FORMAR INTERDISCIPLINAR

Revista Formar Interdisciplinar | Sobral, CE | v. 21, n. 1, p. 10-21, 2026

e-ISSN 2317-2649

ARTIGO ORIGINAL

DOI 10.68714/03kw3r54

Avaliação do padrão de comportamento de séries temporais frente ao cenário de uso e ocupação do solo para uma região do semiárido nordestino

Evaluation of the time series behavior pattern in front of the land use and occupation scenario for a region in the Northeast semi-arid

Guilherme Marques Farias[1*], **Artemisa Fontenele Frota**[2], **Luis Anderson Conceição da Silva**[1], **Francisco Clenilson do Nascimento de Souza**[1], **Ana Paula Rodrigues Corpe**[1], **Maurício de Sousa Pereira**[1], **Larissa Mara Gonçalves Mota**[1]

HISTÓRICO

Recebido: 28 set. 2026
Aceito: 30 out. 2026
Publicado: 31 out. 2026

EQUIPE EDITORIAL

Editora-chefe: Navilta Veras do Nascimento
Editora responsável: Navilta Veras do Nascimento
Avaliação: revisão por pares duplo-cego

AFILIAÇÕES

[1] Centro Universitário INTA (UNINTA), Sobral, CE, Brasil.
[2] Universidade Federal do Ceará (UFC), Fortaleza, CE, Brasil.
[*] Autor correspondente: prof.guilherme@gmail.com

ORCID

Guilherme Farias: 0000-0002-6726-9210
Artemisa Frota: 0000-0003-2685-7072
Luis Silva: 0000-0003-2595-3273
Ana Corpe: 0009-0002-5346-1241
Maurício Pereira: 0000-0002-5485-1674

COMO CITAR

FARIAS, G. M. et al. Avaliação do padrão de comportamento de séries temporais frente ao cenário de uso e ocupação do solo para uma região do semiárido nordestino. **Revista Formar Interdisciplinar**, Sobral, v. 21, n. 1, p. 10-21, 2026. DOI: https://doi.org/10.68714/03kw3r54.

RESUMO

A avaliação do comportamento de séries temporais relativas a recursos hídricos é de fundamental importância para o planejamento adequado e alocação dos recursos necessários para suprir as demandas por água. O presente trabalho propõe a avaliação de padrões de variação e comportamento de séries temporais de precipitação e vazão nas escalas mensal e anual no município de Sobral. Foram obtidos resultados relativos a estatística descritiva das séries, análise de padrões de variação por meio de ACF e médias móveis, assim como análise de tendência e sazonalidade. Além disso, o estudo comtempla uma avaliação temporal dos padrões de uso e ocupação do solo e das demandas consultivas por recursos hídricos para o referido município. Na avaliação de autocorrelação por meio do gráfico ACF constatou-se que apenas na escala mensal a série de vazões e precipitações apresentou correlação expressiva, sendo constatados picos que alternam entre positivos e negativos, indicando a presença de sazonalidade na série. Na análise de tendência, verificou-se que a série de vazões mensal apresentou uma tendência acentuada decrescente ao longo dos anos. A avaliação dos padrões de uso e ocupação do solo e demandas consultivas evidenciou um crescimento da ocupação humana ao longo dos anos na sede do município, fato influenciado pelo estabelecimento de um setor industrial forte, o que proporcionou uma migração da população camponesa para a cidade. Todavia, o fato questão traz consigo um aumento na demanda hídrica tanto para abastecimento humano quanto para o setor industrial, o que pode ser um fator preocupante frente ao cenário de tendência de diminuição das vazões a nível local, expondo a necessidade de implantação de planos para gerir de forma otimizada os sistemas de recursos hídricos locais.

Palavras-chave: Séries temporais; Uso e ocupação do solo; Demandas consultivas; Recursos hídricos.

ABSTRACT

The analysis of time series behavior related to water resources is of fundamental importance for the proper planning and allocation of the resources needed to meet water demands. This study proposes an analysis of the patterns of variation and behavior of precipitation and streamflow time series on monthly and annual scales in the municipality of Sobral. Results were obtained regarding the descriptive statistics of the series, analysis of variation patterns using ACF and moving averages, as well as trend and seasonality analysis. In addition, the study includes a temporal assessment of land use and land cover patterns and of the projected demand for water resources for the municipality in question. In the autocorrelation analysis using the ACF plot, it

Artigo publicado em acesso aberto sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0). © 2026 Revista Formar Interdisciplinar, UNINTA.

was found that only on the monthly scale did the precipitation and discharge time series show a significant correlation, with peaks alternating between positive and negative values, indicating the presence of seasonality in the series. The trend analysis revealed that the monthly flow series showed a marked downward trend over the years. An assessment of land use and occupation patterns and advisory requests revealed an increase in human occupation over the years in the municipal seat, a development influenced by the establishment of a strong industrial sector, which led to the migration of the rural population to the city. However, this situation brings with it an increase in water demand for both human consumption and the industrial sector, which may be a cause for concern given the trend of decreasing flow rates at the local level, highlighting the need to implement plans to optimally manage local water resource systems.

Keywords: Time series; Land use and land cover; Advisory requests; Water resources.

1 INTRODUÇÃO

O aumento da pressão antrópica sobre o meio ambiente tem sido cada vez mais evidente em tempos atuais. Os efeitos de tal constatação são sentidos por meio dos fenômenos naturais atípicos que presenciamos no nosso dia a dia em virtude das mudanças climáticas que se acentuam a cada dia. O crescimento populacional descontrolado, sem dúvidas, é um agente considerável quando se avalia as mudanças climáticas decorrentes de ações antrópicas, sobretudo quando se evidenciam fenômenos de migração do campo para a cidade, onde se formam conglomerados populacionais, que muitas vezes não são assistidos pelo processo de planejamento urbano das cidades. Neste sentido, é importante avaliar os impactos de tais formações populacionais sobre o meio ambiente e como o contexto de mudanças no clima podem afetar tais locais, uma vez que os mesmos teoricamente se mostram mais expostos. Desse modo, dá-se subsídios para que se possa planejar ações para mitigar os possíveis efeitos sobre os recursos ambientais, sobretudo os recursos hídricos, quando situados no semiárido brasileiro.

Para Espíndola e Ribeiro (2020), dentro do contexto de mudanças do clima, as cidades são compreendidas como um "sistema complexo de múltiplas interdependências entre forma (ambiente natural e construído), atividades e fluxos. Neste sentido, desempenham um papel importante tanto pelo fato de sofrerem com os impactos dessas alterações no clima, quanto por contribuírem para a intensificação desse processo. A nível mundial, Bai et al. (2018) destacam os exemplos ocorridos no sudoeste asiático, onde as inundações causaram impactos consideráveis em cidades como Dhaka, Bangladesh e Mumbai na Índia. No outro extremo de eventos climáticos cita-se o exemplo da seca extrema que afeta a Cidade do Cabo, da África do Sul, desde 2015. A nível de semiárido brasileiro Nunes e Medeiros (2020) citam o período entre 2012 e 2017 no Ceará, onde se perdurou uma seca severa que trouxe inúmeros prejuízos a população local.

De acordo com Costa, Becker e Brito (2013), o estudo de séries temporais se mostra como uma importante ferramenta em diversas áreas de pesquisa, sobretudo em estudos que envolvem o conhecimento de processos hidrológicos e do clima, onde é possível identificar tendências e oscilações climáticas ao longo dos anos, suas causas e efeitos, assim como, possíveis irregularidades no comportamento das mesmas. Guedes, Priebe e Menke (2019) destacam que a identificação de alterações nos registros meteorológicos se mostra de grande importância, pois tanto simulações como aplicação de teorias da probabilidade em estudos que envolvem séries históricas são realizadas, muitas vezes, com a hipótese de que as séries são homogêneas, ou seja, não apresentam tendência, o que faz com que a modelagem não represente, de forma precisa, a realidade.

Neste contexto, o presente estudo tem como objetivo avaliar e identificar padrões de não aleatoriedade, observando o comportamento das séries temporais compostas pelas precipitações e vazões na escala mensal e anual para a cidade de Sobral, localizada no Estado do Ceará. Além disso, as discussões são embasadas no contexto de mudanças no uso e ocupação do solo, assim como nas configurações de demandas consultivas de água na região ao longo dos anos, de modo a formar um paralelo de causa e efeito relativa as mudanças climáticas e projetar um cenário de comportamento futuro relativo aos recursos hídricos da região.

2 METODOLOGIA

Este estudo utilizou como base duas séries históricas para as análises. A primeira, é referente ao posto pluviométrico de código 340002, localizado na cidade de Sobral, que faz parte da bacia hidrográfica do Acaraú, no Ceará. A segunda série temporal corresponde ao posto fluviométrico do Açude Ayres de Souza, com código 35275000, também localizado no distrito de Jaibaras, no município de Sobral.

Ambas as séries supracitadas foram retiradas da base de dados Hidroweb da Agência Nacional de Águas (ANA).

Para o posto pluviométrico de Sobral, foram geradas séries mensais e anuais de precipitações compreendidas entre os anos de 1965 e 1985 enquanto para o posto fluviométrico do Açude Ayres de Souza utilizou-se uma série de vazões médias mensais entre os anos de 1973 e 2020. Vale destacar que, devido a presença de falhas nas séries temporais, foi necessário implementar uma estratégia de preenchimento dos dados faltantes por meio de regressão linear múltipla, com base em séries de postos vizinhos.

2.1 Estatística descritiva

A análise estatística descritiva foi feita com o auxílio do aparato de ferramentas da linguagem R. Foi feito um levantamento estatístico básico, onde calculou-se os parâmetros da média, mediana, máximo e mínimo, assim como a variância e o desvio padrão da série temporal de vazões médias anuais entre os anos de 1973 e 2020.

De acordo com Spiegel (1978), a média pode ser descrita sob a ótica geométrica como o centro de gravidade, pois representa o ponto de equilíbrio de um conjunto de dados. O autor ainda destaca que é possível mensurar o

$$\frac{\sum_{t=k+1}^{n-k}(X_{t-k}-\bar{X}).(X_t-\bar{X})}{\sum_{t=1}^{n}(X_t-\bar{X})^2}$$

onde k descreve o lag (k = 1, 2, ...), X_t é o valor de X na linha t, $\bar{X}$ é a média de X e n é o número de observações na série.

Yukio (2017) destaca que sendo a série aleatória, observa-se autocorrelações próximas de zero. No entanto, quando temos uma tendência ou uma sazonalidade, observamos uma tendência de queda ou picos positivos nos valores. Uma outra forma de avaliar os resultados da autocorrelação é por meio do correlograma, sendo este um gráfico utilizado em séries temporais para traçar as autocorrelações em diversas defasagens. A análise desse gráfico permite entender se a série é aleatória ou possui alguma tendência ou sazonalidade. Para o estudo em questão o correlograma foi gerado com o auxílio das ferramentas do software R tendo como arquivo de entrada as séries históricas de precipitações mensais e anuais entre 1965 e 1985, assim como as séries de vazões mensais e anuais entre 1973 e 2020.

2.2.2 Médias móveis

As médias móveis são uma forma alternativa de obtenção da tendência ou variabilidade de uma série temporal. Calcula-se a média dos primeiros n períodos da série, colocando o resultado no período exatamente na extremidade final. Progressivamente, vai-se acrescentando um período seguinte e desprezando o primeiro da média imediatamente anterior, e calculando novas médias, que vão se movendo até o fim da série. O número de períodos (n) é chamado de ordem da série. Para o estudo em questão foram obtidas, por meio de ferramentas do software R, as médias móveis de 5, 15 e 30 anos para a série histórica de vazões anuais entre 1973 e 2020.

grau de dispersão dos dados, sendo esta tarefa feita por meio do desvio padrão. Neste caso, quanto maior o seu valor, maior a dispersão dos dados. Em relação aos valores máximos e mínimo, como os próprios nomes sugerem, referem-se ao máximo valor contido na série e o mínimo valor, respectivamente.

2.2 Análise de padrões de variação das séries temporais

2.2.1 Função de autocorrelação de uma série temporal

Na avaliação de séries temporais, a análise de sua autocorrelação (ACF) se mostra uma tarefa importante, uma vez que, por meio desta, é possível entender o comportamento de uma aleatoriedade. De acordo com Yukio (2017), a autocorrelação é simplesmente a correlação entre uma série e ela mesma defasada, ou seja, é a correlação entre os valores da série em um determinado período de tempo, e os valores da mesma série em um outro momento no tempo.

A ACF de um determinado processo pode ser calculada de acordo com a seguinte formulação:

(1)

2.3 Análise de tendência e sazonalidade

De acordo com Oliveira (2019), a sazonalidade pode ser definida como padrões de comportamento na série temporal que se repetem em específicas épocas do ano. O autor em questão ainda destaca um exemplo básico de um evento sazonal como o aumento de vendas durante um determinado período do ano. Levando para a hidrologia, podemos citar o aumento dos eventos de precipitação durante o período chuvoso em um determinado local. Neste trabalho, a sazonalidade foi analisada por meio de gráficos gerados com as ferramentas do software R que evidenciam as vazões médias climatológicas de cada mês do ano, de forma a mostrar o comportamento histórico das séries. Desse modo, é possível verificar locais de picos, comportamentos crescentes ou decrescentes em determinadas épocas do ano.

A tendência de uma série temporal pode ser entendida como um padrão de crescimento/decrescimento de uma variável em um certo período de tempo. Morettin e Toloi (1987) destacam que ao analisar a tendência é possível identificar uma determinada relação entre as médias dos valores históricos e dos valores atuais da série, levando em conta suas variações dentro de um período específico. Para o estudo em questão a avaliação de tendência na série temporal de vazões anuais entre 1973 e 2020 foi feita por meio do método de regressão linear simples, implementado com o auxílio de bibliotecas da linguagem R. O objetivo da análise de regressão é estudar a relação entre uma variável chamada variável dependente e outras variáveis chamadas variáveis independentes. A relação entre elas é represen-

tada por um modelo matemático, que associa a variável dependente com as variáveis independentes. De acordo com Charnet et al. (2008), a formulação matemática que rege a regressão linear simples é descrita conforme a Equação 2.

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \varepsilon_i \quad (2)$$

Neste caso, β_0, β_1 e x_i são constantes, a $Cov[\varepsilon_i;\varepsilon_j] = 0$, $i \neq j$ e $i, j = 1,2,...,n$, n é o número de indivíduos, y_i é o valor observado da variável dependente, x_i é o valor da observação da variável independente para o i-ésimo indivíduo e β_0 e β_1 são os coeficientes de regressão.

2.4 Análise temporal de comportamento do uso e ocupação do solo e demandas consultivas por recursos hídricos para o município de Sobral

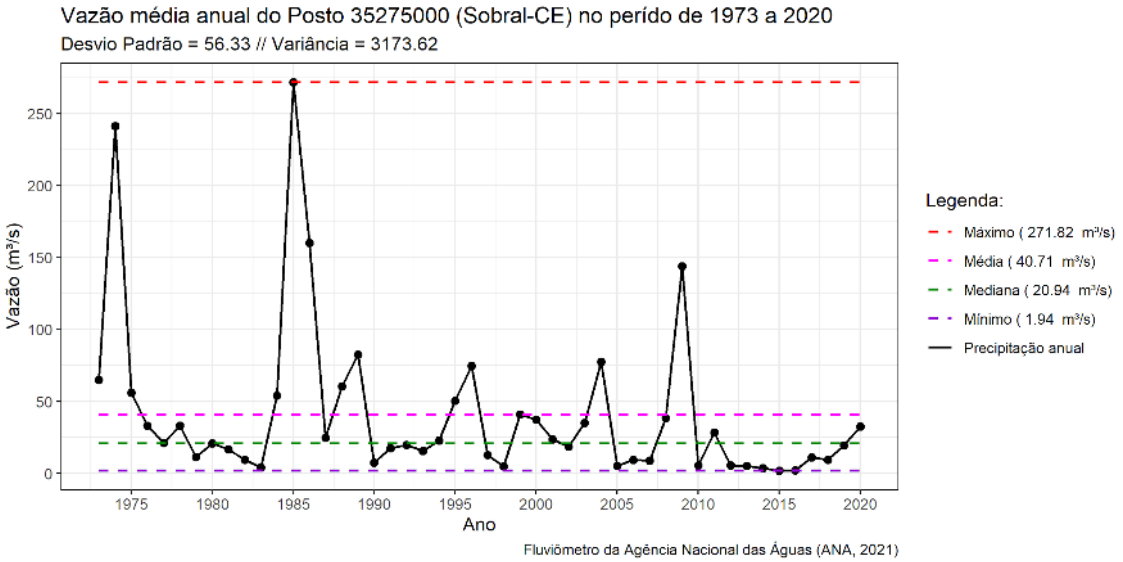
Para o estudo em questão, os dados referentes à análise de padrões de uso e ocupação do solo foram retirados da base de dados do MapBiomas Brasil (Coleção 5), os quais, posteriormente foram tratados no Software QGIS, dando origem aos mapas de uso e ocupação do solo para o município de Sobral-CE. Em relação aos dados de demandas consultivas, os mesmos foram retirados do Sítio de Arquivos da ANA (Agência Nacional de Águas), onde pode-se obter uma planilha eletrônica contendo um diagnóstico de 1931 a 2017, assim como uma projeção até o ano de 2030.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Estatística descritiva das séries históricas

Ao analisar a série de vazões médias anuais para a região de Sobral durante o período de 1973 a 2020, apresentada na Figura 1, é possível notar que as vazões se concentram abaixo de 80 m^3/s, apresentando em apenas 4 anos valores superiores (1974, 1985, 1986 e 2009), que foram anos de cheia. A maior cheia do período analisado foi em 1985, em que a vazão chegou ao valor máximo de 271,82 m^3/s, e a pior seca foi em 2015, com vazão de apenas 1,94 m^3/s. Deve-se destacar que os últimos anos apresentam seguidamente vazões muito baixas, com uma leve melhora no ano de 2020, a qual ainda permanece abaixo da média (40,71 m^3/s). Em relação aos outros parâmetros estatísticos, foram obtidos um desvio padrão de 56,33 m^3/s, uma variância de 3173,62 $m6/s^2$ e uma mediana de 20,94 m^3/s.

Figura 1. Estatística descritiva para a série de vazões anuais médias de um fluviômetro de Sobral-CE.

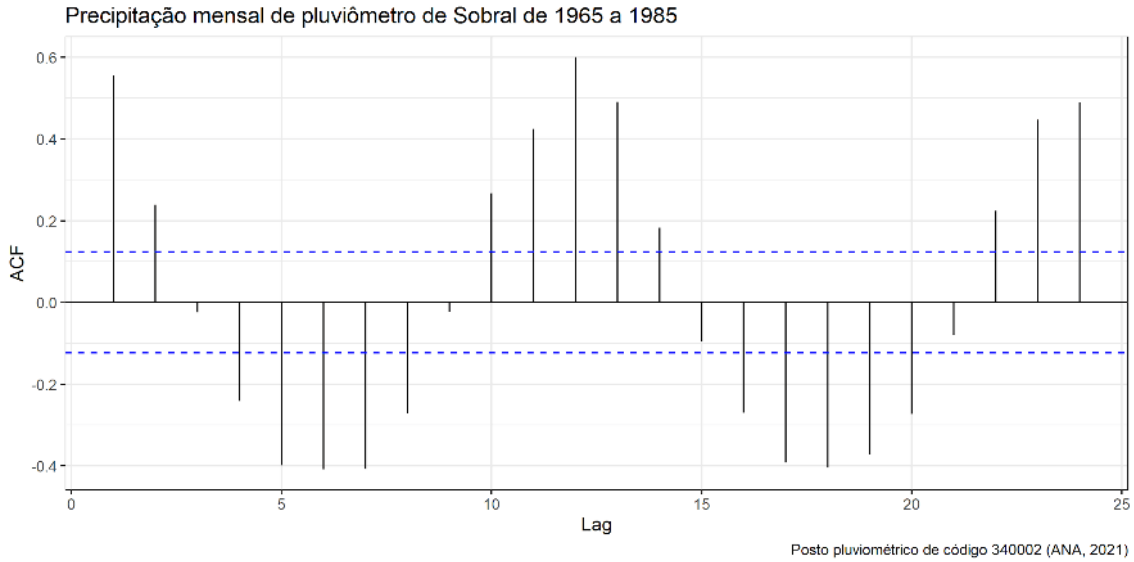


Fonte: ANA, 2021.

3.2 Análise de padrões de variação nas séries temporais

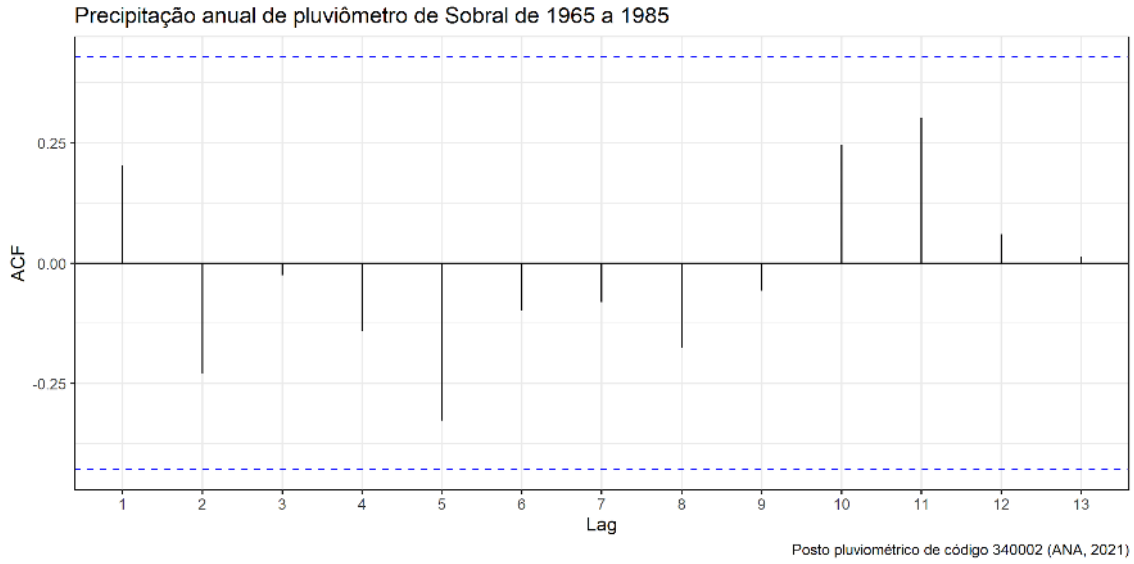
A análise da Função de Autocorrelação (ACF) simples para a precipitação média mensal do posto de Sobral pode ser feita por meio do gráfico apresentado na Figura 2. Neste caso, percebe-se um pico no lag 1, seguido de uma alternância entre picos de autocorrelações positivas e negativas. Pode-se afirmar que há uma alta correlação entre os dados da série temporal, indicando uma dependência entre os mesmos. Na análise da ACF para as precipitações anuais do mesmo posto (Figura 3), não se identificou correlações significativas em nenhum dos lags da série. Neste caso, há um indicativo de que há uma dependência dos valores que compõem a série temporal anual.

Figura 2. Gráfico ACF para da série histórica mensal de precipitações de Sobral.



Fonte: ANA, 2021.

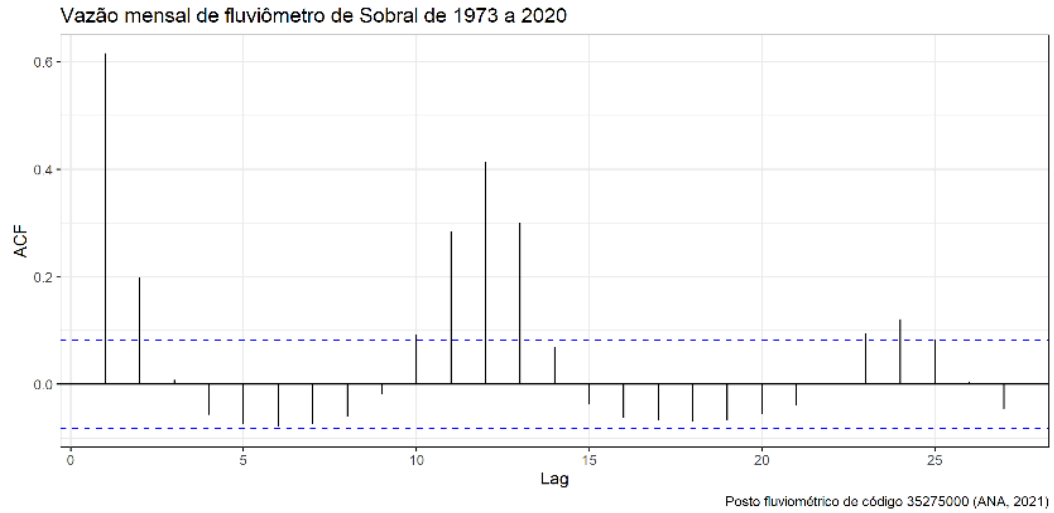
Figura 3. Gráfico ACF para da série histórica anual de precipitações de Sobral.



Fonte: ANA, 2021.

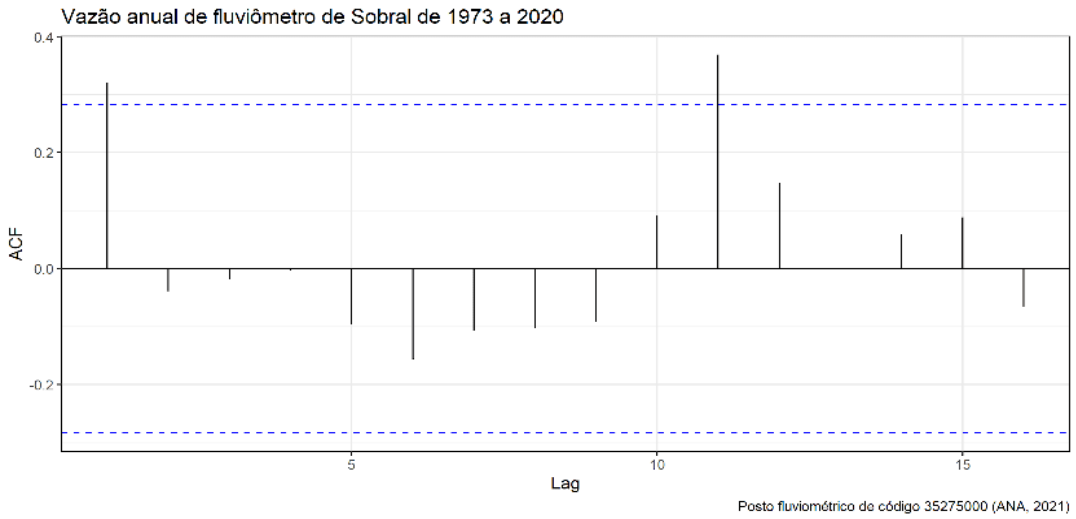
A mesma análise da ACF também foi feita para a série temporal de vazões médias mensais do posto de Sobral, o qual está apresentada na Figura 4. Identificou-se uma quantidade baixa de picos, sendo os mesmos categorizados como picos positivos, nesses pontos em questão pode afirmar que há correlação alta e dependência entre os dados. A mesma análise para as vazões médias anuais (Figura 5) demonstrou que há correlações significativas nos lags entre 1 e 11, seguidos de pontos com ausência de correlação.

Figura 4. Gráfico ACF para da série histórica mensal de vazões de Sobral.



Fonte: ANA, 2021.

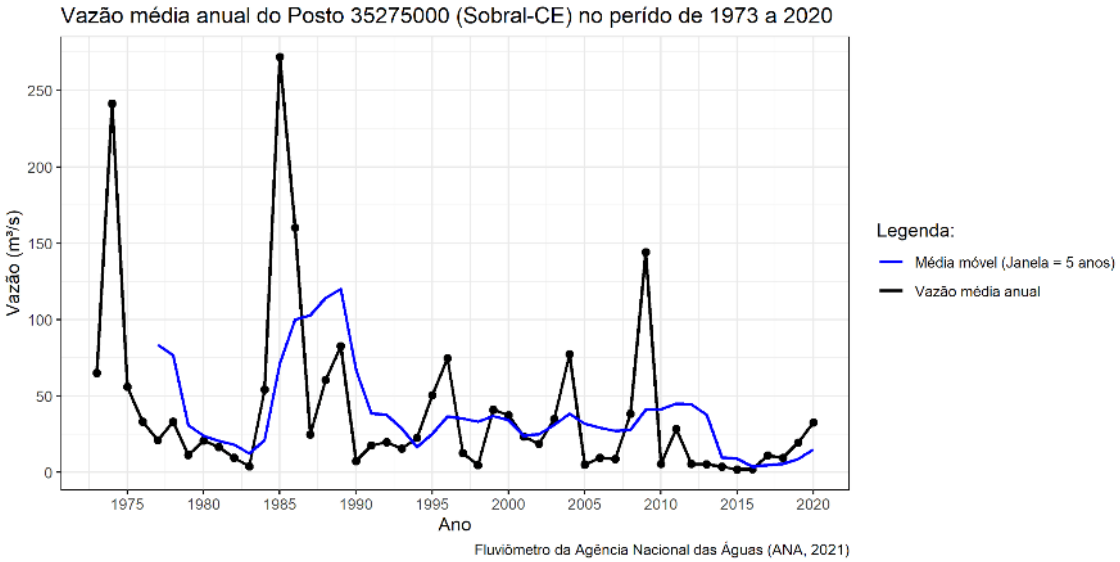
Figura 5. Gráfico ACF para da série histórica anual de vazões de Sobral.



Fonte: ANA, 2021.

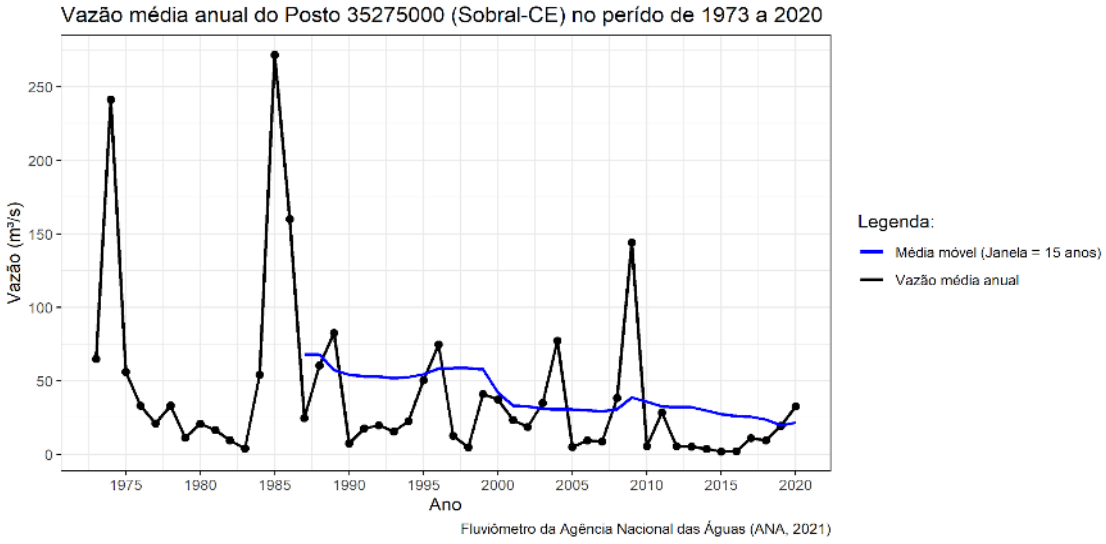
As médias móveis para as janelas de 5, 15 e 30 anos da série de vazões médias anuais referentes ao fluviômetro de Sobral são mostradas pelas Figuras 6, 7 e 8. Analisando a janela de 5 anos, verifica-se uma alta variabilidade da média móvel, indicando que a série temporal possui um forte padrão de variação com período igual a 5 anos. Analisando as médias móveis para 15 e 30 anos nota-se que a força do padrão de variação da série temporal vai diminuindo com o aumento da janela, sendo observado uma variabilidade moderada da média móvel na janela de 15 anos (Figura 7) e uma um pouca mais fraca na janela de 30 anos. Desse modo, conclui-se que a média móvel com janela de 5 anos é a que melhor representa o comportamento da série de vazões médias anuais para o fluviômetro de Sobral.

Figura 6. Média móvel com janela de 5 anos para a série de vazões anuais do fluviômetro de Sobral.



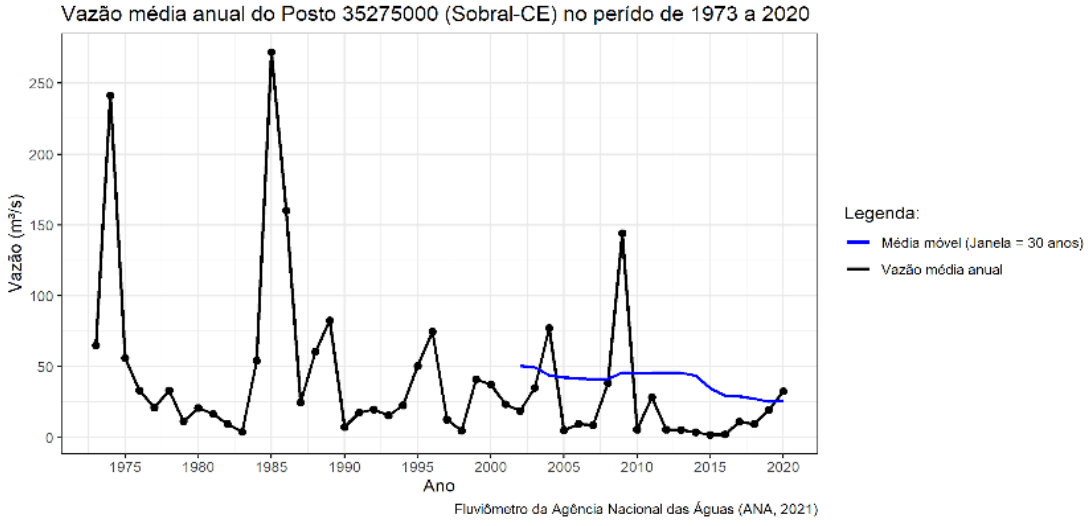
Fonte: ANA, 2021.

Figura 7. Média móvel com janela de 15 anos para a série de vazões anuais do fluviômetro de Sobral.



Fonte: ANA, 2021.

Figura 8. Média móvel com janela de 30 anos para a série de vazões anuais do fluviômetro de Sobral.



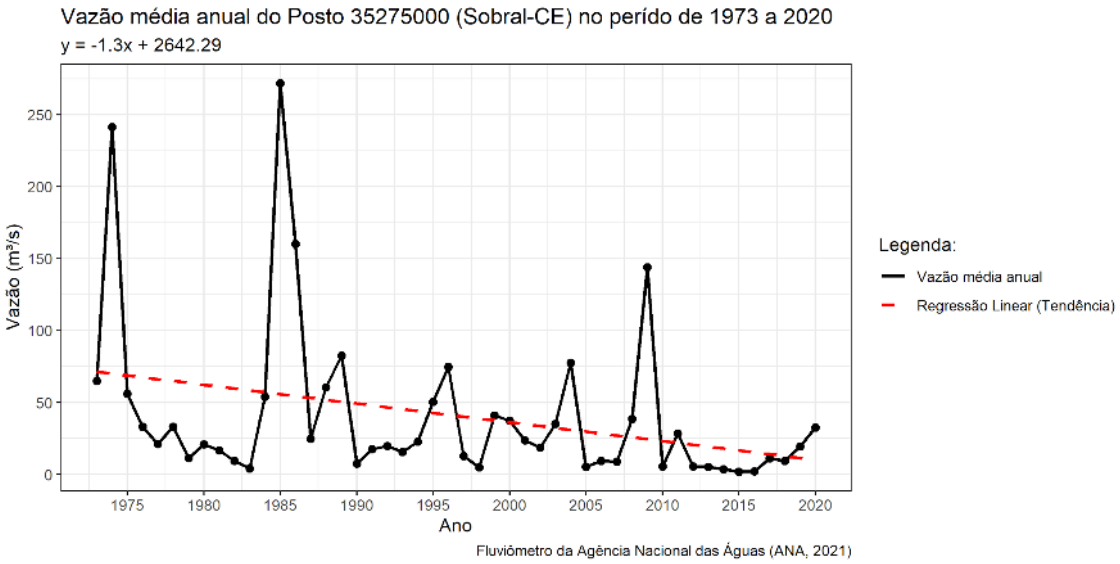
Fonte: ANA, 2021.

3.3 Análise de tendência e sazonalidade

Analisando a série de vazões médias anuais para o fluviômetro de Sobral por regressão linear simples nota-se que a tendência é ocorrerem vazões cada vez menores, conforme ilustrado pela Figura 9. Assim, o comportamento decrescente da série pode ser estimado pela Equação 3, em que se observa um coeficiente de inclinação da reta negativo. A análise da tendência interanual mostra que até meados de 1995, há uma tendência de declínio da vazão, todavia, com valores acima da média (40,71 m^3/s), no entanto, a partir do referido ano, as vazões continuaram a decrescer assumindo valores abaixo da média anual.

$$y = -1{,}3x + 2642{,}29 \quad (3)$$

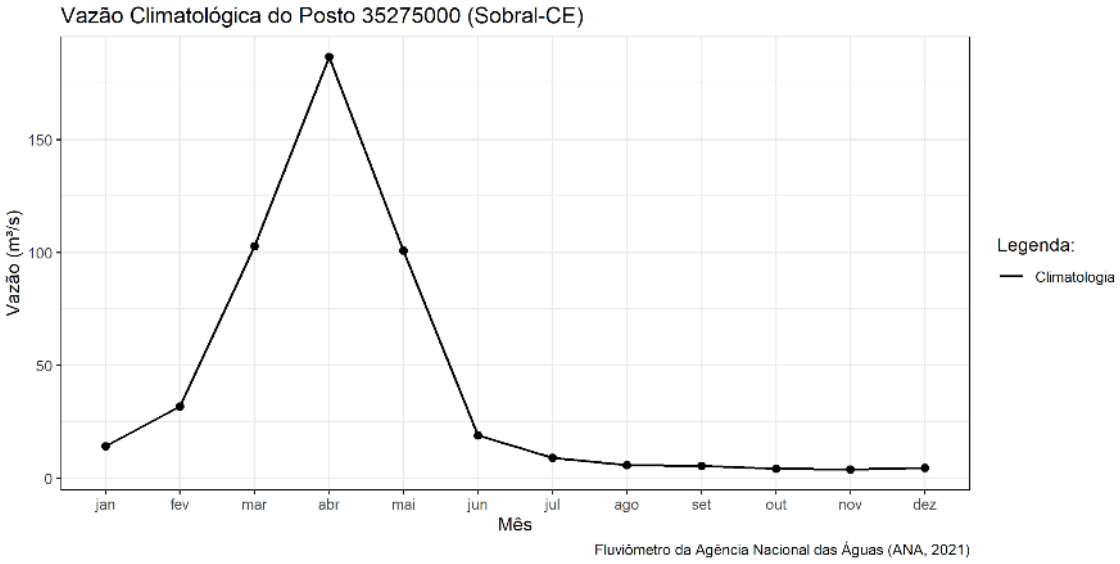
Figura 9. Análise de tendência para a séries de vazões anuais do fluviômetro de Sobral.



Fonte: ANA, 2021.

Para série de vazões médias para o posto fluviométrico da cidade de Sobral foram geradas as médias para cada mês do ano, conforme mostrado na Figura 10. Assim, verifica-se que a partir do mês de janeiro a climatologia apresenta um comportamento crescente, atingindo seu pico no mês de abril, e após o pico as vazões apresentam um comportamento decrescente, sofrendo poucas alterações entre agosto e dezembro. Provavelmente, esse comportamento em que as vazões aumentam consideravelmente entre os meses de março e maio se deve a baixa latitude da área estudada, que é afetada pela migração latitudinal anual da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), um dos principais sistemas atmosféricos que afetam a precipitação e, consequentemente, as vazões dos corpos hídricos da região nordeste do Brasil.

Figura 10. Sazonalidade das vazões do fluviômetro de Sobral.

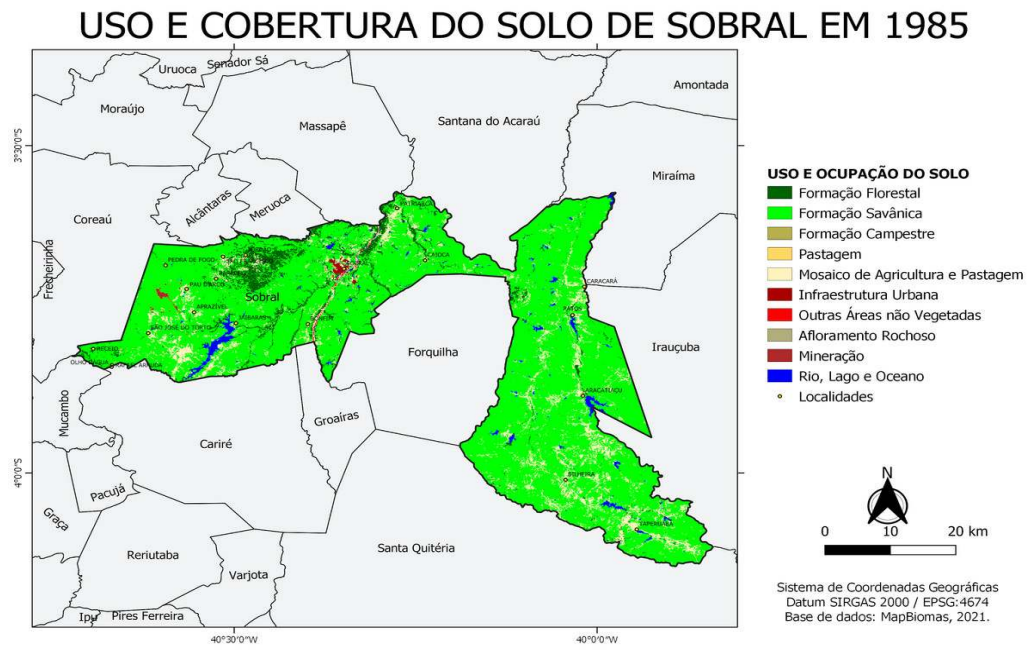


Fonte: ANA, 2021.

3.4 Análise temporal de comportamento do uso e ocupação do solo e demandas consultivas por recursos hídricos para o município de Sobral

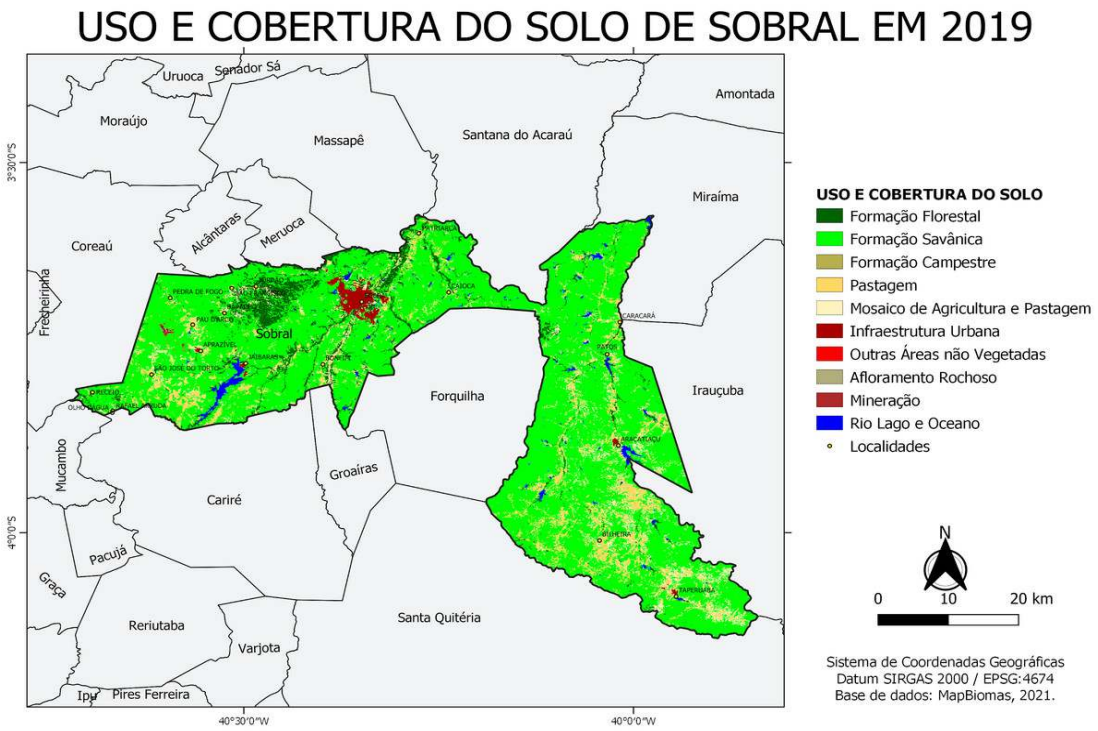
Para a análise da evolução do uso e cobertura do solo do município de Sobral foram gerados, a partir de dados obtidos da plataforma MapBiomas, os mapas de uso e cobertura do solo para os anos de 1985 e 2019, conforme apresentados nas Figuras 11 e 12, respectivamente. Além disso, a Figura 13 apresenta um gráfico comparativo entre os anos abordados com a área de cada tipo de uso e cobertura do solo, em quilômetros quadrados e percentual do total, assim como a evolução percentual de 1985 para 2019.

Figura 11. Mapa de uso e cobertura do solo do município de Sobral no ano de 1985.



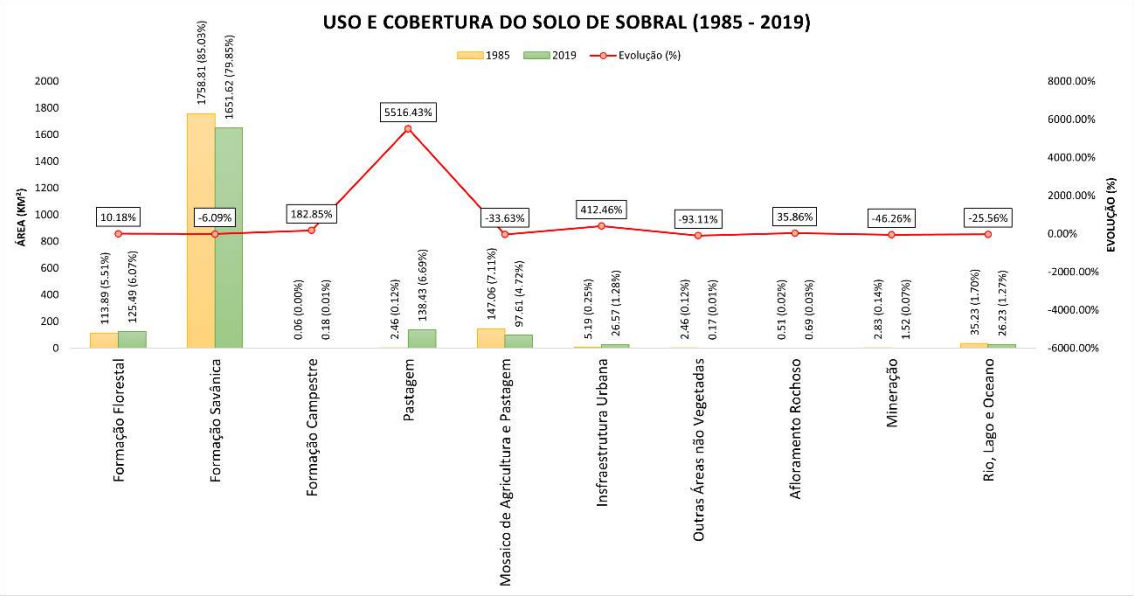
Fonte: MapBiomas, 2021.

Figura 12. Mapa de uso e cobertura do solo do município de Sobral no ano de 2019.



Fonte: MapBiomas, 2021.

Figura 13. Evolução do uso e cobertura do solo do município de Sobral de 1985 para 2019.



Fonte: MapBiomas, 2021.

Ao se avaliar o comportamento de uso e ocupação do solo para o município de Sobral nos extremos da série temporal anual (1985 – 2019), percebe-se uma notória evolução da infraestrutura urbana (412,46%), que passa de 5,19 km² (0,25%) em 1985 para 26,57 km² (1,28%) em 2019. Como esperado, o fenômeno em questão evidencia-se com mais intensidade na sede municipal, muito em virtude da expansão industrial na região. De acordo com Marques e Sales (2012), um dos fatores que mais contribuiu para a expansão urbana da sede municipal foi a instalação da fábrica Grendene Calçados em 1993, o qual atraiu e atrai milhares de pessoas ao longo dos anos em busca de melhores condições de vida. Ainda em relação à infraestrutura urbana, percebe-se um aumento da densidade populacional no distrito de Jaibaras, fato que pode ter sido influenciado pela instalação do Açude Aires de Souza em tal localidade, que é o responsável pelo abastecimento de boa parte do município, incluindo a sede.

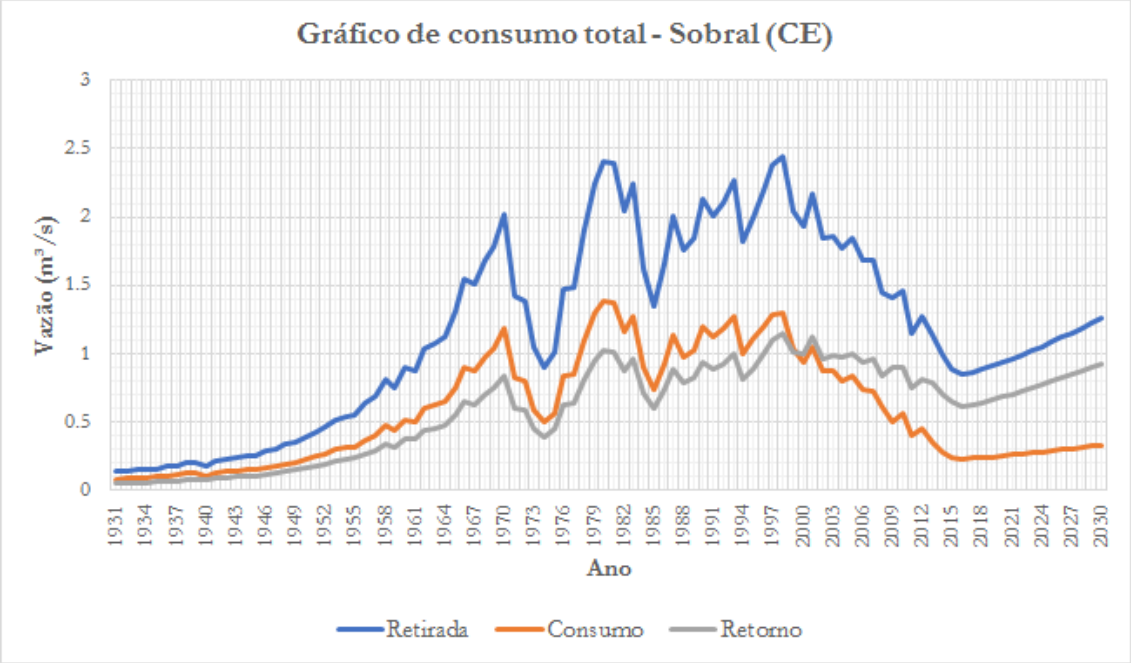
O uso do solo que apresentou maior crescimento foi a pastagem, passando de uma área de 2,46 km² (0,12%) em 1985 para 138,43 km² (6,69%) em 2019, o que representa uma evolução de 5516,43%. Analisando os mapas das Figuras 11 e 12, percebe-se que essa evolução se distribuiu na zona rural do município, sendo mais acentuada próxima aos distritos de São José do Torto, Aprazível, Pau D'Arco, Bilheira, Aracatiaçu e Taperuaba. Além disso, houve a diminuição do mosaico de agricultura e pastagem em 33,36%, demonstrando que a agricultura vem sendo substituída pela pastagem na zona rural. Isso pode ser explicado pelo fato de que o semiárido cearense passou na última década por uma grande seca, o que diminuiu a disponibilidade de água para a agricultura, atividade que necessita de uma grande quantidade desse recurso.

Em relação ao padrão de comportamento dos recursos hídricos, percebe-se que houve uma diminuição da área em 25,56%, sendo seu valor em 1985 35,23 km² (1,70%) e em 2019 26,23 km² (1,27%). Esse decrescimento da área de rios e lagos no município é consequência não só do longo período de seca recente como também da maior demanda de água devido ao aumento populacional na região. Outro fator que justifica essa involução é o aumento da temperatura no decorrer dos anos, o que aumenta consideravelmente a evapotranspiração. Todavia, o estudo em questão evidencia apenas aspectos quantitativos, neste caso, com a expansão populacional, se faz necessária uma avaliação em termos qualitativos da água, que possivelmente foi afetada pelo crescimento populacional ao longo dos anos.

A avaliação em termos quantitativos da demanda consultiva de água total do município de Sobral entre os anos de 1931 e 2021, assim como uma projeção até o ano de 2030 pode ser observada na Figura 14. Avaliados os dados em termos de retirada, percebe-se que a curva apresentada possui um comportamento variado. Até meados do ano 1971, houve um crescimento significativo da retirada de água, todavia, a partir do ano em questão, até 2002, houve um comportamento de retirada variável, com alternância entre períodos de alta e baixa retirada, até alcançar seu valor máximo no ano de 1998, com a demanda de 2,44 m³/s. Ao traçar-se um paralelo com o que foi abordado na discussão sobre uso e ocupação do solo, percebe-se que possivelmente o valor máximo de demanda encontrado foi estimulado pela produção industrial, intensificada pela instalação da indústria Grendene Calçados na sede do referido município, o qual trouxe uma série de outras empresas prestadoras de serviço terceirizado para a mesma. A partir do valor de pico, percebe-se que a demanda total de água para usos consultivos apresenta uma tendência de queda, que pode ter sido influenciada pelos longos períodos de estiagem que assolaram o semiárido cearense, sobretudo entre os anos de 2012 e 2017. Apesar da tendência de queda nas retiradas, conforme a análise do gráfico,

as projeções feitas até o ano de 2030 evidenciam uma leve tendência de crescimento nas retiradas.

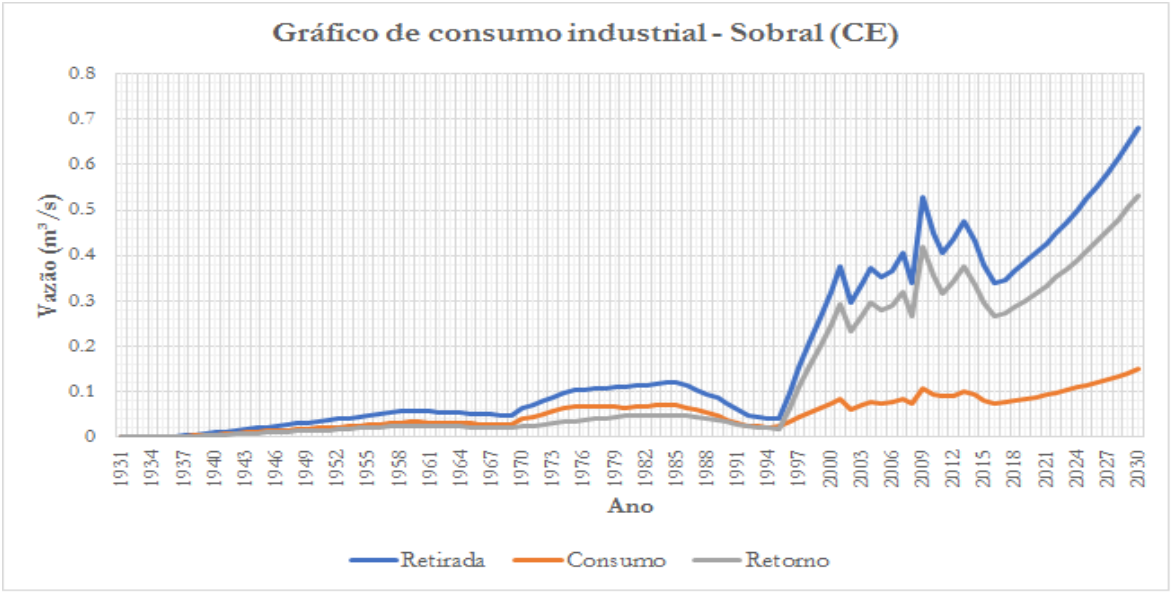
Figura 14. Demanda consultiva de Sobral entre 1931 e 2021, com projeções até 2030.



Fonte: Autores, 2023.

Ao avaliar-se a Figura 15, onde apresenta-se a evolução da demanda de água para o abastecimento industrial, é possível perceber o efeito do processo de industrialização ocorrido em Sobral no ano de 1993. Em termos retirada de água, percebe-se que a partir de 1994 houve um crescimento significativo de retirada de água, estabelecendo-se uma tendência de aumento cada vez amis ao longo dos anos. Todavia, possivelmente em virtude do período de estiagem entre os anos de 2012 e 2017 houve um decréscimo em tais valores. Apesar da seca, a produção industrial continuou a avançar, fazendo com que, a partir de 2018, houvesse novamente uma tendência de aumento nos níveis de retirada. Tal tendência também é evidenciada nas projeções futuras, até o ano de 2030.

Figura 15. Demanda consultiva para abastecimento industrial em Sobral, entre 1931 e 2021, com projeções até 2030.



Fonte: Autores, 2023

Ao se traçar um paralelo com os dados obtidos anteriormente, sobretudo a análise de tendência na série temporal de vazões, percebe-se um cenário preocupante diante das projeções de aumento da demanda por recursos hídricos, sobretudo para o abastecimento industrial, uma vez que a série de vazões evidencia uma tendência de redução

nos aportes de precipitação e consequentemente de vazões para a região. Neste caso, os dados em questão podem ser tomados como um alerta para que as autoridades competentes possam planejar medidas para otimizar os sistemas de recursos hídricos regionais, de modo a se proporcionar garantias de segurança hídrica à população local.

4 CONCLUSÃO

Um dos principais desafios para a gestão de recursos hídricos é a variabilidade temporal das séries temporais de precipitação e vazão, que associa demasiada incerteza em planejamentos futuros dos recursos hídricos. Nesse contexto, a análise de séries temporais, como as realizadas nesse trabalho, permitem um entendimento dos padrões de variação das séries temporais os quais muitas vezes passam despercebidos, ou são tidos como caóticos, quando não realizadas as referidas análises estatísticas.

A análise de estatística descritiva dos dados possibilitou uma visão geral do comportamento das séries temporais na escala anual, onde constatou-se valores máximos, mínimos, assim como valores médios e o grau de dispersão dos dados por meio do desvio padrão. A análise de sazonalidade e tendência das séries possibilitou identificar o comportamento médio da série temporal de vazão em um determinado ano. Identificar esse comportamento é crucial, por exemplo, em regiões como o Nordeste. O comportamento médio das precipitações nessa região fez com que sua gestão de recursos hídricos trabalhasse para transportar água do período úmido do ano (1° semestre, com picos em março e abril) para o período seco (2° semestre do ano, com precipitações nulas entre setembro e outubro). Em relação à tendência, pode-se identificar que, sobretudo as séries de vazões para o posto fluviométrico de Sobral possuem uma tendência acentuada de vazões decrescentes ao longo dos anos.

No que diz respeito a avaliação da autocorrelação entre as séries de precipitações e vazões para a cidade de Sobral, percebeu-se, em relação às precipitações, que a única série que apresentou correlação expressiva foi a mensal, sendo constatados picos que alternam entre positivos e negativos. O mesmo fenômeno se constatou para a série de vazões, o qual apenas a mensal apresentou correlação em alguns lags, sendo estes em sua totalidade, picos positivos.

Em relação a análise temporal de padrões de variação de uso e ocupação do solo e demandas cultivas por recursos hídricos, constatou-se que no município de Sobral houve uma expansão populacional ao longo dos anos, com os maiores aglomerados concentrados na sede municipal, neste caso, aumentando-se a infraestrutura urbana na região. O fato em questão também influenciou na demanda hídrica para abastecimento humano em zonas urbanas, onde verificou-se uma tendência de aumento anual, sobretudo para o atendimento ao setor industrial. O fato em questão deve ser tomado como um alerta para que as autoridades competentes possam adotar formas de otimizar os sistemas de recursos hídricos, de modo a propor garantias de segurança hídrica a nível local.

DECLARAÇÕES

Contribuição dos autores: Todos os autores participaram da concepção do estudo, da análise dos dados e da redação do manuscrito, revisaram e aprovaram a versão final.

Conflito de interesses: Os autores declaram não haver conflito de interesses. O coautor Maurício de Sousa Pereira integra o Conselho Editorial da revista e não participou da avaliação nem das decisões editoriais sobre este manuscrito.

Financiamento: Esta pesquisa não recebeu financiamento específico.

Disponibilidade de dados: Os dados utilizados são públicos e estão disponíveis no portal Hidroweb da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) e na plataforma MapBiomas (Coleção 5).

REFERÊNCIAS

BAI, X.; DAWSON, R. J.; ÜRGE-VORSATZ, D.; DELGADO, G. C.; BARAU, A. S.; DHAKAL, S. e SCHULTZ, S. Six research priorities for cities and climate change. **Nature Climate Change**, Vol. 555, p. 23-25, 2018.

CHARNET, R.; FREIRE, C.A. de L.; CHARNET, E.M.R.; BONVINO, H**. Análises de modelos de regressão com aplicações**. Campinas: Ed. UNICAMP, 2008.

COSTA, M.N. M.; BECKER, C.T.; BRITO, J.I.B. Análise das séries temporais de precipitação do semiárido paraibano em um período de 100 anos - 1911 a 2010. **Rev. Bras. Geogr. Física**, Vol. 6, n. 4, p. 680-696, 2013.

ESPINDOLA, I.B.; RIBEIRO, W.C. Cidades e mudanças climáticas: desafios para os planos diretores municipais brasileiros. **Cad. Metrop.**, Vol. 22, p. 365–395, 2020.

GUEDES, H.A.S.; PRIEBE, P.S.; MANKE, E. B. Tendências em Séries Temporais de Precipitação no Norte do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia.** Vol. 34, p. 283-291, 2019.

MARQUES, M.V.L.; SALES, T.B**. Grendene e FTED: duas fábricas, dois tempos, uma Sobral.** Nota técnica. UECE, Fortaleza, 2008.

MORETTIN, P. A.; TOLOI, C. M. 1987. **Modelos para Previsão de Séries Temporai**s, Edgard Blucher, 356p.

NUNES, L. F. C. V.; MEDEIROS, P. H. A. Análise histórica da severidade de secas no Ceará: efeitos da aquisição de capital hidráulico sobre a sociedade. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, Vol. 17, 2020.

YUKIO, T. **Séries Temporais: Correlograma (Interpretação e Código em R)**. Estatsite, São Paulo, 22, junho de 2017. Disponível em: <https://estatsite.com.br/2017/06/22/series-temporais-correlograma-interpretacao-e-codigo-em-r/ >. Acesso em: 01, janeiro de 2021.