



INFRASTRUCTURE AND URBANISM STUDIES

**WORKING PAPER PPSHUB**

# **Título – Análise do sistema Cantareira**

**Mario Antonio Margarido**

**Frederico Araujo Turolla**

**12 de março de 2026 – Versão 01**

## Sumário

RESUMO .....	3
1. INTRODUÇÃO.....	4
Bem Público <i>versus</i> Bem Comum.....	6
Domínio da Água no Brasil.....	7
O Sistema Cantareira.....	8
O Papel dos Comitês de Bacias Hidrográficas.....	10
2. OBJETIVOS.....	12
3. CONCLUSÕES.....	41
4. LITERATURA CITADA.....	42
5. VERIFICAÇÃO INDEPENDENTE.....	45
6. REFERÊNCIAS.....	45

## SISTEMA CANTAREIRA: Quo Vadis?

Mario Antonio Margarido<sup>1</sup>

Frederico Araujo Turolla<sup>2</sup>

**RESUMO:** Este artigo analisa a evolução histórica e as perspectivas futuras do Sistema Cantareira, um dos maiores complexos de abastecimento de água do mundo, responsável por atender cerca de 9 milhões de pessoas na Região Metropolitana de São Paulo. O estudo abrange o período de janeiro de 2012 a dezembro de 2025, utilizando métodos avançados de séries temporais, como o X-13 ARIMA-SEATS, o filtro Hodrick-Prescott (HP) e o algoritmo de Bry-Boschan. Os resultados evidenciam a severidade da crise hídrica de 2013-2015, na qual o sistema operou com o "Volume Morto" por 18 meses. A análise de sazonalidade revela que os meses de abril e maio são críticos para a segurança hídrica, enquanto o sistema atinge seus níveis mínimos entre outubro e novembro. Em fevereiro de 2026, o sistema operava em Faixa de Restrição, com menos de 50% da sua média histórica. As projeções indicam uma tendência estrutural de queda e alta vulnerabilidade a novos períodos de estiagem, dependendo de cenários climáticos favoráveis para evitar o retorno ao volume morto até 2028.

**Palavras-chave:** Sistema Cantareira; Recursos Hídricos; Séries Temporais; ARIMA; Ciclos; Filtro Hodrick-Prescott.

**ABSTRACT:** This paper analyzes the historical evolution and prospects of the Cantareira System, one of the world's largest water supply complexes, essential for 9 million people in the São Paulo Metropolitan Region. The study covers the period from January 2012 to December 2025, employing advanced time series methods such as X-13 ARIMA-SEATS, the Hodrick-Prescott (HP) filter, and the Bry-Boschan algorithm. Results highlight the severity of the 2013-2015 water crisis, during which the system operated within the "Dead Volume" for 18 months. Seasonality analysis reveals that April and May are critical months for water security, while the system reaches its lowest levels between October and November. As of February 2026, the system was operating in a Restriction Band, with less than 50% of its historical average. Projections indicate a structural downward trend and high vulnerability

---

<sup>1</sup> Doutor em Economia Aplicada pela Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz da Universidade de São Paulo (Esaq/USP), Senior Partner e Líder de Econometria da Pezco Economics e Pesquisador do PSP Hub Estudos em Infraestrutura e Urbanismo. [mario.margarido@pezco.com.br](mailto:mario.margarido@pezco.com.br).

<sup>2</sup> Doutor em Economia de Empresas pela Escola de Administração de Empresas da Fundação Getúlio Vargas de São Paulo (EAESP/FGV), Senior Partner da Pezco Economics e Presidente do PSP Hub Estudos em Infraestrutura e Urbanismo. [fredturolla@pezco.com.br](mailto:fredturolla@pezco.com.br)

to new drought periods, depending on favorable climate scenarios to avoid returning to the dead volume level by 2028.

**Keywords:** Cantareira System; Water Resources; Time Series; ARIMA; Cycles; Hodrick-Prescott Filter.

## 1. INTRODUÇÃO

O Sistema Cantareira é um dos maiores e mais complexos sistemas de abastecimento de água do mundo, fundamental para a subsistência de cerca de 9 milhões de pessoas na Região Metropolitana de São Paulo. Ele opera através de um intrincado mecanismo de transposição de águas entre bacias hidrográficas.

O sistema não é uma represa única, mas um conjunto de seis reservatórios interconectados por túneis e canais que utilizam a gravidade e bombeamento para transportar e tratar a água para consumo humano. Inclui os reservatórios do Jaguari, Jacareí (as maiores), Cachoeira, Atibainha, Paiva Castro e Águas Claras.

O Cantareira retira água das bacias dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá (Bacias PCJ) e as transfere para a bacia do Rio Alto Tietê. Após passar pelos reservatórios, a água é elevada na Estação Elevatória de Santa Inês e enviada para a Estação de Tratamento de Água (ETA) Guaraú, onde é tratada antes da distribuição na Região Metropolitana de São Paulo. Atende total ou parcialmente 11 municípios. Mais especificamente, abastece as zonas Norte e Central, além de partes das zonas Leste e Oeste. Também, atende integralmente os municípios de Franco da Rocha, Francisco Morato, Caieiras, Osasco, Carapicuíba e São Caetano do Sul. Também atende parcialmente, Guarulhos, Barueri, Taboão da Serra e Santo André.

O Cantareira também é fundamental para o abastecimento de cidades no interior, especialmente através da liberação de água pelos reservatórios para os rios da região. Entre as principais cidades beneficiadas estão, Campinas, Paulínia, Hortolândia, Sumaré e Piracicaba.

Para entender a saúde do sistema, os dados são coletados e cruzados entre diferentes órgãos governamentais e técnicos.

A Companhia de Saneamento Básico do Estado de SP (Sabesp), consiste na fonte primária dos dados operacionais diários. O *site* Portal dos Mananciais<sup>3</sup> fornece informações diárias sobre o volume armazenado, pluviometria (chuva acumulada) e vazões de entrada e saída.

Em nível Federal, a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) é a responsável pela regulação federal e pelo Sistema de Acompanhamento de Reservatórios (SAR). É a agência reguladora quem define as faixas de operação e restrição de retirada com base no volume útil de cada reservatório.

Cabe ao Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (Cemaden), emitir relatórios mensais de Situação Atual e Projeção Hidrológica, informações essas, fundamentais para prever crises hídricas com base em modelos climáticos de longo prazo.

Finalmente, o Departamento de Águas e Energia Elétrica de SP (DAEE)<sup>4</sup>, atua na gestão estadual dos recursos hídricos e na outorga do uso da água, muitas vezes em conjunto com a ANA.

Figura 1. Estrutura da Gestão de Recursos Hídricos, Estado de São Paulo.  
Fonte: Elaborada pelo autor com ajuda da IA DeepSeek.

Atualmente (fevereiro de 2026), o Cantareira vive um período de cautela extrema. Embora as chuvas de fevereiro de 2026 tenham trazido um alívio temporário (superando a média de anos anteriores como 2025), o sistema ainda opera em Faixa de Restrição.

Quadro 1. Indicador, Status, Observação, Sistema Cantareira

Indicador	Status Típico (Fev/2026)	Observação
Volume Armazenado	Oscilando entre 20% e 35%	Nível considerado crítico a de atenção.
Vazão de Retirada	Reduzida para ~23 m <sup>3</sup> /s	Abaixo da capacidade normal de 33 m <sup>3</sup> /s.
Condição de Operação	Faixa de Restrição / Nível 4	Implica medidas de gestão de demanda e redução de pressão.

Fonte: Elaborado pelo autor com base em informações da ANA.

<sup>3</sup> <https://mananciais.sabesp.com.br/>

<sup>4</sup> O DAEE foi substituído pela SP-Águas, sendo que essa mudança é relativamente recente. Essa mudança ocorreu através da Lei Complementar nº 1.413, sancionada em 23 de setembro de 2024, e foi regulamentada pelo Decreto nº 69.339 em fevereiro de 2025.

## Bem Público *versus* Bem Comum

Conforme apresentado em Pindyck e Rubinfeld (2013, p.619) um “bem público é uma mercadoria que pode ser disponibilizada a baixo custo para muitos consumidores, mas, assim que ela é ofertada para alguns, torna-se muito difícil evitar que outros também a consumam”. Por exemplo, no caso da iluminação pública é não-excludente e não-rival, isto é, se um indivíduo usar o bem não diminui a quantidade disponível para os demais indivíduos.

No entanto, no caso da retirada de água de um rio ou reservatório é diferente. Nesse caso, é excludente, por exemplo, é difícil impedir que alguém chegue à margem e pegue um balde de água. Também, é rival, uma vez que, caso uma grande indústria retire milhões de litros para resfriar máquinas, sobra menos água para o agricultor rio abaixo. Isso gera a famosa "Tragédia dos Comuns". O autor referência quanto à Tragédia dos Comuns é Hardin (1968), sendo que, esse autor argumenta que, se cada indivíduo agir de forma racional e egoísta em um recurso comum (como um rio), a ruína total é inevitável. Esse é o ponto de partida para quase todo debate ambiental. Hardin (1968), tem uma visão pessimista, uma vez que, o uso livre leva à destruição. Defende privatização ou controle estatal rígido.

Em contrapartida, a visão do recurso comum, é mais otimista, tendo como pedra angular o trabalho de Ostrom (1990). Esse autor, desafiou a ideia de que os bens comuns devem ser sempre privados ou estatizados, uma vez que, as comunidades podem criar regras de cooperação para gerir o bem sem intervenção externa.

Por exemplo, tem-se um reservatório que abastece uma pequena região. Três são os atores principais retirando água simultaneamente. A Companhia de Saneamento, retira água para tratar e enviar aos consumidores. O Agricultor, utiliza irrigação por aspersão para sua lavoura de milho. Finalmente, a Fábrica de Bebidas, retira grandes volumes de água como matéria-prima.

Nesse caso, tem-se a questão da rivalidade, se o agricultor decidir expandir sua plantação no mesmo momento em que a fábrica aumenta a produção, o nível do reservatório cai drasticamente. A retirada de um dos atores impacta diretamente a capacidade do outro de operar. Neste cenário, a água se comporta como um bem rival. Se não houver gestão, o recurso se esgota, prejudicando a todos, ou seja, apresenta falha de mercado. Lembrando que, de acordo com Pindyck e Rubinfeld (2013, p.318) a “falha de mercado corresponde a situação na qual um mercado competitivo desregulamentado é ineficiente porque os preços não fornecem sinais adequados aos consumidores e produtores”. Como resultado, dado que os preços não fornecem sinais adequados tanto para consumidores quanto para produtores, isto implica que, o mercado não regulamento é ineficiente, sendo assim, não é possível maximizar conjuntamente os excedentes do produtor e consumidor, daí a necessidade de intervenção do Estado para regulamentar esse mercado. Basicamente, duas são as situações que podem ocasionar

falha de mercado, externalidades e assimetria de informações. De acordo Nicholson e Snyder (2008, p.670), a “externalidade ocorre sempre que as atividades de um ator econômico afetam o atividades de outro em maneiras que não se refletem nas transações de mercado”. A externalidade é caracterizada pelo fato de que as ações de um consumidor ou de um produtor podem ter influência sobre outros produtores ou consumidores, sendo que tais influências não são levadas em consideração na fixação do preço de mercado. Já, a assimetria informacional, ocorre quando os consumidores não dispõem de informações suficientes a respeito da qualidade ou natureza de determinado produto, impedindo-os de tomar decisões de compra capazes de maximizar sua utilidade.

Embora a água em si seja um recurso comum, a gestão dos recursos hídricos, ou seja, as leis, o sistema de fiscalização e a preservação da mata ciliar, funciona como um bem público. Todos se beneficiam de um rio limpo e perene, e o fato de que a lei seja respeitada por um dos atores não impede que outro ator, também, possa usufruir de um rio saudável.

Para evitar que o "bem comum" seja destruído, o Estado geralmente intervém criando a Outorga, que é uma autorização de uso. Isso transforma o acesso em algo "excludente" para garantir a sustentabilidade ambiental.

### Domínio da Água no Brasil

No Brasil, o domínio da água é dividido entre a União (Federal) e os entes federativos (Estados). Uma característica única do sistema brasileiro é que não existe propriedade privada de águas, como ocorre nos EUA, por exemplo. Os agentes econômicos não são os donos da água que passa pelas suas respectivas propriedades, esses agentes econômicos, apenas tem o direito de uso.

Sendo assim, é necessário explicitar a participação de cada instituição quanto ao uso da água. Em nível Federal, seu domínio incide sobre os rios que banham mais de um Estado, como, por exemplo, os Rios São Francisco e Paraná. Também, os rios que servem de limite entre dois ou mais Estados pertencem a União. Ainda, os rios que servem de limite com outros países ou se estendam a território estrangeiro, como por exemplo, os Rios Amazonas e Uruguai, além da água armazenada em reservatórios feitos pela União, como por exemplo, açudes construídos pelo Departamento Nacional de Obras Contra a Seca (DNOCS), também são propriedades do Governo Federal.

Em relação ao âmbito estadual, pertencem aos Estados as águas que têm nascente e foz dentro do território de um único ente federativo, também denominados de rios intraestaduais. Águas

subterrâneas, como, por exemplo, o aquífero Guarani<sup>5</sup> são, por lei, de domínio estadual, gerando assim, grandes desafios de gestão conjunta entre os diversos entes federativos.

### O Sistema Cantareira

O Cantareira é o exemplo perfeito dessa "confusão" jurídica e administrativa, pois é um sistema interfederativo. É composto por rios federais, tais como, os rios Jaguari e Camanducaia, os quais, cruzam os Estados de Minas Gerais e São Paulo. Em função disso, a ANA é que autoriza a retirada de água. Sob o manto da gestão estadual, toda infraestrutura de bombeamento e a distribuição são operadas pela Sabesp (Estadual), sob as regras do DAEE (Estadual).

Em suma, quanto a gestão da água, dado que, o Sistema Cantareira retira água de bacias federais (PCJ) para jogar em bacias estaduais (Alto Tietê), existe uma Outorga Conjunta (ANA e DAEE), as quais são as instituições que decidem quanta água o Estado de São Paulo pode tirar sem secar o interior ou prejudicar o Rio de Janeiro (que recebe água do Paraíba do Sul, alimentado por esses rios). Na prática, o governo federal (União) atua como o grande regulador estratégico através da Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei 9.433/97), mas a gestão do dia a dia e a cobrança pelo uso geralmente ficam a cargo dos Estados ou Comitês de cada Bacia.

Vista com maior nível de detalhes, a Lei N.9.433, de 08 de janeiro de 1977 instituiu a “Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o Inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989”.

O Artigo 1 da Política Nacional de Recursos Hídricos estabelece que: “I - a água é um bem de domínio público; II - a água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico; III - em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais; IV - a gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas; V - a bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos; VI - a gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades”.

---

<sup>5</sup> O Aquífero Guarani é uma das maiores reservas de água doce subterrânea do mundo e, em território brasileiro, ele se estende por 8 estados, abrangendo as regiões Centro-Oeste (Mato Grosso do Sul, Mato Grosso e Goiás), Sudeste (São Paulo e Minas Gerais) e Sul (Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul). Também se estende internacionalmente, pois esse aquífero, também, está em territórios da Argentina, Paraguai e Uruguai.

Os objetivos da Política Nacional de Recursos Hídricos, os quais, estão no Capítulo II, são: “I - assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos; II - a utilização racional e integrada dos recursos hídricos, incluindo o transporte aquaviário, com vistas ao desenvolvimento sustentável; III - a prevenção e a defesa contra eventos hidrológicos críticos de origem natural ou decorrentes do uso inadequado dos recursos naturais”.

No Brasil, a cobrança pelo uso da água e as prioridades de consumo são regidas pela Lei das Águas (Lei 9.433/97). Diante de uma situação de escassez hídrica, a lei brasileira é muito clara. Existe uma "fila" de prioridades que os órgãos (ANA e DAEE) devem respeitar. Em primeiro lugar, está o consumo humano para atividades como, beber, cozinhar e higiene básica. Em segundo lugar, está a dessedentação de animais, ou seja, garantir que o gado e outros animais não morram de sede. Finalmente, tem-se a categoria denominada de outros usos, sendo que, nessa categoria estão os usos da água pela indústria, irrigação agrícola e geração de energia elétrica (estes entram em regime de corte ou rodízio se os dois primeiros estiverem em risco).

Quanto a cobrança pelo uso da água, diferente da conta de água da Sabesp, que o consumidor paga pelo serviço de tratamento e tubulação, a cobrança pelo Uso de Recursos Hídricos é um valor pago<sup>6</sup> por quem retira água diretamente de rios ou poços, como, por exemplo, indústrias, mineradoras, e a própria Sabesp. Esse pagamento pela retirada da água dos rios, representa um tributo por essa extração, sendo que, esses recursos podem ser direcionados tanto para a União quanto para os entes federativos. No caso de rios federais, o órgão responsável pela cobrança é a ANA. Mais precisamente, o dinheiro vai para a conta da União, mas deve ser reinvestido na própria bacia de onde saiu, por exemplo, em atividades como o reflorestamento das margens do Rio Jaguari. Nos casos de rios estaduais e poços, quem determina a outorga é o DAEE, no caso do Estado de São Paulo. Nesse caso, os recursos arrecadados vão para o Estado investir em projetos de saneamento e recuperação de mananciais locais.

Na outra ponta, ou seja, pelo lado do consumo, dado que, a Sabesp precisa pagar pela água bruta que retira dos rios federais e estaduais, esse custo é repassado para a tarifa final. Existe estreita relação entre as contas de energia elétrico e de água/esgoto. Quando os níveis dos reservatórios são reduzidos, as contas de energia elétrica aumentam, via aplicação do sistema de bandeiras tarifárias. Essa situação, também, se reflete sobre a conta de água/esgoto paga pelo consumidor. Novamente, se o nível cai muito, o custo de operação sobe, pois é preciso bombear água de lugares mais profundos, como o "Volume Morto"), e isso pode gerar sobretaxas. Também, diante, de queda acentuada dos níveis dos

---

<sup>6</sup> Esse valor pago é denominado outorga.

reservatórios, visando evitar perdas na rede (vazamentos), a Sabesp reduz a pressão à noite. Isso é uma decisão técnica baseada nos dados de volume que a ANA monitora.

### O Papel dos Comitês de Bacias Hidrográficas

O dinheiro arrecadado com outorga da água não vai para o "caixa geral" do governo para pagar dívidas. Ele é gerido pelos Comitês de Bacia Hidrográfica, onde participam prefeituras, empresas e a sociedade civil. Eles decidem se o dinheiro vai para limpar um córrego ou para dar bônus para quem economiza água.

Atualmente, os Comitês das Bacias PCJ (Piracicaba, Capivari e Jundiá) têm pressionado por investimentos maiores em Reuso de Água Direto, para que a indústria pare de "beber" a água potável que deveria ir para as casas.

O Quadro 2, apresenta de forma resumida o tipo de cobrança pelo uso da água, quais são os agentes que pagam pelo uso da água, quem arrecada essa recita proveniente da outorga da água e o destino de tais recursos.

Quadro 2. Tipo de Cobrança, Quem Paga, Quem Arrecada, Destino do Recurso, Estado de São Paulo

<u>Tipo de Cobrança</u>	<u>Quem Paga</u>	<u>Quem Arrecada</u>	<u>Destino do Recurso</u>
Outorga (Direito)	Grandes usuários	ANA ou DAEE	Gestão e fiscalização
Pelo Uso (Volume)	Indústria/ Agronegócio	Comitê de Bacia	Obras de despoluição e proteção

Fonte: Elaborado pelo autor

No Brasil, a Outorga de Direito de Uso de Recursos Hídricos é o instrumento estatal que retira a água da esfera de "acesso livre" e a coloca sob gestão controlada. Não significa a venda da água, pois esta é um bem público de domínio da União ou dos Estados, mas sim uma autorização precária para o seu uso. Em outras palavras, a outorga não é exatamente uma "cobrança" no sentido de arrecadação de dinheiro para o cofre público, mas sim um ato administrativo. Geralmente são taxas de fiscalização ou custos de licenciamento. Quando for o caso de um rio federal, o órgão responsável pela cobrança da outorga é a ANA, enquanto, no caso de um rio estadual, tendo como base o Estado de São Paulo, a cobrança da outorga é efetuada pelo DAEE (Quadro 2). O principal objetivo da cobrança da outorga é gerar recursos para que a máquina pública possa funcionar para garantir que ninguém use água demais e deixe os outros sem. Portanto, cobrança da outorga não é um imposto, mas um preço público, isto é, o objetivo principal não é arrecadar dinheiro, mas sim sinalizar para o usuário que a água é um bem escasso e deve ser usada com eficiência.

Em relação a cobrança pelo uso, em termos de volume, isto se refere ao valor pago por metro cúbico de água captada ou despejada em determinado sistema. Nesse caso, quem paga é a indústria e o agronegócio, pois são grandes consumidores. No entanto, é necessário enfatizar que as empresas de saneamento também pagam, e repassam esses custos para a tarifa de água paga pelo consumidor (Quadro 2).

Por lei, esses recursos devem ser reinvestidos na própria bacia hidrográfica para melhorar a qualidade da água da própria bacia.

### **Sistema Cantareira: Uma visão geral**

O Sistema Cantareira é um sofisticado e complexo conjunto de obras de arte, contendo sete reservatórios (ou represas), Represas do Jaguari (Federal), Jacareí (Estadual), Cachoeira (Federal), Atibainha (Estadual), Paiva Castro (Estadual) e Águas Claras (Estadual). Esse sistema é alimentado por quatro rios federais (Piracicaba, Atibaia, Jaguari e Cachoeira), três rios estaduais (Jacareí, Atibainha e Juqueri), sete tuneis para a transferência da água entre as represas, uma estação elevatória (Santa Inês) e uma estação de tratamento (Guaraú), como pode ser observado na Figura 1. É necessário enfatizar que a Figura 1 é atualizada a cada dia.

A transferência da água das represas Jaguari/Jacareí até a represa Paiva Castro é efetuada por gravidade<sup>7</sup> através de tuneis. Para vencer o desnível proporcionado pela Serra da Cantareira entre as represas Paiva Castro e Águas Claras, entra em ação a estação elevatória Santa Inês, a qual, bombeia a água da primeira represa para a segunda. A partir de Águas Claras a água é transportada via tuneis até a Estação de Tratamento de Água do Guaraú e posteriormente, é conduzida para abastecer a região metropolitana de São Paulo, como pode ser observado na Figura 1.

Assim como a Figura 1, a Figura 2, também é atualizada a cada 24 horas. A Figura 2 é mais completa, pois informa, também, a quantidade de chuva diária que ocorre nos arredores de cada represa do Sistema Cantareira, além dos fluxos de água (entrada e saída) entre os diversos reservatórios, bem como o volume de água em cada represa.



---

<sup>7</sup> Em situações de seca extrema (como a crise de 2014), quando o nível da água fica abaixo das comportas dos tuneis, a gravidade deixa de funcionar. Nesses casos, a Sabesp instala bombas flutuantes para "puxar" a água do fundo até o nível do túnel para que ela possa seguir viagem.

Figura 1. Volume Útil Armazenado, Sistema Cantareira, Estado de São Paulo, 24 de Fevereiro de 20226.

Fonte: ANA (2026).

<https://www.gov.br/ana/pt-br/sala-de-situacao/sistema-cantareira>

O dado de vazão captada refere-se ao dia anterior, pois os dados são consolidados diariamente no período de 00h às 24h para elaboração do balanço hídrico. Após a consolidação, o valor é atualizado para a captação efetiva do dia.

Figura 2. Fluxos Hídricos e Pluviométricos, Sistema Cantareira, Estado de São Paulo.

Fonte: São Paulo (2026).

## 2. OBJETIVOS

O objetivo desse artigo é analisar a evolução do volume útil de água no Sistema Cantareira no período compreendido entre 01 de janeiro de 2012 e 31 de dezembro de 2025. Mais especificamente, determinar os componentes da série do volume útil do Sistema Cantareira em termos de sazonalidade, tendência e ciclo. Também, objetiva-se estimar um modelo de previsão com base no Modelo Autorregressivo Integrado de Médias Móveis (ARIMA) do volume útil do Cantareira até dezembro de 2026.

### DADOS

As informações relativas ao Volume Útil em  $\text{hm}^3$  para o sistema Cantareira foram obtido em BRASIL (2026). Esse *site* apresenta o volume útil diário para os quatro reservatórios do Sistema Cantareira, são eles, Jaguari-Jacareí, Cachoeira, Atibainha e Paiva Castro. O próximo passo, foi transformação dos dados diários em mensais para cada um dos quatro reservatórios. Para se obter os valores do volume útil do Sistema Cantareira, os volumes dos quatro reservatórios foram somados. O período de análise se inicia em janeiro de 2012 e estende-se até dezembro de 2025.

### MÉTODOS<sup>8</sup>

O escopo principal ao se trabalhar com modelos de séries temporais é determinar o processo gerador da série analisada. Em linhas gerais, o processo gerador de uma série temporal define o comportamento da série ao longo do tempo, considerando seus próprios valores passados (componentes autorregressivos) e/ou os choques presentes e passados (componentes de médias móveis) que a afetam. Esta é a base do Modelo Autorregressivo Integrado de Médias Móveis (ARIMA), cuja pedra angular é o livro de Box, Jenkins e Reinsel (1994).

---

<sup>8</sup> Esse item tem como base Margarido (2026).

Conforme Margarido (2021a, 2021b), diversas séries econômicas apresentam padrões sazonais, mas a sazonalidade não é exclusiva dessas séries. Ela é parte integrante do processo gerador das séries temporais e não pode ser simplesmente ignorada, pois isso pode resultar em vieses, tanto na análise do relacionamento estrutural entre variáveis, essencial para entender as relações de causa e efeito em um modelo econométrico, quanto na elaboração de modelos de previsão. Entretanto, a presença de sazonalidade torna a modelagem do processo gerador dessas séries mais complexa.

Uma série temporal pode ser desmembrada em quatro componentes: ciclo, tendência, sazonalidade e componente aleatório. Matematicamente, uma série temporal pode ser modelada sob a forma multiplicativa ou aditiva, como retratada nas equações a seguir:

$$Ym_t = T_t \times S_t \times C_t \times I_t \quad (1)$$

ou

$$Ya_t = T_t + S_t + C_t + I_t \quad (2)$$

onde:  $Ym_t$  é a série de tempo categorizada como multiplicativa;  $Ya_t$  é a série de tempo aditiva;  $T_t$  é a tendência;  $S_t$  é a sazonalidade;  $C_t$  são o ciclo e  $I_t$  é o componente aleatório, também classificado de resíduo ou irregular.

Os modelos aditivo e multiplicativo podem ser representados, respectivamente, como:

$$O_t = C_t \times S_t \times I_t \times P_t \times D_t \quad (3)$$

$$O_t = C_t + S_t + I_t + P_t + D_t \quad (4)$$

onde:  $D_{(tr,t)}$  são os fatores de *trading-day* derivados de pesos diários anteriores e  $D_{(r,t)}$  corresponde aos resíduos dos fatores *trading-day* estimados a partir da regressão de *trading-day*.

O procedimento X-12-ARIMA é uma adaptação do X-12-ARIMA *Seasonal Adjustment Program*, produzido pelo U.S. Bureau of the Census (1998), que incorpora componentes criados pelo *Statistics Canada* (DAGUM, 1988). Trata-se de um método automático de modelagem, fundamentado nos trabalhos de Gómez e Maravall (1997a; 1997b).

O método de decomposição X-13 ARIMA-SEATS é uma evolução do X-12-ARIMA, proporcionando um conjunto mais amplo de ferramentas e maior versatilidade para a análise de séries temporais. Porém, o X-12-ARIMA ainda pode ser vantajoso em determinados casos. A decisão entre as duas versões deve considerar as características da série temporal em análise e as necessidades específicas do usuário.

O componente sazonal captura os padrões regulares da série temporal, como índices pluviométricos, estações do ano, safras e entressafras de produtos agrícolas, variações nas vendas do comércio, entre outros. Assim, a sazonalidade está ligada a um horizonte temporal de curto prazo, geralmente abrangendo o período de um ano.

Os ciclos, no sentido clássico, são caracterizados por longas ondas que exibem picos e vales em intervalos relativamente regulares em torno de uma linha de tendência, tornando-se, assim, um elemento de longo prazo. O filtro Hodrick-Prescott também gera um componente cíclico, mas, com base nesse método, o ciclo é entendido como um elemento de curto prazo. O interesse pelos ciclos está associado aos seus pontos de alternância, conhecidos como pontos de inflexão, bem como à sua frequência, duração, profundidade, efeitos e fases associados. Em economia, o conhecimento detalhado desse componente da série temporal é importante para a análise dos ciclos, com o escopo de identificar fases de prosperidade, recessão etc.

Ao contrário da sazonalidade, os ciclos são variações relativamente regulares ao longo dos anos, mas não relacionadas às estações do ano. Os ciclos de oferta ocorrem em culturas perenes e em animais de grande porte, como na produção de gado bovino, cujo processo produtivo se estende por vários anos. Embora a duração, amplitude e continuidade dos ciclos sejam irregulares, certas características cíclicas são úteis na elaboração de previsões de médio e longo prazo.

O componente irregular abrange todos os fatores que influenciam o comportamento da série temporal, mas que não podem ser explicados pela tendência, ciclo ou sazonalidade. Ele é equivalente ao termo de erro em uma regressão ou ao resíduo no modelo Autorregressivo Integrado de Médias Móveis (ARIMA).

Para calcular o Coeficiente de Amplitude Sazonal (CAS) utilizou-se a metodologia descrita por Freitas, Ferreira e Barbosa (1998). Esse coeficiente permite avaliar a magnitude da sazonalidade em uma série temporal. O cálculo é feito pela seguinte fórmula:

$$CAS = \frac{(indicemaximo - indiceminimo)}{(indicemaximo + indiceminimo)} \times 2 \times 100 \quad (5)$$

A tendência, como componente de uma série temporal, abrange elementos de longo prazo relacionados à série temporal. Ela representa aumentos e/ou diminuições no nível da série ao longo do tempo. A tendência pode ser estocástica, resultante de um processo aleatório, ou determinística, dependendo do tempo. No contexto econômico, a tendência estocástica reflete mudanças no nível da série temporal que podem ser provocadas por fatores como transformações sociais, avanços tecnológicos, condições de mercado ou ambientais. Essa tendência é geralmente moldada por

influências ao longo de vários anos. Do lado da oferta, por exemplo, o desenvolvimento e a disseminação de novas tecnologias são fatores cruciais que reforçam seu caráter de longo prazo.

O componente sazonal captura os padrões regulares da série temporal, como índices pluviométricos, estações do ano, safras e entressafras de produtos agrícolas, variações nas vendas do comércio, entre outros. Assim, a sazonalidade está ligada a um horizonte temporal de curto prazo, geralmente abrangendo o período de um ano.

Os ciclos, no sentido clássico, são caracterizados por longas ondas que exibem picos e vales em intervalos relativamente regulares em torno de uma linha de tendência, tornando-se, assim, um elemento de longo prazo. O filtro Hodrick-Prescott (HP) também gera um componente cíclico, mas, com base nesse método, o ciclo é entendido como um elemento de curto prazo. O interesse pelos ciclos está associado aos seus pontos de alternância, conhecidos como pontos de inflexão, bem como à sua frequência, duração, profundidade, efeitos e fases associados. Em economia, o conhecimento detalhado desse componente da série temporal é importante para a análise dos ciclos, com o escopo de identificar fases de prosperidade, recessão etc.

Ao contrário da sazonalidade, os ciclos são variações relativamente regulares ao longo dos anos, mas não relacionadas às estações do ano. Os ciclos de oferta ocorrem em culturas perenes e em animais de grande porte, como na produção de gado bovino, cujo processo produtivo se estende por vários anos. Embora a duração, amplitude e continuidade dos ciclos sejam irregulares, certas características cíclicas são úteis na elaboração de previsões de médio e longo prazo.

O componente irregular abrange todos os fatores que influenciam o comportamento da série temporal, mas que não podem ser explicados pela tendência, ciclo ou sazonalidade. Ele é equivalente ao termo de erro em uma regressão ou ao resíduo no modelo Autorregressivo Integrado de Médias Móveis (ARIMA).

O filtro Hodrick-Prescott (filtro HP) é amplamente utilizado no campo da macroeconomia, especialmente na teoria do ciclo real de negócios, conforme descrito por Hodrick e Prescott (1997). Para aplicar o filtro HP é fundamental que a série temporal esteja livre de sazonalidade. Logo, se a série apresentar sazonalidade é necessário removê-la antes de aplicar o filtro HP.

O filtro HP permite decompor uma série temporal, separando o componente cíclico e suavizando a série. Esse processo torna a série mais sensível às flutuações de longo prazo do que às flutuações de curto prazo. Para ajustar a tendência da série em relação às flutuações de curto prazo é necessário calibrar o multiplicador  $\lambda$ . Considerando apenas os elementos de longo prazo, uma série temporal pode ser decomposta como  $y_t = \tau_t + c_t$ , onde  $\tau_t$  representa a tendência e  $c_t$  corresponde ao ciclo. Ao escolher o multiplicador  $\lambda$  adequado, minimiza-se a seguinte expressão:

$$\min_{\tau} \left( \sum_{t=1}^T (y_t - \tau_t)^2 + \lambda \sum_{t=2}^{T-1} [(\tau_{t+1} - \tau_t) - (\tau_t - \tau_{t-1})]^2 \right)$$

O primeiro termo da expressão representa o quadrado dos desvios em relação ao ciclo ( $d_t = y_t - \tau_t$ ), o qual penaliza o componente cíclico. Isso reflete o “custo” de incorporar flutuações na própria tendência. O segundo termo na fórmula é um múltiplo de  $\lambda$  e representa a segunda diferença da soma de quadrados da componente tendência. Esse termo penaliza as variações na taxa de crescimento da tendência. Quanto maior o valor de  $\lambda$ , maior é essa penalidade. Nesse sentido, é necessário calibrar  $\lambda$  adequadamente e isso depende da periodicidade da série temporal. Conforme Enders (2004), ao aumentar o valor de  $\lambda$  a tendência da série tende a ser suavizada. Se  $\lambda=0$ , a soma de quadrados é minimizada quando  $y_t = \tau_t$ , o que significa que a tendência é igual à própria variável. Quando  $\lambda \rightarrow \infty$ , a soma de quadrados é minimizada quando  $(\tau_{t+1} - \tau_t) = (\tau_t - \tau_{t-1})$ , sendo constante a mudança na tendência, resultando numa tendência determinística ou linear.

Ainda, de acordo com Enders (2004, p. 224), “intuitivamente, grandes valores para  $\lambda$ , implicam que a decomposição Hodrick-Prescott (HP) força mudanças na tendência ( $\Delta\tau_{t+1} - \Delta\tau_t$ ) que sejam as menores possíveis. Isto ocorre quando a tendência é linear”. A escolha para o valor de  $\lambda$  é arbitrária e varia conforme a periodicidade da série. Segundo a literatura afim (Ravn; Uhlig, 2002; Margarido, 2021a), no caso de séries trimestrais, adota-se  $\lambda = 1/1600$  (ou 0,000625); para séries anuais  $\lambda = 1/7$  (ou 0,15); e para séries mensais,  $\lambda = 1/14400$  (ou 0,0000694). Enders (2004) destaca ainda que a principal vantagem do filtro HP é sua capacidade de aplicar o mesmo método para extrair a tendência de um conjunto de variáveis.

Por último, mas não menos importante, outro instrumento relevante em relação aos ciclos econômicos, tem-se o algoritmo de Bry e Boschan (1971) Tal ferramenta estatística é essencial em econometria para detectar os pontos de inflexão (picos e vales) em séries temporais econômicas. Esses pontos de inflexão são fundamentais para apurar se uma economia está em recessão ou expansão, sendo muito utilizados na análise dos ciclos econômicos.

## ANÁLISE DE RESULTADOS

A Figura 3 apresenta a evolução temporal em termos de Volume Útil em hectômetro cúbico<sup>9</sup>. O Volume Útil é a quantidade de água que um reservatório pode efetivamente utilizar para suas finalidades (como geração de energia, irrigação ou abastecimento), descontando o chamado "Volume

---

<sup>9</sup> Equivale a um milhão de metros cúbicos.

Morto". Quando você vê no seu gráfico que o volume está em  $\text{hm}^3$ , isso indica a quantidade líquida disponível acima do nível de captação mínima.

Com base na Figura 3, observa-se os seguintes aspectos. A queda abrupta do Volume Útil do Sistema Cantareira no período 2013-2015, inclusive com a retirada de água do Volume Morto, representada pelo volume abaixo de zero. Também, pode-se observar que a sazonalidade assume papel preponderante em relação ao volume de água do sistema. Outro aspecto relevante é que o volume útil apresenta tendência de queda desde 2023 até 2025, sendo que isso pode ter implicações negativas sobre o consumo de água em 2026.

A Figura 4 apresenta a evolução temporal dos reservatórios Atibainha (ATI), Cachoeira (CAH), Jaguari-Jacareí (JJ), Paiva Castro (PC) e do Sistema Cantareira (TOTAL). As áreas hachuradas em rosa mostram o período de crise hídrica com a retirada de água do Volume Morto. Dos quatro reservatórios, dois foram severamente afetados pela crise hídrica no período 2013-2015, pois tiveram de usar os respectivos volumes mortos, são eles, Atibainha e Jaguari-Jacareí, sendo que, este último é o maior reservatório do Sistema Cantareira. Se esse reservatório estiver baixo, o sistema inteiro está em risco, mesmo que os outros pareçam cheios. O reservatório Paiva Castro (PC) geralmente aparece com a menor fatia. Isso é normal, pois ele funciona apenas como uma "caixa d'água" final para bombear para a estação de tratamento Guaraú. Se o Atibainha (ATI) ou o Cachoeira (CAH) estiverem proporcionalmente maiores que o normal, pode indicar que o sistema está transferindo água entre eles para tentar equilibrar o nível do JJ (Figura 4).

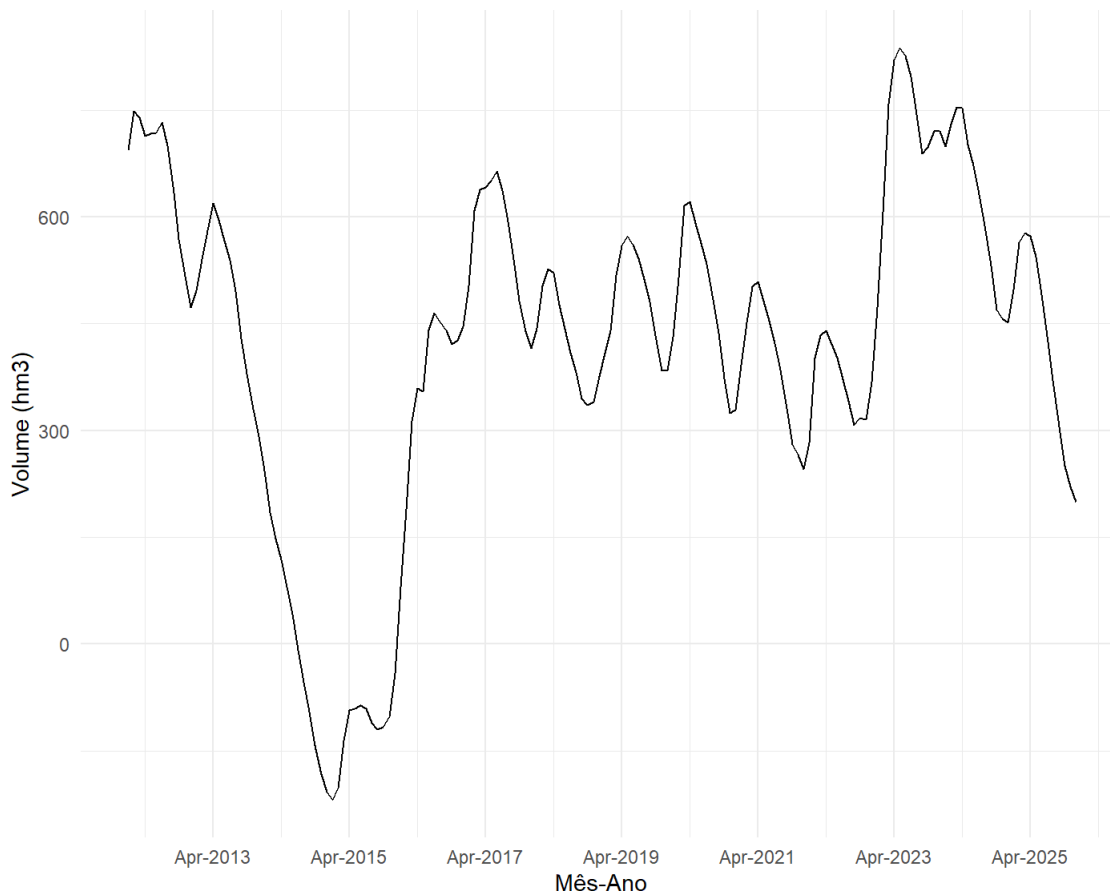


Figura 3. Evolução Temporal, Volume Útil, Sistema Cantareira, Estado de São Paulo, Janeiro de 2012 – Dezembro de 2025.

Fonte: Elaborada a partir de dados de BRASIL (2026).

Com base na Tabela 1, o reservatório JJ foi, sem dúvida, o mais atingido. Com 19 meses operando no volume morto (11,3% de todo o período), ele passou mais tempo em situação crítica do que o sistema total consolidado. O volume mínimo de  $-153 \text{ hm}^3$  mostra que não apenas o volume útil foi esgotado, mas uma fatia gigantesca da reserva estratégica profunda foi utilizada para manter o abastecimento.

Um detalhe curioso na Tabela 1 é que o TOTAL apresenta 18 meses de volume morto, enquanto o JJ apresenta 19. Isso indica que houve pelo menos um mês em que o JJ estava tecnicamente no negativo, mas o volume acumulado nos outros reservatórios (Cachoeira e Atibainha) foi suficiente para manter a média do sistema total ligeiramente acima de zero. O volume mínimo total de  $-219 \text{ hm}^3$  representa o momento de maior estresse hídrico da história de São Paulo (o auge da crise de 2014-2015).

O reservatório ATI também sofreu perdas severas, com 10 meses (quase um ano) operando no volume morto e um mínimo de -102 hm<sup>3</sup> (Tabela 1). Ele é um reservatório estratégico para a transferência de águas, e sua queda para níveis negativos comprometeu severamente a logística de adução na época.

Embora tenha chegado muito perto do limite (4,11 hm<sup>3</sup>), o reservatório Cachoeira (CAH), nunca entrou tecnicamente no volume morto (0 meses), como pode ser observado na Tabela 1. Isso sugere que a gestão do sistema priorizou manter algum nível operacional nele ou que sua bacia respondeu melhor às chuvas pontuais.

Em relação ao reservatório Paiva Castro (PC), este manteve-se positivo, mas seu volume mínimo de 1,19 hm<sup>3</sup> é alarmante (Tabela 1). Como é um reservatório muito pequeno e o último antes do bombeamento para a ETA Guaraú, qualquer valor próximo de 1 hm<sup>3</sup> é considerado "nível de alerta máximo" para evitar a entrada de sedimentos nas bombas.

Tabela 1. Reservatório, Meses no Volume Morto, Percentual de Tempo Crítico, Volume Mínimo em hm<sup>3</sup>, Sistema Cantareira Total e Reservatórios, Estado de São Paulo, Janeiro de 2012 – Dezembro de 2025

Reservatório	Meses Volume Morto	Percentual Tempo Crítico	Volume Mínimo hm <sup>3</sup>
JJ	19	11.3	-153
TOTAL	18	10.7	-219
ATI	10	5.95	-102
CAH	0	0	4.11
PC	0	0	1.19

Fonte: Elaborada a partir de dados de BRASIL (2026).

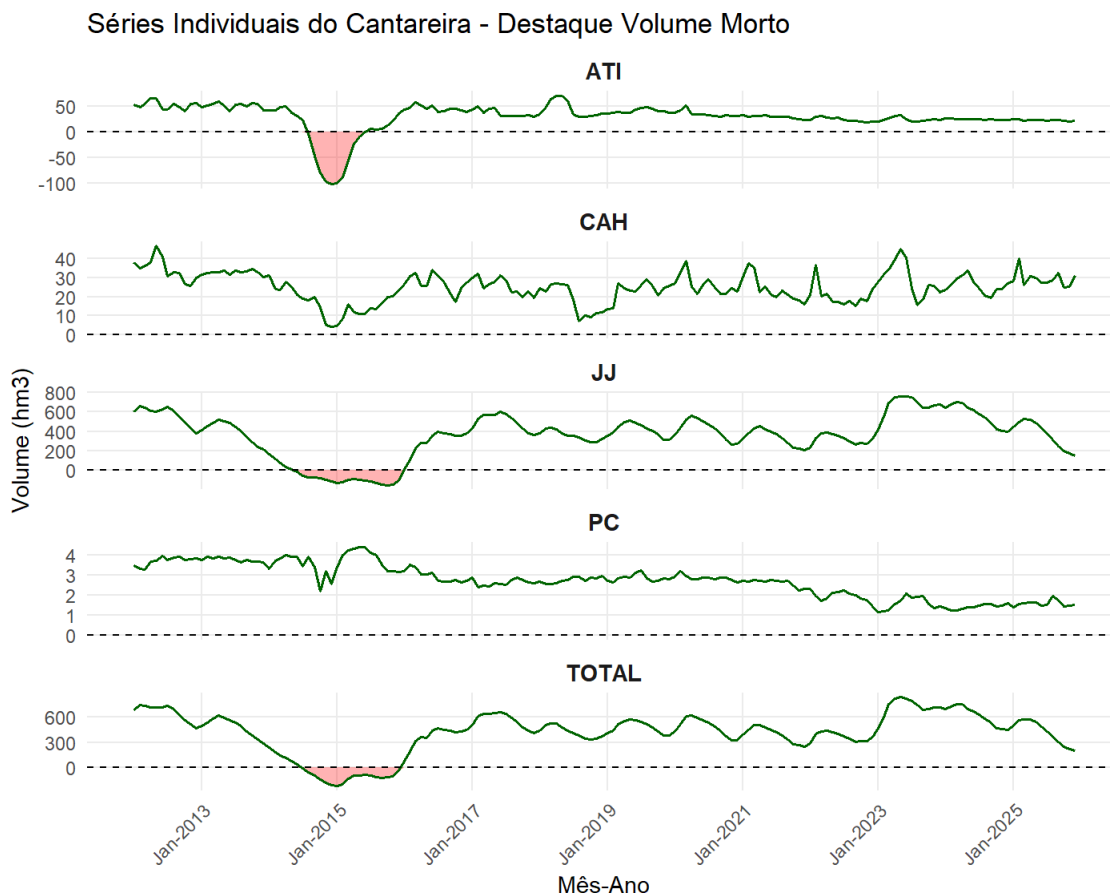


Figura 4. Evolução Temporal, Volumes Útil e Morto, Reservatórios Atibainha, Cachoeira, Jaguari-Jacareí, Paiva Castro e Sistema Cantareira, Estado de São Paulo, Janeiro de 2012 – Dezembro de 2025. Fonte: Elaborada a partir de dados de BRASIL (2026).

A Tabela 2 revela um cenário de desequilíbrio hídrico no Sistema Cantareira em fevereiro de 2026. Embora o sistema não esteja nos níveis negativos vistos na Tabela 1, a distância em relação à média histórica é preocupante, especialmente no reservatório que sustenta o complexo.

O dado mais alarmante da Tabela 1 é o do reservatório JJ, pois o Volume Útil Atual (146 hm<sup>3</sup>) *versus* Média Histórica (364 hm<sup>3</sup>). O resultado mostra que o JJ está operando com apenas 40% do que seria esperado para sua média histórica. Como este reservatório representa a maior parte da capacidade do sistema, o seu déficit de 218 hm<sup>3</sup> (364 - 146) é o principal responsável por manter o "TOTAL" do sistema em situação crítica (Tabela 2).

O reservatório Cachoeira é o único que apresenta uma situação positiva, está com 31.3 hm<sup>3</sup>, superando sua média histórica de 25.1 hm<sup>3</sup>. Isso pode indicar uma gestão operacional que está priorizando o armazenamento no Cachoeira ou uma resposta hidrológica local mais favorável (Tabela

2). No entanto, por ser um reservatório menor, o seu "superávit" de cerca de 6 hm<sup>3</sup> não consegue compensar o rombo do JJ.

O Paiva Castro está com 1.52 hm<sup>3</sup>, contra uma média de 2.73 hm<sup>3</sup>, embora os números pareçam baixos, para este reservatório específico (que é muito pequeno), estar abaixo da média significa operar muito próximo do nível mínimo operacional. Qualquer oscilação negativa adicional pode dificultar o bombeamento para a Grande São Paulo.

Em relação ao Sistema Cantareira (TOTAL), a situação reflete a gravidade do cenário. O Volume Atual de 200 hm<sup>3</sup> contra a Média Histórica de 421 hm<sup>3</sup> (Tabela 2). O Cantareira está operando com menos da metade (aprox. 47,5%) do volume que historicamente deveria ter.

Tabela 2. Reservatório, Volume Atual, Média Histórica, Situação em Relação à Média Histórica, Sistema Cantareira, Estado de São Paulo.

Reservatório	Volume Atual*	Média Histórica	
ATI	21.3	29.4	Abaixo da Média
CAH	31.3	25.1	Acima da Média
JJ	146	364	Abaixo da Média
PC	1.52	2.73	Abaixo da Média
TOTAL	200	421	Abaixo da Média

\*Fevereiro de 2026.

Fonte: Elaborada a partir de dados de BRASIL (2026).

De maneira geral, a situação em fevereiro de 2026 indica que, apesar de o sistema ter saído do "Volume Morto" (visto na Tabela 1), ele não recuperou sua normalidade histórica. O sistema está em um estado de "seca persistente" ou recuperação incompleta. Apesar de Fevereiro ser tipicamente um mês de cheia no Sudeste, estar "Abaixo da Média" neste período sugere que as chuvas de verão de 2025/2026 não foram suficientes para repor o estoque estratégico, o que pode gerar vulnerabilidade para o próximo período de estiagem (inverno de 2026).

A Figura 5 é um "Comparativo de Severidade da Crise", fornece uma visão clara e direta do impacto histórico sobre o Sistema Cantareira, quantificando o tempo em que cada componente operou no nível mais crítico (volume morto). Esta figura estabelece uma hierarquia clara de exposição ao risco hídrico. O JJ é o reservatório com maior tempo de crise, somando 19 meses abaixo de 0 hm<sup>3</sup>. Como é o maior reservatório do sistema, sua permanência prolongada no negativo é o principal indicador de falha na segurança hídrica da região.

O sistema consolidado registrou 18 meses no negativo. O fato de o TOTAL ter um mês a menos que o JJ mostra que, em um momento específico, o volume positivo dos outros reservatórios foi suficiente para compensar o déficit do JJ no cálculo agregado (Figura 5).

O reservatório Atibainha (ATI), apresenta uma severidade intermediária com 10 meses de operação crítica. Embora menor que o JJ, quase um ano de operação no volume morto indica um esgotamento severo de sua bacia (Figura 5).

Finalmente, os reservatórios Cachoeira (CAH) e Paiva Castro (PC), ambos registram 0 meses abaixo de zero. Isso não significa que não sofreram com a seca, mas que as estratégias de manejo (como a transferência de água entre represas) e suas características hidrológicas permitiram que eles se mantivessem sempre dentro do volume útil, evitando o uso de bombas de sucção para o volume morto (Figura 5).

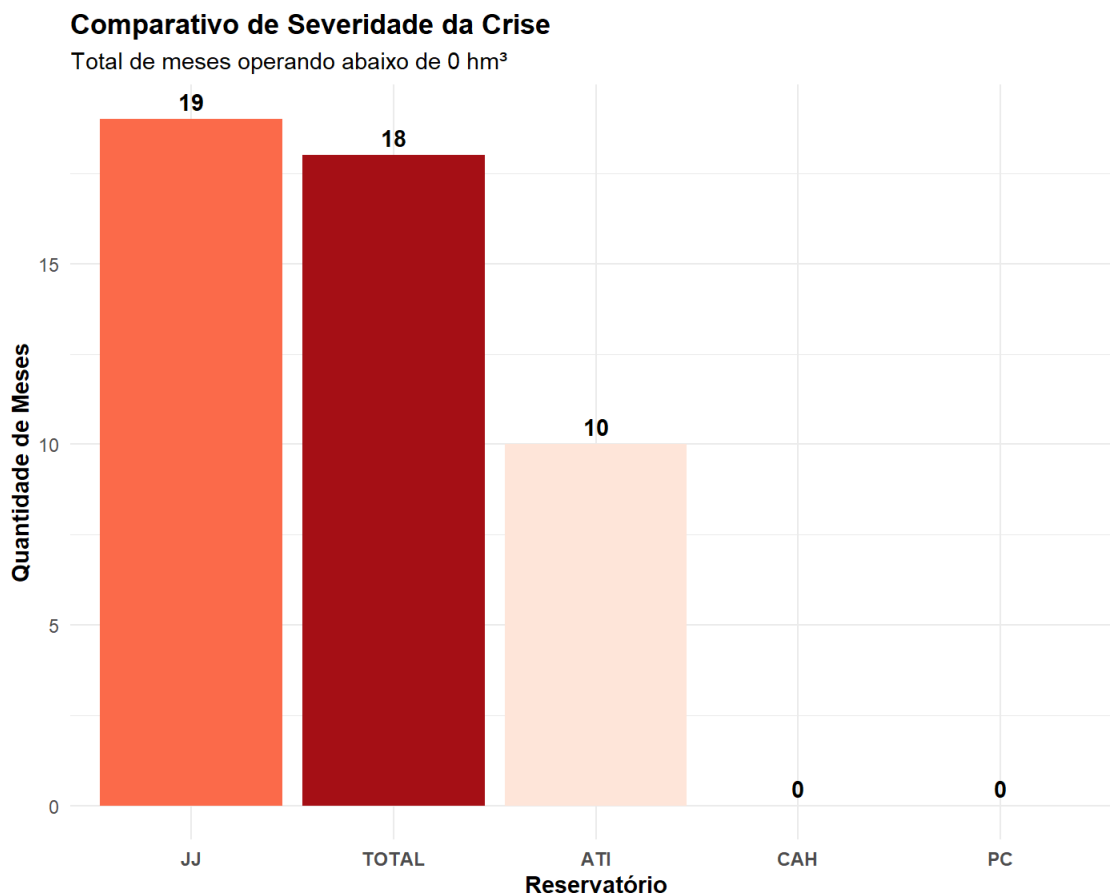


Figura 5. Comparativo da Severidade da Crise, Total de Meses Operando Abaixo de Zero hm<sup>3</sup>, Sistema Cantareira e Reservatórios, Estado de São Paulo, Janeiro de 2012 – Dezembro de 2025.

Fonte: Elaborada a partir de dados de BRASIL (2026).

A Figura 5 reforça a mensagem de perigo e severidade do Sistema Cantareira. Essa figura deixa evidente que a crise do Cantareira é, essencialmente, uma crise de seus reservatórios de cabeceira e acumulação (JJ e ATI), enquanto os reservatórios menores ou terminais (CAH e PC) conseguiram manter sua integridade operacional básica.

A Figura 6 apresenta a distribuição do volume no Sistema Cantareira para 01 de dezembro de 2025. Os reservatórios Jaguari-Jacareí contêm juntos 72.9% do volume total de água do sistema. Em segundo lugar, porém, distante, está o reservatório Cachoeira com 15.7%, Atibainha com 10.7% e Paiva Castro com 0.8%.

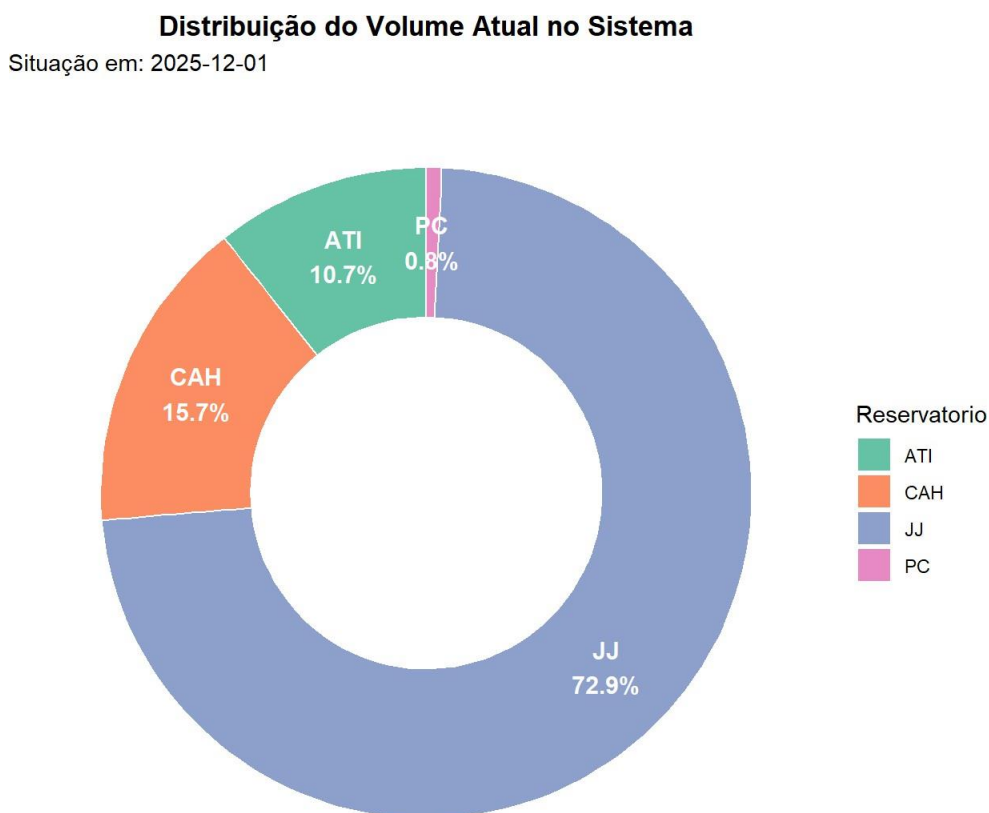


Figura 6. Distribuição do Volume Atual no Sistema Cantareira em Percentual, Estado de São Paulo, 01 de Dezembro de 2025.

Fonte: Sabesp - São Paulo (2026).

Em termos de déficit de volume de água por reservatório, é nítido que Sistema Cantareira é deficitário como pode ser observado na Figura 7. As barras em cinza representam a capacidade total de

cada reservatório em termos de volume de água em  $\text{hm}^3$ , enquanto, as barras em azul mostram o volume atual com base em fevereiro de 2026. Como pode ser observado, no caso do maior reservatório, o qual é composto pelo Jaguari-Jacareí (JJ), sua capacidade total em termos de volume armazenado de água é pouco acima de  $808,04 \text{ hm}^3$ , no entanto, em fevereiro, o estoque armazenado de água é de  $249,84 \text{ hm}^3$ , ou seja, somente 30.9% do volume útil atual. O segundo maior reservatório é o Atibainha (ATI), com capacidade total de  $96,25 \text{ hm}^3$ , no entanto, o volume de água armazenada é de  $32,67 \text{ hm}^3$ , número esse que corresponde a 33.9% do volume útil. No caso do reservatório Cachoeira (CAH), seu volume útil total equivale a  $69,65 \text{ hm}^3$ , sendo que o volume atualmente armazenado é igual a  $44,86 \text{ hm}^3$ , valor esse que representa 64.4% do volume útil atual. Finalmente, o reservatório Paiva Castro tem um volume útil total equivalente  $7,61 \text{ hm}^3$ , enquanto o volume armazenado em fevereiro corresponde a  $1,49 \text{ hm}^3$ , isto é, 34.7% da sua capacidade total efetiva.

Ainda, com base nos dados de fevereiro de 2026, o Sistema Cantareira tem um volume útil total de  $981,56 \text{ hm}^3$ , no entanto, o volume armazenado é de apenas  $328,86 \text{ hm}^3$ , número esse que corresponde a somente 34.7% do volume útil total. Portanto, o Sistema Cantareira apresenta um déficit de  $652,7 \text{ hm}^3$ .

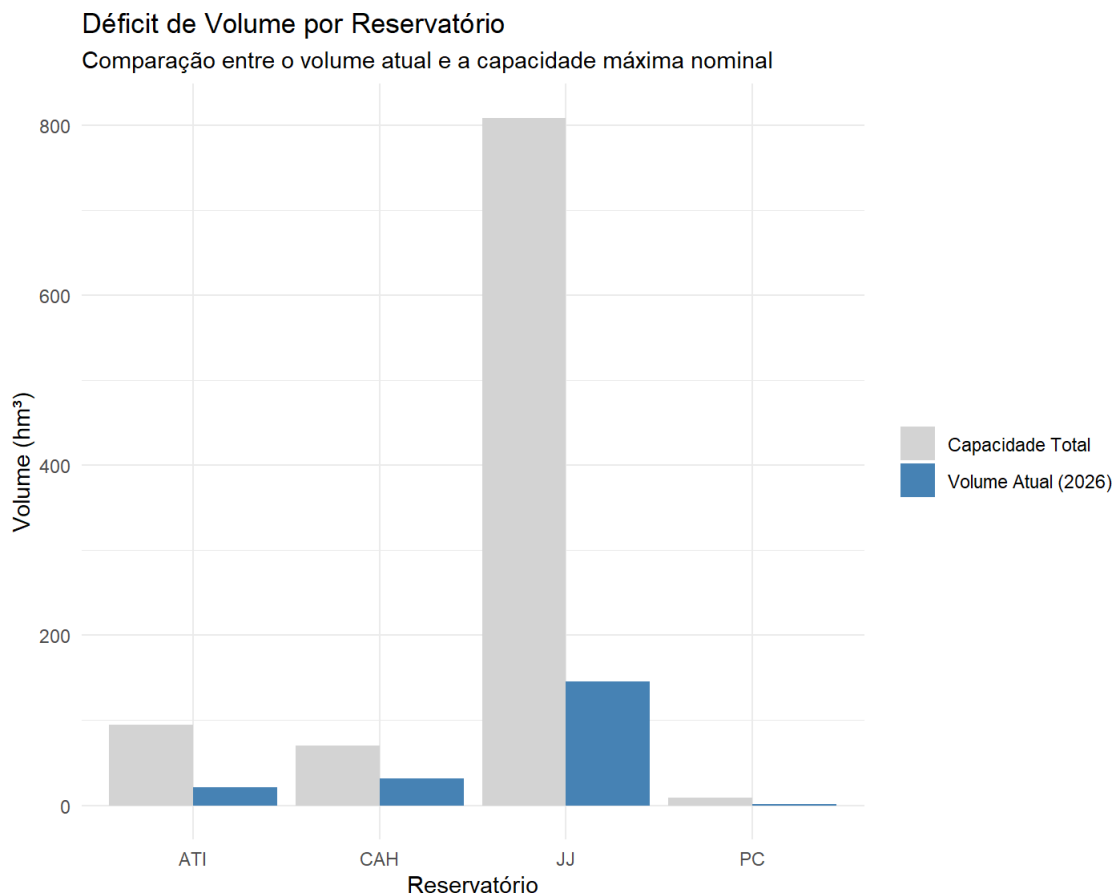


Figura 7. Déficit de Volume por Reservatório, Capacidade Total e Volume Atual, Por Reservatório, Sistema Cantareira, Estado de São Paulo, Fevereiro de 2026.  
Fonte: Sabesp - São Paulo (2026).

A Figura 8 apresenta a localização geográfica de cada reservatório do Sistema Cantareira, assim como, possibilita fornecer ao leitor a dimensão do tamanho de cada reservatório.



Figura 8. Localização Geográfica, Reservatórios do Sistema Cantareira, Estado de São Paulo.  
Fonte: ANA – BRASIL (2026).

Dado que a quantidade de chuva é um fator relevante para abastecer os reservatórios do Sistema Cantareira, e dado que a chuva é sazonal, isto implica que a sazonalidade assume expressiva relevância quanto aos níveis dos reservatórios do sistema, foi utilizado o Método da Decomposição X13-ARIMA-SEATS para analisar a questão da sazonalidade do volume do Sistema Cantareira. A base do X13-ARIMA-SEATS é o Modelo SARIMA, ou seja, Modelo Autorregressivo Integrado de Médias Móveis com Sazonalidade.

Os resultados do modelo SARIMA mostram que o processo gerador da variável volume útil do Sistema Cantareira é composto por um parâmetro autorregressivo de ordem um (AR (1)) não sazonal, uma diferença regular de ordem um, uma diferença sazonal de ordem 1<sup>10</sup>, um parâmetro de média móvel sazonal de ordem um, além de duas variáveis *dummies* do tipo *Level Shift*<sup>11</sup> localizadas em junho de 2016 e fevereiro de 2022. Na sua forma compacta<sup>12</sup>, esse Modelo SARIMA é escrito como (1, 1, 0) (0, 1, 1)<sub>s=12</sub>

Na sua forma extensa esse modelo<sup>13</sup> é representado como:

$$(1 - \phi_1 B)(1 - B)(1 - B^{12})y_t = \beta_1 LS_{Jun2016} + \beta_2 LS_{Fev2022} + (1 - \Theta_1 B^{12})a_t$$

<sup>10</sup> Lembrando que, uma diferença sazonal de ordem um para dados mensais implica que s=12, logo, ao se aplicar tal diferença são perdidas 12 observações. Isso, também, vale para o parâmetro de médias móveis sazonal.

<sup>11</sup> Detalhes envolvendo variáveis *dummies* em modelos de séries temporais podem ser encontrados em Box e Tiao (1975).

<sup>12</sup> Na forma compacta, não é possível representar as *dummies*.

<sup>13</sup> Detalhes sobre os termos da fórmula podem ser encontrados em Margarido (2026).

Os resultados das estimativas mostram que todos os parâmetros são estatisticamente significativos ao nível de significância de 1%. O parâmetro autorregressivo ( $\phi_1 = 0.73238$ ) indica que, 73% do valor do volume útil no tempo  $t$ , deve-se ao valor do próprio volume útil de  $t-1$  (Tabela 3). Esse componente representa a memória do modelo. O parâmetro de média móvel sazonal ( $\theta_1 = 0.99953$ ) revela que choques de 12 meses atrás impactam em quase 100% o valor do volume útil no período  $t$  (Tabela 3). Esse parâmetro reforça a questão sazonal relacionada com as estações do ano. Por exemplo, se não ocorrer nenhum efeito climático atípico, deverá sempre chover muito no verão de um determinado ano em relação ao verão do ano seguinte.

Também foram encontradas duas variáveis *dummies* da classe *LS*. A variável do tipo *LS* indica que os efeitos dos respectivos choques foram permanentes sobre o nível da série do volume útil do Sistema Cantareira. A *dummy* com valor igual a 76.97 revela que esse choque positivo elevou de forma permanente o nível do Sistema Cantareira em 76,97 hm<sup>3</sup> na média a partir de junho de 2016 (Tabela 3). Análise semelhante pode ser conduzida em relação a variável *dummy* localizada em fevereiro de 2022, ou seja, o efeito do choque ocorrido nessa data teve impacto permanente, elevando, não média, o volume útil do Sistema Cantareira em 71.42 hm<sup>3</sup> (Tabela 3).

Tabela 3. Estimativas, Modelo SARIMA, Variável Volume Útil, Sistema Cantareira, Estado de São Paulo, Janeiro de 2012 – Dezembro de 2025

Parâmetro	Estimativa	Erro Padrão	z valor	Pr(> z )
LS2016.Jun	76.97194	18.09651	4.253	2.11e-05 ***
LS2022.Feb	71.42923	18.11521	3.943	8.05e-05 ***
$\phi_1$	0.73238	0.04928	14.861	< 2e-16 ***
$\theta_1 s = 12$	0.99953	0.05334	18.737	< 2e-16 ***

Fonte: Elaborada a partir de dados de BRASIL (2026).

Para analisar se o resíduos do Modelo SARIMA não apresentam autocorrelação, foi utilizado o teste Ljung-Box, cujos resultados são apresentados na Tabela 4. O teste Ljung-Box é utilizado para verificar se os resíduos do Modelo ARIMA ajustado sazonalmente apresenta ou não autocorrelação nos resíduos. A hipótese nula é que os resíduos para as primeiras 24 defasagens não apresentam autocorrelação, como se trata de um teste conjunto, é utilizada a estatística Qui-quadrado. Como pode ser observado na Tabela 4, o P-valor assume valor igual a 30.5%, bem acima do nível de significância de 10%, logo, não se pode rejeitar a hipótese nula de que os resíduos são ruído branco (sem autocorrelação).

Tabela 4. Resultados, Teste Ljung-Box, Volume Dessazonalizado, Sistema Cantareira, Estado de São Paulo, Janeiro de 2012 – Dezembro de 2025

Estatística	Graus de Liberdade	P-valor
$\chi^2 = 26.989$	24	0.305

Fonte: Elaborada a partir de dados de BRASIL (2026).

A Figura 9, a qual está dividida em três partes, mostra, na sua parte superior que os resíduos do modelo apresentação oscilação aleatória em torno de zero, ou seja, sem padrões óbvios. A variação dos resíduos se mantém relativamente constante, exceto em 2014 e 2024. No entanto, no geral, os resíduos e comportam com ruído branco. Ainda com base na Figura 9, porém, com ênfase na Função de Autocorrelação, expressiva maiores das barras verticais estão contidas entre os limites superior e inferior, apresentados pelas linhas horizontais na cor azul. Somente, há um pico negativo significativo na defasagem 24. Isso sugere que ainda pode haver uma pequena correlação sazonal de 2 anos não capturada perfeitamente pelo modelo, ou é apenas um falso positivo estatístico (já que 1 em cada 20 barras pode sair do limite por puro acaso). Finalmente, o histograma apresenta a distribuição teórica Normal, na cor laranja. Verifica-se que a distribuição é razoavelmente simétrica e centrada em zero. No entanto, a cauda esquerda (valores próximos a -40 e -60) é um pouco mais longa do que o esperado para uma Normal perfeita, confirmando a presença de outliers, com mencionado anteriormente.

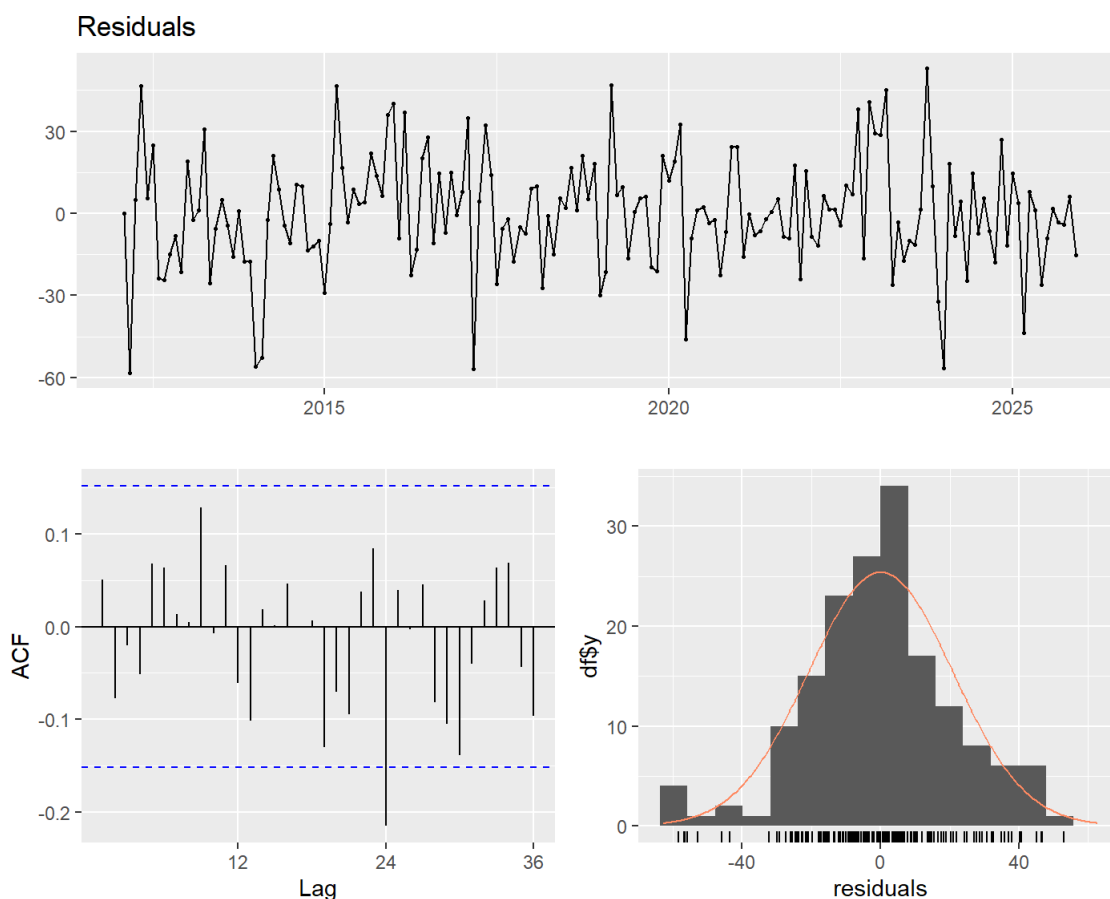


Figura 9. Resíduos, Variável Dessazonalizada, Evolução temporal, Função de Autocorrelação e Histograma, Volume Útil, Sistema Cantareira, Estado de São Paulo, Janeiro de 2012 – Dezembro de 2025.

Fonte: Elaborada a partir de dados de BRASIL (2026).

Com base nos resultados sobre os resíduos, se comportam quase inteiramente como ruído aleatório. O fato de não haver autocorrelação sistemática (especialmente nas primeiras defasagens) indica que o modelo capturou bem a estrutura de tendência e sazonalidade dos dados originais.

A Figura 9 apresenta a evolução da série do volume útil do Sistema Cantareira original (linha preta) e dessazonalizada (linha vermelha), além da localização dos dois *outliers* do tipo *Level Shift* (LS). Dois aspectos se destacam nessa figura. O padrão sazonal foi interrompido entre 2013 e 2015, com a série do volume útil dessazonalizado apresentando forte tendência de queda em função da escassez de chuva no referido período. O sistema somente começa a se recuperar a partir de 2016, mas não recupera o nível de antes da crise hídrica. Isto somente ocorre em 2023. No entanto, a partir desse ano, o sistema volta a apresentar tendência descendente até o final de 2025.

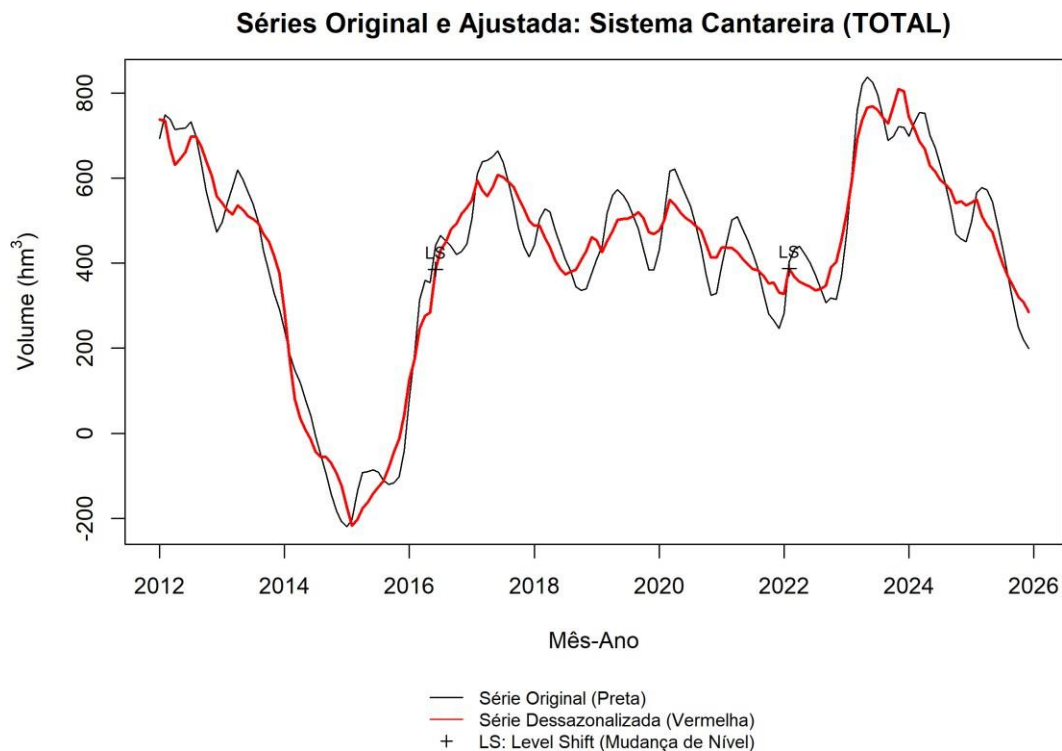


Figura 9. Séries Original e Dessazonalizada, Volume Útil, Sistema Cantareira, Estado de São Paulo, Janeiro de 2012 – Dezembro de 2025.

Fonte: Elaborada a partir de dados de BRASIL (2026).

A Figura 10a contempla Subséries Sazonais, comumente chamado de gráfico de Razão Sazonal-Irregular ou SI Ratio, é uma ferramenta clássica na análise de séries temporais para validar a

estabilidade de um padrão sazonal. Em relação eixo X, a figura divide os dados em 12 meses (Janeiro a Dezembro). Cada bloco contém todos os valores observados para aquele mês específico ao longo de vários anos. Já, o eixo Y, representa a variação em relação à média ou tendência. Valores positivos indicam períodos acima da média anual, e negativos indicam períodos abaixo. As linhas horizontais vermelhas representam a média sazonal para cada mês, em outras palavras, corresponde ao índice sazonal purificado. As linhas verticais azuis, representam os valores reais (ou a razão Sazonal-Irregular) observados em anos específicos, mostram a variabilidade dentro de cada mês.

Existe um padrão de onda muito claro, sendo que, o fenômeno atinge o pico em Abril e o seu ponto mais baixo em Novembro. Entre Março e Junho, os valores estão significativamente acima da média. A partir de Agosto, a série mergulha para valores negativos, indicando uma "baixa temporada" no final do ano. As linhas azuis (os dados reais de cada ano) estão muito próximas das linhas vermelhas (a média). Isso indica que a sazonalidade é estável e previsível. Não há grandes desvios ou anos fora da curva que mudem drasticamente o comportamento de um mês para o outro. Também, verifica-se que fevereiro e agosto, são os meses de transição. Em Agosto, por exemplo, o índice está quase em zero, o que significa que este mês se comporta de forma muito similar à média geral da série, sem um viés sazonal forte. Novembro é o mês de menor atividade/valor, com uma leve recuperação em Dezembro, embora este ainda permaneça bem abaixo da média anual. Em suma, a Figura 10a é usada principalmente para verificar se a decomposição de uma série temporal foi feita corretamente. Se as linhas azuis fossem muito longas ou erráticas, isso sugeriria que a sazonalidade está mudando ao longo do tempo (sazonalidade móvel) ou que existe muito ruído (componente irregular) atrapalhando a previsão. Nesse caso, o padrão é muito limpo.

### Seasonal Component, SI Ratio

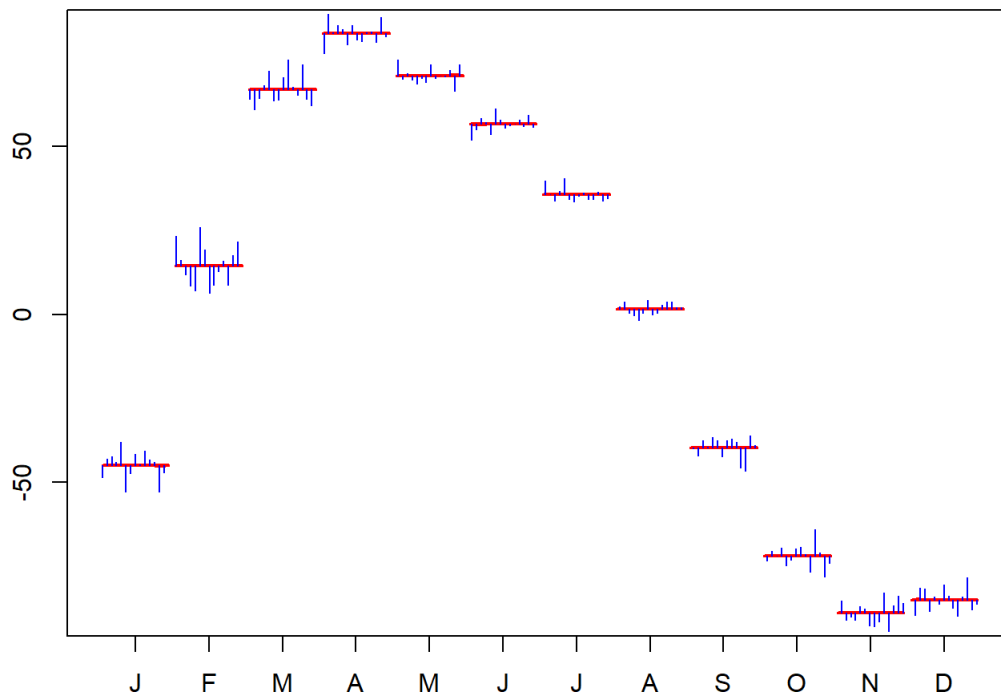


Figura 10a. Relação Sazonal – Componente Irregular, Volume Útil, Sistema Cantareira, Estado de São Paulo, Janeiro de 2012 – Dezembro de 2025.  
Fonte: Elaborada a partir de dados de BRASIL (2026).

A Figura 10b mostra a densidade espectral (*log spectrum*) identifica os ciclos repetitivos no sistema. Mais precisamente, existem picos de frequência claros (linhas tracejadas vermelhas) que indicam a periodicidade das crises e recuperações. A concentração de energia nos primeiros picos sugere que o sistema é dominado por ciclos de baixa frequência (longa duração), o que explica por que as recuperações levam anos para se consolidar após uma seca.

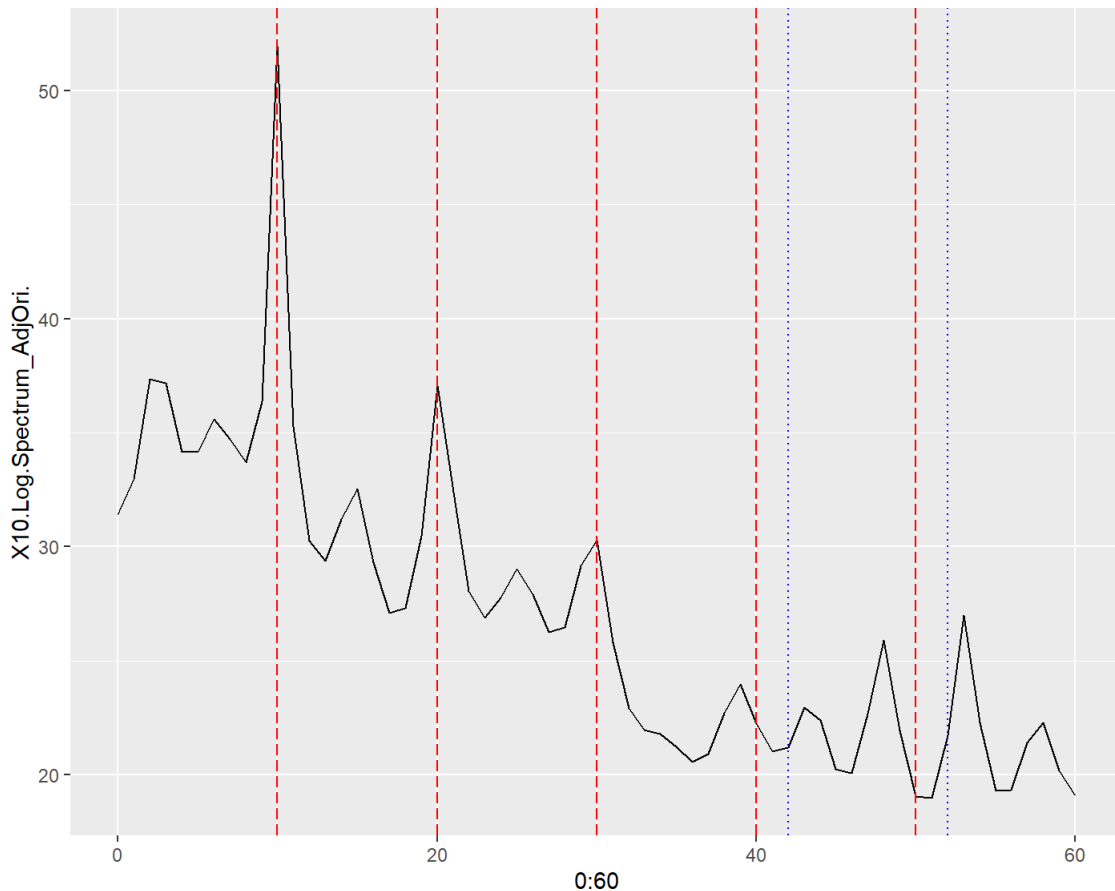


Figura 10b. Densidade Espectral, Volume Útil, Sistema Cantareira, Estado de São Paulo, Janeiro de 2012 – Dezembro de 2025.

Fonte: Elaborada a partir de dados de BRASIL (2026).

Com base na Figura 10c, torna-se possível analisar o comportamento do Volume Útil do Sistema Cantareira ao longo dos meses do ano. Em outras palavras, a Figura 10c apresenta o ciclo hidrológico da região que abastece o Cantareira. Deve-se realçar o pico de elevação entre os meses de janeiro a maio. Mais precisamente, observava-se que a "escada" das médias (linhas tracejadas) sobe até atingir o ápice entre Abril (A) e Maio (M). Isso reflete o acúmulo de água após o período de chuvas de verão. No segundo momento, verifica-se o declínio no período de junho a novembro. Em outras palavras, a partir de Junho, a linha tracejada começa a cair de forma acentuada. O ponto mais baixo de reserva (o "fundo do poço" sazonal) ocorre entre Outubro (O) e Novembro (N), coincidindo com o final da estação seca. Finalmente, a recuperação se inicia em dezembro, uma vez que, a tendência volta a subir levemente, marcando o início do novo período chuvoso.

A linha tracejada representa a média do fator sazonal (Figura 10c). Ela representa a expectativa média de volume para cada mês. Se o volume real de um ano específico (a linha preta contínua) estiver

muito abaixo dessa linha tracejada em meses como Março ou Abril, é um sinal de alerta para secas severas no final do ano.

Portanto, com base na Figura 10c, pode-se concluir que os meses críticos ocorrem em setembro, outubro e novembro, período esse em que o sistema atinge os níveis mais baixos. Já, os meses de dezembro, janeiro e fevereiro são os meses de recarga do sistema. Já os meses de abril e maio são os meses de segurança, isto é, quando o sistema deveria estar em sua capacidade máxima para suportar o inverno seco

Figura 10c. Fator Sazonal, Componente Irregular e Média do Fator Sazonal, Volume Útil, Sistema Cantareira, Estado de São Paulo, Janeiro de 2012 – Dezembro de 2025.

Fonte: Elaborada a partir de dados de BRASIL (2026).

O próximo passo é apresentar as previsões do volume útil do Sistema Cantareira até dezembro de 2028 com base nas estimativas do Método da Decomposição X-13 ARIMA SEATS. Dado que, sobre a evolução passada do volume de água do Sistema Cantareira já foi analisada anteriormente, o foco agora, é sobre o futuro do sistema. A Figura 11 apresenta três possíveis trajetórias. O cenário otimista representado pela linha azul, Pressupõe chuvas acima da média. Neste caso, o Cantareira teria uma recuperação vigorosa, ultrapassando os 500 hm<sup>3</sup> (hectômetros cúbicos) e atingindo níveis de segurança hídrica próximos a 1000 hm<sup>3</sup> até o final de 2028 (Figura 11). A previsão central, representada pela linha amarela, consiste no cenário de "normalidade". Indica que o sistema se estabilizaria em níveis baixos, flutuando entre 0 e 250 hm<sup>3</sup>. Isso sugere uma dependência constante de gestão de demanda e possíveis restrições leves. Finalmente, o cenário pessimista, representado pela linha verde, o qual, mostra a continuidade da seca extrema. O volume útil voltaria rapidamente ao terreno negativo (abaixo de zero), indicando a necessidade de utilizar novamente o volume morto ou implementar rodízios severos (Figura 11).

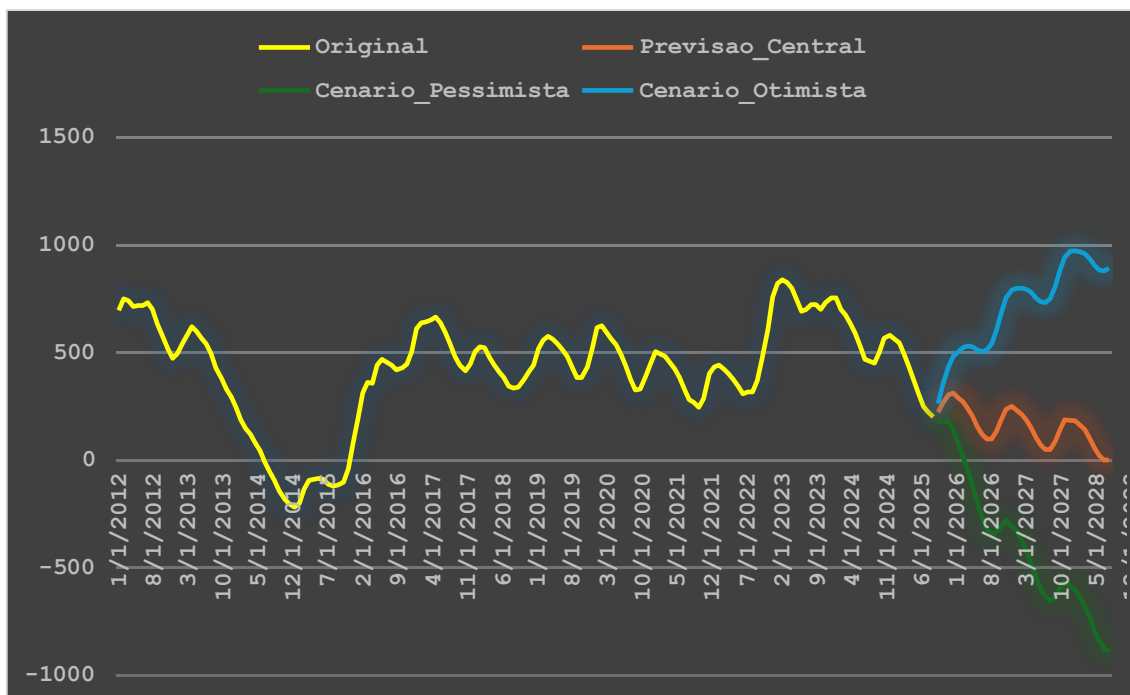


Figura 11. Valores Originais, Previsão Central, Cenário Pessimista e Cenário Otimista, Volume Útil, Sistema Cantareira, Estado de São Paulo, Janeiro de 2012 – Dezembro de 2028.

Fonte: Elaborada a partir de dados de BRASIL (2026).

Segundo a Resolução Conjunta ANA/DAEE nº 925 (2017), a operação do Sistema Cantareira é dividida em faixas. Essas faixas determinam quanta água a Sabesp pode retirar do sistema por segundo. Nesse caso, o objetivo é evitar que o reservatório chegue ao nível zero. O Quadro 3 apresenta um resumo sobre as faixas, denominação, volume útil e vazão máxima de retirada de água do Sistema Cantareira.

Quadro 3. Faixa, Denominação, Volume útil Acumulado, Vazão Máxima de Retirada, Sistema Cantareira, Estado de São Paulo

Faixa	Denominação	Volume Útil (V) acumulado	Vazão Máxima de Retirada (Média Mensal)
Faixa 1	Normal	$V \geq 60\%$	33,0 m <sup>3</sup> /s
Faixa 2	Atenção	$40\% \leq V < 60\%$	31,0 m <sup>3</sup> /s
Faixa 3	Alerta	$30\% \leq V < 40\%$	27,0 m <sup>3</sup> /s
Faixa 4	Restrição	$20\% \leq V < 30\%$	23,0 m <sup>3</sup> /s
Faixa 5	Especial	$V < 20\%$	15,5 m <sup>3</sup> /s

Fonte: Resolução Conjunta ANA/DAEE nº 925 (2017).

No cenário em que prevalece a Faixa 1, não há restrições e o foco é manter o equilíbrio entre abastecimento e preservação. No caso da Faixa 2, começam as campanhas de conscientização mais intensas para evitar o desperdício. No cenário com Faixa 3, A gestão da pressão na rede costuma ser intensificada para reduzir perdas por vazamentos. No caso da Faixa 4, podem ocorrer reduções mais severas na oferta de água para garantir que o sistema não entre no volume morto. Finalmente, no caso da Faixa 5, Medidas extremas de racionamento ou rodízio oficial são colocadas em pauta.

Portanto, com base nos parâmetros do Quadro 3 e da Figura 11, no caso do Cenário Pessimista (linha verde) o sistema cruzaria a linha do zero (1/1/2026 em diante), o que significa que ele sairia de todas essas faixas e voltaria a depender exclusivamente de bombas para retirar a água que fica abaixo das comportas (o volume morto). No caso do Cenário Otimista, mostra o sistema voltando para a Faixa 1 (Normal) em meados de 2027, algo que não acontece de forma estável há anos.

Após analisar a questão da sazonalidade, foi utilizado o Filtro HP para determinar a tendência e o ciclo da série do volume útil dessazonalizada do Sistema Cantareira para o período de janeiro de 2012 até dezembro de 2025.

**Filtro HP: Tendência de Longo Prazo**

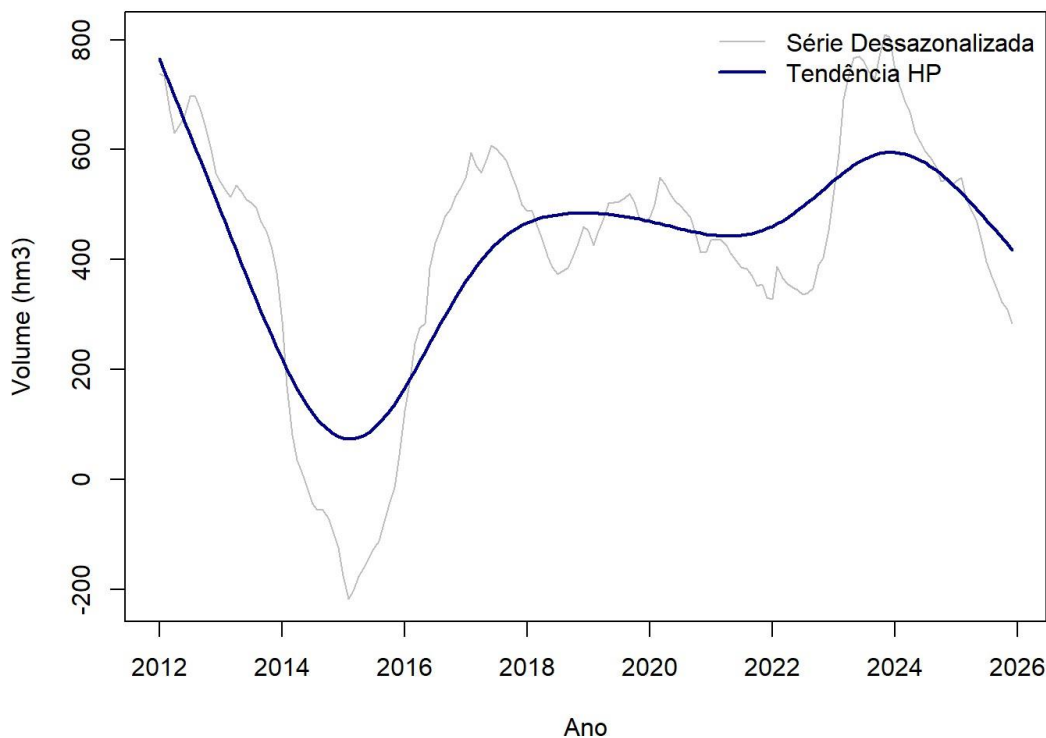


Figura 12. Volume Útil Dessazonalizado do Sistema Cantareira e Tendência Suavizada, Estado de São Paulo, Janeiro de 2012 – Dezembro de 2025.

Fonte: Elaborada a partir de dados de BRASIL (2026).

Em relação à Figura 12, o foco é a tendência suavizada, ou seja, essa tendência remove as flutuações sazonais, a linha azul mostra que, após um pico de melhora por volta de 2024, o sistema entrou em uma nova trajetória de declínio estrutural que se estende até o final de 2025. A tendência encerra o gráfico em queda, situando-se em torno de 400 hm<sup>3</sup>, o que ratifica a preocupação apresentada nos cenários central e pessimista da Figura 11.

Portanto, em termos de longo prazo, a análise conjunta sugere que o Sistema Cantareira vive um momento de inflexão crítica em 2026. Enquanto a tendência de longo prazo é de queda, a viabilidade do sistema nos próximos dois anos depende inteiramente da confirmação do cenário otimista para evitar o retorno ao volume morto.

A Figura 13 apresenta o ciclo do volume útil do Sistema Cantareira para o período de janeiro de 2012 até dezembro de 2025.

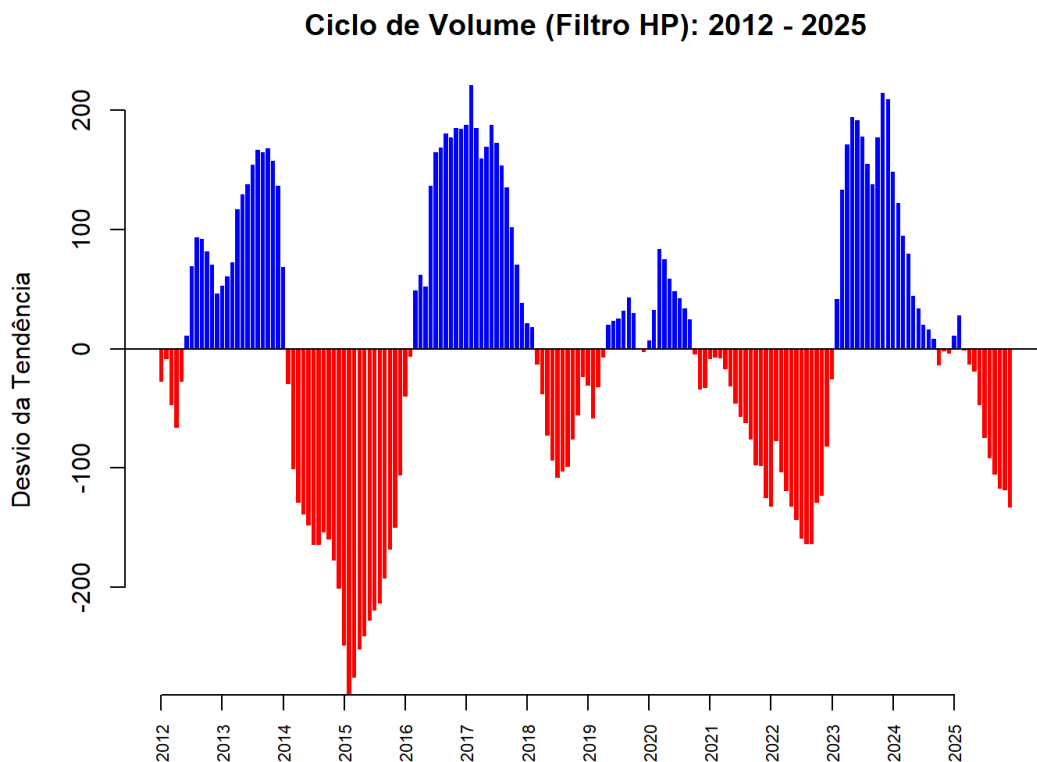


Figura 13. Ciclo, Volume Útil, Sistema Cantareira, Estado de São Paulo, Janeiro de 2012 – Dezembro de 2025.

Fonte: Elaborada a partir de dados de BRASIL (2026).

Com base na Figura 13, a análise técnica foca nos desvios em relação à tendência de longo prazo. Enquanto a tendência mostra a direção estrutural, o Ciclo revela a intensidade das variações de curto prazo (sazonalidade e eventos climáticos extremos). Visto com mais detalhes, as barras azuis representam períodos em que o volume útil esteve acima da tendência de longo prazo. Isso ocorre geralmente em anos com chuvas acima da média ou após períodos de recuperação vigorosa. Já, as barras vermelhas indicam períodos em que o volume útil ficou abaixo da tendência esperada. São momentos de estresse hídrico ou seca severa.

Ainda, com base na Figura 13, é possível identificar os grandes ciclos. A Crise de 2014-2015 é o desvio negativo mais profundo de toda a série, atingindo um pico negativo próximo a  $-300 \text{ hm}^3$  no início de 2015. Isso demonstra que a queda não foi apenas estrutural, mas um evento cíclico de magnitude extrema. Por outro lado, a recuperação de 2017 mostra o maior desvio positivo (acima de  $+200 \text{ hm}^3$ ), refletindo um período de chuvas excepcionais que empurrou o volume para cima muito além do que a tendência de longo prazo previa naquele momento. A instabilidade em 2021-2022 apresenta um ciclo negativo prolongado, embora menos profundo que o de 2015, evidenciando uma sequência de anos secos que impediu a consolidação de níveis altos. Finalmente, houve um ciclo positivo relevante recentemente. No entanto, ele foi rapidamente sucedido por uma reversão para o campo negativo no final de 2024 e início de 2025.

Complementando a análise da Figura 13, o componente ciclo termina com barras vermelhas em crescimento (desvio negativo). Isso significa que, além da tendência de queda vista Figura 12, o sistema está sofrendo um choque negativo de curto prazo. O desvio atual já ultrapassa os  $-100 \text{ hm}^3$ , o que sinaliza que a seca recente é mais severa do que a média histórica para este período do ano.

Portanto, a Figura 13 confirma que o Sistema Cantareira é extremamente volátil. A combinação de uma tendência descendente (Figura 12) com um ciclo negativo atual (Figura 13) explica por que as projeções futuras (Figura 11) tendem para os cenários "Central" ou "Pessimista", caso não ocorra uma reversão climática imediata.

O último procedimento adotado nesse artigo, se refere a utilização do algoritmo Bry-Boschan, o qual é muito utilizado para a datação de ciclos. No caso desse texto, a expressão “recessão” se refere a diminuição do volume útil de água do Sistema Cantareira. Já, a expressão ‘expansão’ se refere ao aumento da quantidade de água no sistema.

A Tabela 5 apresenta as fases de recessão e expansão do volume útil do Sistema Cantareira, assim como, o início e o final de cada fase, sua respectiva duração, além dos níveis inicial e final e a respectiva amplitude. O algoritmo Bry-Boschan identificou um total de 17 fases sendo que, desse total, foram identificadas nove fases de contração do volume útil do Sistema Cantareira, enquanto, em relação a expansão do volume de água foram identificada oito fases. Portanto, no total, foram constatados 17 ciclos.

Em relação as fases de contração do volume útil do Sistema Cantareira, o maior período ocorreu desde o início da série em janeiro de 2012 até janeiro de 2015 com duração de 37 meses, ou seja, pouco mais de três anos. Nesse intervalo, o nível do Sistema Cantareira apresentou tendência exclusivamente descendente, caindo de 693 hm<sup>3</sup> para -217 hm<sup>3</sup>, ou seja, foi necessário bombear água do volume morto (Tabela 5). Por outro lado, o período com maior acúmulo de água pelos reservatórios do Sistema Cantareira ocorreu no período entre fevereiro de 2015 e junho de 2017, totalizando 28 meses consecutivos de aumento no estoque de água do sistema. Nesse período, os sistema saiu de -217 hm<sup>3</sup> para 608 hm<sup>3</sup> no final do respectivo período com amplitude de 824.6 hm<sup>3</sup> (Tabela 5). O período de janeiro de 2012 até dezembro de 2025 engloba um total de 167 meses, sendo que, desse total, foram 101 meses de contração do volume de água do sistema, ou seja, isto representa 60.47% do período total. Por outro lado, o número total de meses com acúmulo de água nos reservatórios totalizou somente 66 meses, ou seja, 39.53% do total de meses englobados no período analisado (Tabela 5).

Também, a tabela mostra uma alternância constante entre períodos secos e úmidos. Nota-se que, após 2018, os ciclos tornaram-se muito mais curtos. Por exemplo, entre 2018 e 2021 (Linhas 4 a 10), as expansões e recessões duravam muitas vezes apenas 2 ou 3 meses, indicando uma instabilidade maior ou variações sazonais muito acentuadas (Tabela 5).

O algoritmo mostra que o Cantareira não voltou a ter a estabilidade de longo prazo que tinha antes de 2012. O sistema agora opera em ciclos mais curtos e nervosos. A projeção para o final de 2025 (nível 199) indica que o reservatório pode terminar o ano em estado de atenção ou alerta.

Tabela 5. Ciclos, Fase, Início, Fim, Duração, Nível Inicial, Final e Amplitude, Sistema Cantareira, Estado de São Paulo, Janeiro de 2012 – Dezembro de 2025

Ciclos	Fase	Início	Fim	Duração	Nível Inicial	Nível Final	Amplitude
1	Recessão	2012M1	2015M2	37	693	-217	910
2	Expansão	2015M2	2017M6	28	-217	608	824.6
3	Recessão	2017M6	2018M7	13	608	374	234
4	Expansão	2018M7	2018M12	5	374	461	87.1
5	Recessão	2018M12	2019M2	2	461	426	35

6	Expansão	2019M2	2019M9	7	426	520	94.2
7	Recessão	2019M9	2019M12	3	520	469	51
8	Expansão	2019M12	2020M3	3	469	549	80.4
9	Recessão	2020M3	2020M12	9	549	413	135.9
10	Expansão	2020M12	2021M2	2	413	436	23.1
11	Recessão	2021M2	2022M1	11	436	328	108.5
12	Expansão	2022M1	2023M6	17	328	769	441.5
13	Recessão	2023M6	2023M9	3	769	728	41.2
14	Expansão	2023M9	2023M11	2	728	810	81.3
15	Recessão	2023M11	2024M12	13	810	536	273.7
16	Expansão	2024M12	2025M2	2	536	550	14
17	Recessão	2025M2	2025M12	10	550	199	351

Fonte: Elaborada a partir de dados de BRASIL (2026).

Ao calcular a média de tempo que o sistema passa em cada fase, observa-se que a duração média das contrações do volume útil do Sistema Cantareira é de 11.4 meses, sendo que, esse valor é influenciado fortemente pela seca histórica de 37 meses (2012-2015), mas mesmo retirando os extremos, as quedas tendem a ser persistentes. E contrapartida, a duração média das expansões é de 7,7 meses. As recuperações são, em média, 33% mais curtas do que os períodos de queda (Tabela 6).

É necessário enfatizar que sistema perde volume de forma muito mais agressiva e demorada do que consegue recuperar. Enquanto as quedas têm uma amplitude média superior a 280 pontos, as subidas mal chegam a 200. Outro aspecto a ser realçado é que no final da Tabela 5, o algoritmo identifica uma sucessão de ciclos extremamente rápidos, sendo uma expansão de apenas 2 meses (setembro a novembro de 2023). Outra expansão de apenas 2 meses (dezembro de 2024 a fevereiro de 2025). Esse resultado mostra que, nos anos mais recentes, o Cantareira perdeu a capacidade de manter longos períodos de recuperação, tornando-se muito dependente de eventos isolados de chuva para subir o nível.

A Figura 14, apresenta em termos visuais o conteúdo da Tabela 5. As faixas hachuradas em cinza são os períodos de contração do volume útil do Sistema Cantareira, enquanto, as faixas em branco representam os ganhos de água nos reservatórios. Nela fica evidente a queda abrupta provocada pela crise hídrica no início da série histórica. Também, verifica-se o quadro preocupante no final da série com tendência descendente.

Ano

Figura 14. Ciclos e Impactos da Crise Hídrica, Volume Útil, Sistema Cantareira, Estado de São Paulo, Janeiro de 2012 – Dezembro de 2025.

Fonte: Elaborada a partir de dados de BRASIL (2026).

A Tabela 6 apresenta alguns pontos relevantes em termos históricos relacionados com o Sistema Cantareira. O reservatório que permaneceu mais tempo utilizando água do volume morto foi o Jaguari-Jacareí (JJ), com 19 meses no total, além disso é necessário enfatizar que esse é exatamente o maior do sistema, chegando a um volume de  $-152.70 \text{ hm}^3$ , sendo que o pior momento ocorreu em 10/1/2015. O segundo reservatório que permaneceu operando no volume morto foi o Atibainha (ATI), o qual operou no volume morto por 10 meses, chegando ao volume mínimo de  $-101.58 \text{ hm}^3$ , sendo que o pior momento ocorreu 1/1/2015, reforçando que o Atibainha é o segundo maior reservatório do sistema.

Tabela 6. Reservatório, Meses no Volume Morto, Percentual de Tempo Crítico, Volume Mínimo e Data do Pior Momento, Sistema Cantareira, Estado de São Paulo, Janeiro de 2012 – Dezembro de 2025

Reservatório	Meses no Volume Morto	Percentual de Tempo Crítico	Volume Mínimo ( $\text{hm}^3$ )	Data do Pior Momento
JJ	19	11.31	-152.7065	10/1/2015
TOTAL	18	10.71	-219.4968	1/1/2015
ATI	10	5.95	-101.5887	12/1/2014
CAH	0	0	4.11226	12/1/2014
PC	0	0	1.187097	1/1/2023

Fonte: AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2026.

A Tabela 7, apresenta as amplitudes relacionadas com as expansões e contrações do volume útil do sistema. Os dados revelam uma clara assimetria entre as duas fases. A fase de Expansão supera a fase de Recessão em ambos os indicadores (Amplitude e Duração). Em relação a amplitude, a variação média no volume durante a expansão ( $205.8 \text{ hm}^3$ ) é significativamente maior do que a perda média durante a recessão ( $125.6 \text{ hm}^3$ ). Isso sugere que, em períodos de normalidade, o sistema tem uma capacidade de recuperação volumétrica superior à taxa de esvaziamento. Quanto a duração, os resultados mostram que, o período de enchimento (expansão) dura, em média, 11.4 meses), enquanto o esvaziamento (recessão) é mais rápido, durando 7.7 meses.

Tabela 7. Ciclo, Amplitude e Duração Médias, Volume Útil, Sistema Cantareira, Estado de São Paulo, Janeiro de 2012 – Dezembro de 2025

Ciclo	Amplitude	Duração
Expansão	205.8	11.4
Recessão	125.6	7.7

Fonte: Elaborada a partir de dados de BRASIL (2026).

A partir da Tabela 7, pode-se calcular a "velocidade" ou taxa média de variação para entender quão bruscas são essas mudanças. A taxa média de variação é dada pela razão Amplitude / Duração. Em relação a fase de expansão, essa velocidade é igual a 18.05 unidade/mês, enquanto na fase de contração, a velocidade é igual a 16.31 unidades / mês. Com base nesses resultados, pode-se inferir que, embora a expansão tenha uma amplitude maior, a taxa de variação é relativamente próxima entre as duas fases. Isso indica que o sistema ganha volume de forma um pouco mais intensa do que o perde, mas a principal diferença reside no tempo em que cada processo atua.

O fato de a amplitude de expansão ser quase o dobro da recessão indica que o sistema, historicamente, consegue acumular reservas suficientes para suportar os períodos de seca. O ciclo completo dura aproximadamente 19.1 unidades de tempo (11.4 + 7.7). A fase de ganho de volume ocupa cerca de 60% do ciclo total, enquanto a perda ocupa 40%. Como a recessão é mais curta (7.7 meses), o nível do reservatório pode cair rapidamente se não houver uma gestão rigorosa, especialmente se um ciclo de expansão for interrompido por uma estiagem prolongada (anomalia climática).

### 3. CONCLUSÕES

A situação do Sistema Cantareira em março de 2026 reflete bem os desafios da instabilidade climática. Após um período crítico em que o sistema operou na Faixa de Restrição (abaixo de 20%), as chuvas recentes permitiram uma leve recuperação, colocando-o na Faixa 3 (Alerta), com pouco mais de 30% de sua capacidade (SP ÁGUAS (2026)). Para mitigar os efeitos dessa instabilidade a longo prazo, as medidas estão sendo divididas em três frentes principais.

O governo de São Paulo<sup>14</sup> implementou um novo modelo de gestão hídrica (Deliberação 1.729/2025) que substituiu o antigo sistema de faixas. Sete Níveis de Contingência, sendo que, agora o monitoramento é mais granular, variando do nível 1 (normalidade) ao nível 7 (estado extremo com rodízio regional). Também, foi adotado limites de retirada variáveis, ou seja, Sabesp é obrigada a reduzir a captação conforme o nível desce. Em março de 2026, com a entrada na Faixa de Alerta, a retirada permitida subiu para 27 m<sup>3</sup>/s (antes era limitada a 23 m<sup>3</sup>/s ou menos no nível crítico). Quanto a questão da previsibilidade, as mudanças de faixa agora exigem estabilidade do nível por 7 a 14 dias, evitando mudanças bruscas de operação.

---

<sup>14</sup> SÃO PAULO (2025).

Visando não depender apenas do regime pluviométrico para captação de água nos reservatórios do Sistema Cantareira, o foco mudou para a interligação de sistemas, conforme apregoado por SÃO PAULO (Estado, 2025). Nesse caso, destacam-se três projetos de infraestrutura. A transposição Jaguari-Atibainha permite trazer água da bacia do Rio Paraíba do Sul para o Cantareira em momentos de crise. Também, o Projeto Itapanhaú, tem obras para captar água do Rio Itapanhaú e Ribeirão Sertãozinho, com o objetivo de adicionar cerca de 2 mil litros por segundo ao sistema integrado. Finalmente, tem-se o Reúso Potável Direto (Recarga de Mananciais), isto é, a Sabesp<sup>15</sup> está avançando em projetos para tratar esgoto em nível terciário e lançá-lo de volta nos mananciais para "recarga", uma técnica usada em países com escassez severa.

A terceira vertente para mitigar os efeitos climáticos adversos consistem em soluções com base na própria natureza e pelo lado da demanda. Especialistas e órgãos ambientais (como o Cemaden e a TNC) apontam que concreto não resolve tudo. É preciso investir em infraestrutura natural, como, por exemplo, restauração da Mata Atlântica nas margens dos rios que alimentam o sistema, uma vez que, a vegetação atua como uma esponja, mantendo o fluxo de água mesmo em períodos de seca (o chamado reservatório invisível).

Outra medida é a redução de pressão noturna, sendo que esta é uma medida técnica utilizada para diminuir perdas por vazamentos na rede de distribuição quando o consumo é baixo.

Finalmente, é necessário e fundamental o engajamento social. Logo são de suma relevância campanhas focadas no consumo consciente, dado que o aumento das temperaturas globais tem elevado o consumo médio por habitante.

Para finalizar, o cenário de 2026 mostra que, embora tenham mais obras do que na crise de 2014, a frequência de eventos extremos (secas mais longas e chuvas muito concentradas) exige que o sistema opere quase sempre com margem de segurança, já que a recuperação dos volumes está cada vez mais lenta.

## 4. LITERATURA CITADA

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (Brasil). SAR - Sistema de Acompanhamento de Reservatórios: Sistema Cantareira. Brasília: ANA, 2026. Disponível em: <https://www.ana.gov.br/sar/outros-sistemas-hidricos/cantareira>. Acesso em: 5 mar. 2026.

---

<sup>15</sup> SABESP (2026).

BOX, George E.P.; JENKINS, Gwilym M.; REINSEL, Gregory C. *Time series analysis: forecasting and control*. New Jersey: Prentice Hall, third edition, 1994, 598p.

BOX, George E. P.; TIAO, George C. Intervention analysis with applications to economic and environmental problems. *Journal of the American Statistical Association*, v. 70, n. 349, p. 70-79, 1975.

BRASIL. Agência Nacional de Águas e Saneamento Estratégico (ANA); SÃO PAULO. Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE). Resolução Conjunta nº 925, de 29 de maio de 2017. Estabelece as condições de operação do Sistema Cantareira. Brasília, DF: ANA/DAEE, 2017. Disponível em: <https://www.gov.br/ana>. Acesso em: 4 mar. 2026.

BRASIL. Agência Nacional de Águas e Saneamento Estratégico (ANA). Sistema Cantareira. Brasília, DF: ANA, [s.d.]. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/sala-de-situacao/sistema-cantareira>. Acesso em: 24 fev. 2026.

BRY, G.; BOSCHAN, C. *Cyclical analysis of time series: selected procedures and computer programs*. Nova York: National Bureau of Economic Research, 1971.

DAGUM, E. B. *The X-11-ARIMA/88 seasonal adjustment method: foundations and user's manual*. Ottawa, Canada: Time Series Research and Analysis Division, Statistics Canada technical report, 1988.

ENDERS, W. *Applied econometric time series*. Nova York: John Wiley and Sons, 2004.

FINDLEY, D. F.; MONSELL, B. C.; BELL, W. R., OTTO, M. C.; CHEN, B. C. New capabilities and methods of the X-12-ARIMA Seasonal Adjustment Program. *Journal of Business and Economic Statistics*, v. 16, n. 2, p.127-176, abr. 1998.

FREITAS, S. M. de; FERREIRA, C. R. R. P. T.; BARBOSA, M. Z. Oportunidades e entraves à expansão de dendeicultura brasileira. *Agricultura em São Paulo*, São Paulo, v. 45, n. 2, p.1-16, abr. 1998.

GÓMEZ, V.; MARAVALL, A. *Guide for using the programs TRAMO and SEATS*. Beta Version, Banco de España, 1997a.

GÓMEZ, V.; MARAVALL, A. *Program TRAMO and SEATS: instructions for the user*. Beta Version, Banco de España, 1997b

HARDIN, Garrett. The Tragedy of the Commons. *Science*, v. 162, n. 3859, p. 1243-1248, 13 dez. 1968.

HODRICK, R.; PRESCOTT, E. C. Postwar U.S. business cycles: an empirical investigation. *Journal of Money, Credit, and Banking*, 29(1): 1-16, 1997. DOI: <https://doi.org/10.2307/2953682>

MARGARIDO, Mario Antonio. Teoria e Aplicações de Modelos de Séries Temporais em Economia. São Paulo: Pezco Consultoria, Editora e Desenvolvimento. 2026.

NICHOLSON, Walter and SNYDER, Christopher. *Microeconomic Theory: basic principles and extensions*. United States of America: Thomson South-Western. 10<sup>th</sup> ed. 2008.

PINDYCK, Robert S. e RUBINFELS, Daniel L. *Microeconomia*. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 8<sup>a</sup> ed. 2013.

OSTROM, Elinor. *Governing the Commons: The Evolution of Institutions for Collective Action*. Nova York: Cambridge University Press, 1990.

RAVN, M.; UHLIG, H. On adjusting the Hodrick–Prescott filter for the frequency of observations. *The Review of Economics and Statistics*, v. 84, n. 2, p. 371-376, 2002.

SABESP. Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. Relatório de Sustentabilidade e Investimentos em Resiliência Hídrica 2025/2026. São Paulo, 2026.

SÃO PAULO (Estado). Sabesp. Portal dos Mananciais: Sistema Cantareira. São Paulo: Sabesp, [2026]. Disponível em: <https://mananciais.sabesp.com.br/sistemas/cantareira>. Acesso em: 24 fev. 2026.

SÃO PAULO (Estado). Agência Reguladora de Serviços Públicos do Estado de São Paulo (ARSESP). Deliberação ARSESP nº 1.729, de 24 de outubro de 2025: Institui o Regime de Prevenção e Contingência para o Abastecimento de Água na RMSP. São Paulo, 2025.

SÃO PAULO (Estado). Governo do Estado. Abastecimento de água em São Paulo ganha reforço com antecipação de obra de transposição para o Alto Tietê. Agência SP, 01 dez. 2025.

SHISKIN, J.; YOUNG, A. H.; MUSGRAVE, J. C. The X-11 *Variant of the census method II*. Bureau of the Census, 1967. Technical Paper N° 15. Disponível em: <<https://www.census.gov/content/dam/Census/library/working-papers/1967/adrm/shiskinyoungmusgrave1967.pdf>>. Acesso em: 06 ago. 2024.

SP ÁGUAS. Agência de Águas do Estado de São Paulo. Sistema Cantareira passará a operar na Faixa de Alerta em março. São Paulo, 27 fev. 2026. Disponível em: [site da SP Águas: <https://www.spaguas.sp.gov.br/site/>].

U.S. BUREAU OF THE CENSUS. *X-12 ARIMA Reference Manual*. Washington, DC: The Bureau, 1998.

## 5. VERIFICAÇÃO INDEPENDENTE

O assunto

### 2.1 O segmento

Rodadas de concessões federais

## 6. REFERÊNCIAS

BRASIL. Tribunal de Contas da União. Riscos e Controles nas Aquisições (RCA). Brasília: 2014. Disponível em: <https://portal.tcu.gov.br/biblioteca-digital/riscos-e-controles-nas-aquisicoes-rca.htm>, acesso em 13/4/2024.

Nóbrega, M.R., Freitas, R.V. and Turolla, F.A. (2023) Contratação incompleta de projetos de infraestrutura. Working Paper PSP Hub#002. PSP Hub Estudos em Infraestrutura e Urbanismo, 9 de julho de 2023. Available at: <https://tinyurl.com/ynh3t8sv>.

The logo for PSP Hub features the letters 'PSP' in a bold, dark grey sans-serif font. The letter 'P' is partially filled with a vibrant green color. To the right of 'PSP', the word 'Hub' is written in a lighter green, lowercase sans-serif font. A thin horizontal line is positioned directly below the 'PSP' portion of the logo.

# PSP Hub

INFRASTRUCTURE AND URBANISM STUDIES