecimentos de seca ao longo do período, a Tabela 3 encontrou-se em Carbonita 16 ocorrências de SECA FRACA (S0) para o índice SPI e 15 ocorrências para o SPEI, além de 25 ocorrências no Monitor de Secas. Em relação a SECA MODERADA (S1), 2 vezes para SPI, 3 vezes para SPEI e 9 vezes para o Monitor. Utilizando os índices SPI e SPEI ainda obtivemos 1 episódio de SECA GRAVE (S2) em cada.

Tabela 3. Ocorrências de Seca - SPI, SPEI, Monitor: Carbonita e Florestal

SEVERIDADE DE SECA	CARBONITA			FLORESTAL		
	SPI	SPEI	Monitor	SPI	SPEI	Monitor
DADOS AUSENTES	0	0	1	0	0	1
SEM SECA	29	29	13	24	24	22
SECA FRACA (S0)	16	15	25	19	18	18
SECA MODERADA (S1)	2	3	9	0	3	7
SECA GRAVE (S2)	1	1	0	3	2	0
SECA EXTREMA (S3)	0	0	0	2	1	0
SECA EXCEPCIONAL (S4)	0	0	0	0	0	0

Em Florestal, na Tabela 3 contou-se 19 momentos de SECA FRACA (S0) do índice SPI e 18 do SPEI, além de 18 no Monitor. A SECA MODERADA (S1) foi vista em SPEI 3 vezes e 7 vezes no Monitor. Em 3 meses no SPI e 2 meses no SPEI, foi observada a SECA GRAVE (S2). E a SECA EXTREMA (S3) ocorreu em 2 momentos no SPI e 1 em SPEI.

Houve no município de Formoso igualdade em três níveis de seca: 12 SECA FRACA (S0), 2 SECA MODERADA (S1), 2 SECA GRAVE no SPI e SPEI, e o Monitor apresentou 24 vezes SECA FRACA (S0) e 3 SECA MODERADA (S1), como mostra a Tabela 4.

Em Juramento, resultados iguais foram vistos de SECA FRACA (S0) em 12 vezes no SPI e SPEI, além de 24 no Monitor que teve SECA MODERADA (S1) em 3 momentos. Na Tabela 4 percebe-se que SPI e SPEI ainda apresentaram 1 evento cada de SECA EXTREMA (S3) e SECA EXCEPCIONAL (S4).

Por fim, entre as menores, Coronel Pacheco na Tabela 5 mostrou 23 ocorrências SECA FRACA (S0) no SPI, 22 no SPEI e 16 no Monitor. Já a SECA MODERADA (S1)

Tabela 4. Ocorrências de Seca - SPI, SPEI, Monitor: Formoso e Juramento

SEVERIDADE DE SECA	FORMOSO			JURAMENTO		
	SPI	SPEI	Monitor	SPI	SPEI	Monitor
DADOS AUSENTES	0	0	1	0	0	1
SEM SECA	32	32	20	34	34	20
SECA FRACA (S0)	12	12	24	12	12	24
SECA MODERADA (S1)	2	2	3	0	0	3
SECA GRAVE (S2)	2	2	0	0	0	0
SECA EXTREMA (S3)	0	0	0	1	1	0
SECA EXCEPCIONAL (S4)	0	0	0	1	1	0

foi vista em 2 vezes no SPI, 3 no SPEI e 4 no Monitor. SPEI ainda apresentou 1 SECA GRAVE (S2) e 1 SECA EXTREMA, essa última que também aconteceu 2 vezes em SPI.

Tabela 5. Ocorrências de Seca - SPI, SPEI, Monitor: Coronel Pacheco

SEVERIDADE DE SECA	CORONEL PACHECO		
	SPI	SPEI	Monitor
DADOS AUSENTES	0	0	1
SEM SECA	21	21	27
SECA FRACA (S0)	23	22	16
SECA MODERADA (S1)	2	3	4
SECA GRAVE (S2)	0	1	0
SECA EXTREMA (S3)	2	1	0
SECA EXCEPCIONAL (S4)	0	0	0

Entre as maiores cidades, a Tabela 6 indica que Belo Horizonte teve SECA FRACA (S0) em 11 observações do índice SPI, 10 vezes em SPEI e 14 no Monitor. Já SECA MODERADA (S1) em SPI 2 vezes, 4 em SPEI, 5 no Monitor. Também houve SECA EXTREMA (S3) 1 vez no SPI e SPEI cada.

Na sequência, a Tabela 6 mostra também Juiz de Fora com SECA FRACA (S0) em 24 meses em SPI, 19 em SPEI e 17 no Monitor. SECA MODERADA (S1) 1 vez SPI, 6 em SPEI, 4 no Monitor. Observamos também uma igualdade em duas severidades para SPI e SPEI com 1 vez de SECA EXTREMA (S3) e SECA EXCEPCIONAL (S4) cada.

Em Montes Claros, SPI e SPEI foram idênticos para SECA FRACA (S0) em 9 meses, 24 no Monitor, conforme mostrado na Tabela 7. Ainda observamos 7 episódios de SECA MODERADA (S1) no Monitor, 2 vezes de SECA GRAVE (S2) no SPEI, 1 no SPI, 1 SECA EXTREMA (S3) no SPI.

A Tabela 7 tem ainda Governador Valadares apresentando SECA FRACA (S0) em 14 vezes no índice SPI, 11 em SPEI e 13 meses no Monitor. SECA MODERADA (S1) apareceu em 2, 5, 9 meses para os índices SPI, SPEI e Monitor, respectivamente. O SPEI 4 SECA GRAVE (S2) e 1 em SPI. SPI mostrou 3 SECA EXTREMA (S3) e 1 vez SECA EXCEPCIONAL (S4), que também apareceu 1 vez em SPEI.

Tabela 6. Ocorrências de Seca - SPI, SPEI, Monitor: Belo Horizonte e Juiz de Fora

SEVERIDADE DE SECA	BELO HORIZONTE			JUIZ DE FORA		
	SPI	SPEI	Monitor	SPI	SPEI	Monitor
DADOS AUSENTES	0	0	1	0	0	1
SEM SECA	34	33	28	21	21	26
SECA FRACA (S0)	11	10	14	24	19	17
SECA MODERADA (S1)	2	4	5	1	6	4
SECA GRAVE (S2)	0	0	0	1	1	0
SECA EXTREMA (S3)	1	1	0	1	1	0
SECA EXCEPCIONAL (S4)	0	0	0	0	0	0

Tabela 7. Ocorrências de Seca - SPI, SPEI, Monitor: Montes Claros e Governador Valadares

SEVERIDADE DE SECA	MONTES CLAROS			GOVERNADOR VALADARES		
	SPI	SPEI	Monitor	SPI	SPEI	Monitor
DADOS AUSENTES	0	0	1	0	0	1
SEM SECA	37	37	16	27	27	25
SECA FRACA (S0)	9	9	24	14	11	13
SECA MODERADA (S1)	0	0	7	2	5	9
SECA GRAVE (S2)	1	2	0	1	4	0
SECA EXTREMA (S3)	1	0	0	3	0	0
SECA EXCEPCIONAL (S4)	0	0	0	1	1	0

Houve igualdade em Sete Lagoas para SPI e SPEI de SECA FRACA (S0) em 10, SECA MODERADA (S1) EM 2 e SECA GRAVE (S2) em 1 ocorrência como mostrado na Tabela 8. SPI ainda teve 1 SECA EXCEPCIONAL (S4) E SPEI 1 SECA EXTREMA (S3). Por fim, o MONITOR apontou 19 SECA FRACA (S0) e 5 SECA MODERADA (S1).

Tabela 8. Ocorrências de Seca - SPI, SPEI, Monitor: Sete Lagoas

SEVERIDADE DE SECA	SETE LAGOAS		
	SPI	SPEI	Monitor
DADOS AUSENTES	0	0	1
SEM SECA	34	34	23
SECA FRACA (S0)	10	10	19
SECA MODERADA (S1)	2	2	5
SECA GRAVE (S2)	1	1	0
SECA EXTREMA (S3)	0	1	0
SECA EXCEPCIONAL (S4)	1	0	0

4.2. Comparação dos Resultados entre SPI, SPEI e o Monitor de Secas

A seguir, são apresentados os comparativos para os dez municípios analisados. Os municípios com as menores populações são Carbonita, Florestal, Formoso, Juramento e Coronel Pacheco, enquanto os de maior população incluem Belo Horizonte, Juiz de Fora, Montes Claros, Governador Valadares e Sete Lagoas.

As tabelas correspondentes a cada município exibem os níveis de severidade da seca, acompanhados pelo número de meses em que houveram ou não correspondências de níveis de seca entre os valores dos índices comparados.

4.2.1. Comparação - Menores Municípios

Na Tabela 9, observa-se que, no município de Carbonita, a categoria SECA FRACA (S1) apresentou concordância em sete ocasiões tanto na comparação entre SPI e o Monitor de Secas quanto entre SPEI e o Monitor de Secas. Além disso, registrou-se uma ocorrência de SECA MODERADA (S1) em SPI/Monitor.

Na comparação entre SPI e SPEI, a categoria SECA FRACA (S1) ocorreu em 15 ocasiões, enquanto a SECA MODERADA (S2) foi observada duas vezes e a SECA GRAVE (S2) uma vez.

Tabela 9. Comparação - SPI/Monitor, SPEI/Monitor: Carbonita e Florestal.

MENORES CIDADES		CARBONITA			FLORESTAL	
SEVERIDADE DE SECA	SPI/Monitor	SPEI/Monitor	SPI/SPEI	SPI/Monitor	SPEI/Monitor	SPI/SPEI
SEM CONCORDÂNCIA	34	33	1	25	26	4
SEM SECA	7	7	29	14	14	24
SECA FRACA (S0)	7	7	15	9	8	18
SECA MODERADA (S1)	0	1	2	0	0	0
SECA GRAVE (S2)	0	0	1	0	0	1
SECA EXTREMA (S3)	0	0	0	0	0	1
SECA EXCEPCIONAL (S4)	0	0	0	0	0	0

Para Florestal, ainda na Tabela 9, encontramos correspondência em 9 vezes para o evento de SECA FRACA (S1) entre SPI/Monitor e 8 vezes para SPEI/Monitor. No comparativo de SPI/SPEI foram 18 ocorrências de SECA FRACA (S0) e 1 de SECA GRAVE (S2).

Tabela 10. Comparação - SPI/Monitor, SPEI/Monitor: Formoso e Juramento.

MENORES CIDADES	FORMOSO			JURAMENTO		
SEVERIDADE DE SECA	SPI/Monitor	SPEI/Monitor	SPI/SPEI	SPI/Monitor	SPEI/Monitor	SPI/SPEI
SEM CONCORDÂNCIA	35	35	0	29	29	0
SEM SECA	3	3	32	13	13	34
SECA FRACA (S0)	10	10	12	6	6	12
SECA MODERADA (S1)	0	0	2	0	0	0
SECA GRAVE (S2)	0	0	2	0	0	0
SECA EXTREMA (S3)	0	0	0	0	0	1
SECA EXCEPCIONAL (S4)	0	0	0	0	0	1

Para o município de Formoso, resultado apresentado na Tabela 10, encontramos correspondência em 10 vezes para o evento de SECA FRACA (S1) para os índices de SPI/Monitor de Secas e SPEI/Monitor. Em SPI/SPEI foram 12 vezes para SECA FRACA (S0), 2 vezes para as SECA MODERADA (S1) e SECA GRAVE (S2).

Os resultados apresentados na Tabela 10 indicam que, no município de Juramento, a categoria SECA FRACA (S1) apresentou correspondência em seis ocasiões tanto na comparação entre SPI e o Monitor de Secas quanto entre SPEI e o Monitor de Secas.

Na comparação entre SPI e SPEI, foram registradas 12 ocorrências de SECA FRACA (S0), além de uma ocorrência de SECA EXTREMA (S3) e uma de SECA EXCEPCIONAL (S4).

Tabela 11. Comparação - SPI/Monitor, SPEI/Monitor: Coronel Pacheco

MENORES CIDADES	CORONEL PACHECO		
SEVERIDADE DE SECA	SPI/Monitor	SPEI/Monitor	SPI/SPEI
SEM CONCORDÂNCIA	25	25	2
SEM SECA	13	13	21
SECA FRACA (S0)	10	10	22
SECA MODERADA (S1)	0	0	2
SECA GRAVE (S2)	0	0	0
SECA EXTREMA (S3)	0	0	1
SECA EXCEPCIONAL (S4)	0	0	0

Por fim, para a cidade de Coronel Pacheco, resultados mostrados na Tabela 11 encontramos correspondência para SECA FRACA (S1) em SPI/Monitor e SPEI/Monitor em 10 observações. Além disso, para SPI/SPEI encontramos as seguintes correspondências: 22 SECA FRACA (S0), 2 SECA MODERADA (S1), e 1 SECA EXTREMA (S3).

4.2.2. Comparação - Maiores Municípios

Entre os municípios de maior população, Belo Horizonte teve 2 correspondências de SECA FRACA (S0) em SPI/Monitor e 1 vez em SPEI/Monitor, conforme mostrado na

Tabela 12. Para SPI/SPEI foram 12 ocorrências de SECA FRACA (S0), 2 de SECA MODERADA (S1) e 1 de SECA EXTREMA (S3).

Tabela 12. Comparação - SPI/Monitor, SPEI/Monitor,: Belo Horizonte e Juiz de Fora

MAIORES CIDADES	BELO HORIZONTE			JUIZ DE FORA		
SEVERIDADE DE SECA	SPI/ Monitor	SPEI/ Monitor	SPI/ SPEI	SPI/ Monitor	SPEI/ Monitor	SPI/ SPEI
SEM CONCORDÂNCIA	29	30	2	16	17	5
SEM SECA	17	17	33	17	17	21
SECA FRACA (S0)	2	1	10	14	12	19
SECA MODERADA (S1)	0	0	2	1	2	1
SECA GRAVE (S2)	0	0	0	0	0	1
SECA EXTREMA (S3)	0	0	1	0	0	1
SECA EXCEPCIONAL (S4)	0	0	0	0	0	0

A Tabela 12 apresenta os resultados para a cidade de Juiz de Fora onde observou-se 14 correspondências de SECA FRACA (S0) e 1 SECA MODERADA (S1) em SPI/Monitor de Secas. Na relação SPEI/Monitor de Secas 12 SECA FRACA (S0), 2 SECA MODERADA (S1). Por fim, para SPI/SPEI encontramos 19 SECA FRACA (S0), 1 SECA MODERADA (S1), 1 SECA GRAVE (S2) E 1 SECA EXTREMA (S3).

Em Montes Claros, conforme mostrado na Tabela 13 houve igualdade em SECA FRACA (S0) com 5 ocorrências em SPI/Monitor e SPEI/Monitor, 9 vezes em SPI/SPEI que ainda teve 1 acontecimento de SECA GRAVE (S2).

Tabela 13. Comparação - SPI/Monitor, SPEI/Monitor,: Montes Claros e Governador Valadares

MAIORES CIDADES	MONTES CLAROS			GOVERNADOR VALADARES		
SEVERIDADE DE SECA	SPI/ Monitor	SPEI/ Monitor	SPI/ SPEI	SPI/ Monitor	SPEI/ Monitor	SPI/ SPEI
SEM CONCORDÂNCIA	31	31	1	27	29	6
SEM SECA	12	12	37	16	16	27
SECA FRACA (S0)	5	5	9	5	3	11
SECA MODERADA (S1)	0	0	0	0	0	2
SECA GRAVE (S2)	0	0	1	0	0	1
SECA EXTREMA (S3)	0	0	0	0	0	0
SECA EXCEPCIONAL (S4)	0	0	0	0	0	1

Governador Valadares teve 5 correspondências de SECA FRACA (S0) em SPI/Monitor, 3 EM SPEI/Monitor, 11 em SPI/SPEI que mostrou ainda 2 SECA MODERADA (S1), 1 SECA GRAVE (S2) e 1 evento de SECA EXCEPCIONAL (S4), conforme mostrado na Tabela 13.

Tabela 14. Comparação - SPI/Monitor, SPEI/Monitor: Sete Lagoas

MAIORES CIDADES	SETE LAGOAS		
SEVERIDADE DE SECA	SPI/Monitor	SPEI/Monitor	SPI/SPEI
SEM CONCORDÂNCIA	29	29	1
SEM SECA	16	16	34
SECA FRACA (S0)	3	3	10
SECA MODERADA (S1)	0	0	2
SECA GRAVE (S2)	0	0	1
SECA EXTREMA (S3)	0	0	0
SECA EXCEPCIONAL (S4)	0	0	0

Por fim, para a cidade de Sete Lagoas encontramos 3 correspondências de SECA FRACA (S0) em SPI/Monitor e SPEI/Monitor, além de 10 ocorrências em SPI/SPEI que ainda teve 2 SECA MODERADA (S1) e 1 SECA GRAVE (S2), conforme Tabela 14.

5. Conclusões e Trabalhos Futuros

O objetivo principal deste trabalho foi comparar os índices SPI e SPEI e avaliar qual deles apresenta maior concordância com os registros do Monitor de Secas Brasileiro. Ao verificar as comparações, observa-se que houve pequena diferença na quantidade total do concordâncias entre SPI/Monitor e SPEI/Monitor, além de mostrar que há sempre mais acertos de resultados entre SPI/SPEI. Estes resultados também mostram que níveis de secas mais severas como SECA GRAVE (S2), SECA EXTREMA (S3) E SECA EXCEPCIONAL (S4) não são obtidos pelo Monitor de Secas em nenhum momento do período analisado, em nenhuma das cidades. No comparativo SPI/Monitor, SPEI/Monitor não são vistas diferenças consideráveis nas comparações. Já entre SPI/SPEI os eventos e severidades aparecem mais distribuídas dentro das cidades analisadas.

Verificando os índices meteorológicos nas menores cidades, encontra-se um número de ocorrências de severidade de seca mais próximos ou até mesmo iguais entre SPI/SPEI, e também caracterizações de secas mais intensas, o que não é percebido no Monitor.

Os municípios do semiárido, Formoso, Juramento, Montes Claros e Governador Valadares, SPI/Monitor e SPEI/Monitor indicaram níveis de SEM SECA e de SECA FRACA (S0) que sempre tiveram a quantidade de meses iguais entre si. Entre SPI/SPEI a quantidade de concordâncias sempre foi maior do que nos anteriores.

Dentre as cidades do semiárido muitas similaridades nos resultados foram vistas na contagem de eventos em SPI e SPEI, exceto Governador Valadares que mostrou mais distribuição entre o número de meses e as severidades. A contagem de eventos do Monitor mostrou disparidade nas secas. Assim, não se pôde afirmar que algum evento de seca mais ou menos grave é influenciado pelo tamanho da população.

Por fim, é importante considerar a inclusão do SRI, um índice hidrológico, como componente do Monitor de Secas. Devido às suas características específicas, sua incorporação pode impactar significativamente os resultados, especialmente quando utilizado em conjunto com o SPI e o SPEI nos cálculos do Monitor de Secas. A comparação

entre os índices SPI e SPEI de forma isolada revelou que a introdução do SRI pode levar a diferenças significativas na avaliação da severidade da seca, como vistos ao introduzir o Monitor de Secas como comparativo.

Para sequência desse estudo, pode-se implementar um sistema automatizado que busque as informações de clima disponibilizadas nas fontes de dados abertos nacionais e internacionais (como o *Climate Data Guide* [Beguería et al. 2014], que foi uma dentre outras fontes que tiveram sua utilização avaliada na realização deste estudo). Utilizando os dados, a ferramenta seria capaz de calcular e comparar índices como SPI, SPEI e outros índices - até mesmo aqueles que já estão disponíveis na biblioteca SPEI de [Vonk 2024] e disponibilize os resultados processados.

Outra possibilidade seria incluir todas as estações meteorológicas no país, desta maneira a abrangência de localidades aumentaria, mantendo uma base maior e mais robusta. Com maior número de informações, a análise de fenômenos climáticos poderia ser estendida, não se restringindo apenas as secas, mas avaliando outros eventos, como por exemplo, as chuvas permitindo a comparação em contextos diferentes. Avaliações como as que foram feitas aqui para apenas quatro estações pertencentes a região do semiárido, poderiam ser realizadas para mais tipos de clima no país.

Referências

- BACALHAU, J. R. (2015). Simulação da disponibilidade hídrica e operação de reservatórios de abastecimento em relação à variabilidade climática: bacia do rio pirapama em pernambuco. Master's thesis, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Pernambuco, Brasil. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil).
- Beguería, S., Vicente-Serrano, S. M., Reig, F., and Latorre, B. (2014). Standardized precipitation evapotranspiration index (SPEI) revisited: parameter fitting, evapotranspiration models, tools, datasets and drought monitoring. *International journal of climatology*, 34(10):3001–3023.
- Beguería, S., Latorre, B., Reig, F., and Vicente-Serrano, S. M. (2014). Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI).
- Beguería, S., Latorre, B., Reig, F., and Vicente-Serrano, S. M. (2024). Spei.
- Brito, Y. M. A. d. (2021). *Abordagem cumulativa e plurianual das secas no nordeste brasileiro: proposta metodológica de gestão proativa*. PhD thesis, Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, Brasil. Tese (Doutorado em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais) – Programa Pós-Graduação em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais.
- da Cruz, G. C., Ribeiro, A. E. M., and Galizoni, F. M. (2018). Semiárido, seca e “gerais” do norte de minas: uma revisão da bibliografia sobre o alto-médio são francisco. *Campo-Território*.
- Gonçalves, S. T. N., Vasconcelos Junior, F. d. C., Sakamoto, M. S., Silveira, C. d. S., and Martins, E. S. P. R. (2021). Índices e metodologias de monitoramento de secas: Uma revisão. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 36:495–511.

- Hosking, J. R. (1990). L-moments: analysis and estimation of distributions using linear combinations of order statistics. *Journal of the Royal Statistical Society Series B: Statistical Methodology*, 52(1):105–124.
- IBGE (2024). IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/estrutura-territorial/15974-semiarido-brasileiro.html>. online: Acesso em: 15 de Dezembro 2024.
- IGAM (2025). Instituto Mineiro de Gestão das Águas.
- INMET (2024). INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. <https://portal.inmet.gov.br/>. online: Acesso em: 26 de fevereiro 2024.
- INSA (2025). Instituto Nacional do Semiárido. O Semiárido Brasileiro.
- Keyantash, J. and Dracup, J. A. (2002). The quantification of drought: an evaluation of drought indices. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 83(8):1167–1180.
- Lopes, H. F. (2024). Código - hudson.
- Martins, E. S. P., Nys, E. D., Molejón, C., Biazeto, B., Silva, R. F. V., and Engle, N. (2015). Monitor de secas do nordeste, em busca de um novo paradigma para a gestão de secas. *Série Água Brasil*, 1(10):124. ISBN 978-85-88192-16-4.
- McKee, T. B., Doesken, N. J., Kleist, J., et al. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. In *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology*, volume 17, number 22, pages 179–183. California.
- MIDR (2024). Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional. Atlas Digital - Mapa Interativo. Acesso em: 18 abr. 2024.
- Monitor de Secas do Brasil ANA (2024). Monitor de Secas do Brasil.
- Moreira, A. A. (2016). Análise da seca/estiagem no norte do estado de Minas Gerais a partir de dados modis. Master's thesis, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto.
- Petrucci, E., Oliveira, L., and Silva, R. (2022). Secas pluviométricas no estado de Minas Gerais, de 1980 a 2017. *RAEGA - O Espaço Geográfico em Análise*, 54(0):129–153.
- Santos, K. M. S. (2020). Avaliação da eficiência do monitor de secas para definição de secas em Sergipe. Master's thesis, Universidade Federal de Sergipe.
- SANTOS, M. S. (2011). *Caracterização espaço-temporal de secas utilizando ondaletas e o Standardized Precipitation Index: uma aplicação para a parcela mineira da bacia Rio São Francisco*. PhD thesis, Universidade Federal de Minas Gerais.
- Santos, S. R. Q. d., Braga, C. C., Sansigolo, C. A., and Santos, A. P. P. d. (2017). Determinação de regiões homogêneas do índice de precipitação normalizada (spi) na amazônia oriental. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 32:111–122.
- SIMGE (2025). Sistema de Meteorologia e Recursos Hídricos de Minas Gerais.
- SISDAGRO, I. (2024). INMET - Sistema de Suporte à Decisão Agropecuária (SISDAGRO). <https://sisdagro.inmet.gov.br/sisdagro/app/index>.

SUDENE (2021). Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste. Delimitação do Semiárido - 2021. <https://www.gov.br/sudene/pt-br/centrais-de-conteudo/02semiaridorelatorionv.pdf>.

Vonk, M. A. (2024). SPEI: A simple python package to calculate and visualize drought indices (v0.6.0). Zenodo.