

SALAS DE SITUAÇÃO E MONITORAMENTO HIDROLÓGICO: ESTRATÉGIAS PARA A RESILIÊNCIA HÍDRICA EM CIDADES INTELIGENTES

*SITUATION ROOMS AND HYDROLOGICAL MONITORING: STRATEGIES FOR WATER
RESILIENCE IN SMART CITIES*

LUÍS FILIPE RODRIGUES

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE CAMPINAS - PUC-CAMPINAS

DUARCIDES FERREIRA MARIOSA

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE CAMPINAS - PUC-CAMPINAS

ORANDI MINA FALSARELLA

Comunicação:

O XIII SINGEP foi realizado em conjunto com a 13th Conferência Internacional do CIK (CYRUS Institute of Knowledge), em formato híbrido, com sede presencial na UNINOVE - Universidade Nove de Julho, no Brasil.

SALAS DE SITUAÇÃO E MONITORAMENTO HIDROLÓGICO: ESTRATÉGIAS PARA A RESILIÊNCIA HÍDRICA EM CIDADES INTELIGENTES

Objetivo do estudo

Analisar o papel das bacias hidrográficas inteligentes na modernização da gestão dos recursos hídricos, com ênfase na função estratégica das Salas de Situação como instrumentos de apoio à tomada de decisão em contextos de variabilidade climática.

Relevância/originalidade

O estudo é relevante por abordar a integração entre tecnologia e governança hídrica, destacando uma abordagem inovadora frente aos desafios impostos pelas mudanças climáticas. O conceito de bacias hidrográficas inteligentes ainda é incipiente no Brasil, o que confere originalidade ao trabalho.

Metodologia/abordagem

Utilizou-se uma revisão bibliográfica narrativa, baseada em artigos científicos, relatórios técnicos e legislações, com ênfase em estudos nacionais e internacionais. A análise se concentrou em contribuições teóricas e aplicações práticas relacionadas ao monitoramento hidrológico e às Salas de Situação.

Principais resultados

Verificou-se que as Salas de Situação possibilitam respostas rápidas a eventos extremos, integrando dados em tempo real para ações preventivas. As bacias inteligentes permitem maior eficiência, previsibilidade e resiliência na gestão dos recursos hídricos em ambientes urbanos e críticos.

Contribuições teóricas/metodológicas

O artigo contribui ao consolidar um modelo conceitual de bacia hidrográfica inteligente, integrando ciência, tecnologia e governança participativa. Destaca também a importância dos dados geoespaciais e sistemas de apoio à decisão como elementos centrais da gestão adaptativa.

Contribuições sociais/para a gestão

A pesquisa aponta caminhos para políticas públicas mais eficazes, promovendo segurança hídrica e sustentabilidade. A adoção de bacias inteligentes e Salas de Situação pode qualificar a gestão de crises e fortalecer a governança territorial das águas.

Palavras-chave: gestão de recursos hídricos, monitoramento hidrológico, bacias hidrográficas inteligentes, salas de situação, resiliência

SITUATION ROOMS AND HYDROLOGICAL MONITORING: STRATEGIES FOR WATER RESILIENCE IN SMART CITIES

Study purpose

To analyze the role of smart watersheds in modernizing water resource management, with an emphasis on the strategic function of Situation Rooms as tools to support decision-making in contexts of climate variability.

Relevance / originality

The study is relevant because it addresses the integration between technology and water governance, highlighting an innovative approach to the challenges posed by climate change. The concept of smart watersheds is still in its infancy in Brazil, which gives the work its.

Methodology / approach

A narrative literature review was used, based on scientific articles, technical reports, and legislation, with an emphasis on national and international studies. The analysis focused on theoretical contributions and practical applications related to hydrological monitoring and Situation Rooms.

Main results

Situation Rooms enable rapid responses to extreme events by integrating real-time data for preventive actions. Smart basins enable greater efficiency, predictability, and resilience in water resource management in urban and critical environments.

Theoretical / methodological contributions

The article contributes by consolidating a conceptual model of smart watersheds, integrating science, technology, and participatory governance. It also highlights the importance of geospatial data and decision support systems as central elements of adaptive management.

Social / management contributions

The research points to ways to make public policies more effective, promoting water security and sustainability. The adoption of smart basins and Situation Rooms can improve crisis management and strengthen territorial water governance.

Keywords: water resource management, hydrological monitoring, smart watersheds, situation rooms, resilience

SALAS DE SITUAÇÃO E MONITORAMENTO HIDROLÓGICO: ESTRATÉGIAS PARA A RESILIÊNCIA HÍDRICA EM CIDADES INTELIGENTES

1 Introdução

Ultimamente, a crescente preocupação com as mudanças climáticas tem impulsionado discussões acadêmicas e sociais em torno da sustentabilidade e os desafios e as formas de cuidado com o meio ambiente. Na expectativa de contribuir com este debate, o presente trabalho visa demonstrar como bacias hidrográficas inteligentes, equipadas com salas de situação e sistemas de monitoramento hidrológico, representam ferramentas essenciais para promover a resiliência ecológica e hídrica das cidades. Inspirado no conceito de resiliência ecológica de Holling (1973), que destaca a capacidade de um sistema em absorver e se recuperar de perturbações, argumentamos que a gestão transparente, responsável e bem-informada dos recursos hídricos é fundamental para garantir a sustentabilidade e o bem-estar da sociedade.

A relevância deste estudo reside tanto em sua fundamentação teórica quanto em suas aplicações práticas, que podem aprimorar significativamente a gestão dos recursos hídricos. Ao demonstrarmos a importância da implantação de salas de situação e do monitoramento hidrológico, evidenciamos o papel fundamental do fornecimento de água como um serviço ecossistêmico essencial, alinhado com os princípios de cidades inteligentes. Afinal, como apontam (Buytaert et al., 2014), a gestão eficiente da água é um pilar para o desenvolvimento sustentável, a redução da pobreza, e garantia de bem-estar e qualidade de vida, particularmente em áreas urbanas das grandes cidades.

O monitoramento hidrológico, em especial, ao coletar e analisar dados sobre precipitação e vazão dos rios, permite acompanhar eventos críticos como inundações e secas, planejar medidas de mitigação e gerenciar os recursos hídricos de forma eficiente. Cidades inteligentes investem em sistemas avançados de monitoramento da qualidade e do nível da água em rios e aquíferos, utilizando sensores e tecnologias de dados para responder rapidamente a eventos climáticos extremos. Ao identificar e mitigar os fatores que influenciam os padrões de seca e chuva, bem como a qualidade da água, a resiliência se manifesta na gestão ativa do ambiente natural, através da observação, análise, compreensão e previsão de fenômenos.

Com o avanço das tecnologias de monitoramento hidrológico e a disponibilidade de ferramentas de *Business Intelligence* (BI) de alta precisão, torna-se possível coletar, transmitir e processar grandes volumes de dados, estabelecendo novos paradigmas para a gestão sustentável dos recursos hídricos. Como ressalta Braga (2020), a busca por alternativas que aumentem a resiliência dos sistemas de abastecimento é uma necessidade urgente, especialmente em áreas densamente povoadas como, por exemplo, as Regiões Metropolitanas de São Paulo e de Campinas.

De forma introdutória e explorativa, este trabalho propõe apresentar elementos e situações práticas para sustentar argumentativamente uma abordagem que integra salas de situação, monitoramento hidrológico e o conceito de resiliência, visando fornecer os benefícios e as ferramentas necessárias para uma gestão eficaz dos recursos hídricos no enfrentamento das mudanças climáticas, contribuindo para a construção de cidades mais inteligentes e sustentáveis. Considerando ainda a irreversibilidade da crescente urbanização e a escassez dos recursos hídricos, uma gestão eficiente e baseada em informações precisas é fundamental para garantir o abastecimento da população e evitar danos ambientais e responder aos seguintes questionamentos: como monitorar os recursos hídricos de forma responsável, garantindo o atendimento às necessidades de todos os seres vivos e atividades socioeconômicas? Como

transformar dados coletados em informações úteis para o processo de tomada de decisão na gestão dos recursos hídricos? De que maneira uma Sala de Situação pode aprimorar o processo decisório, promovendo uma gestão mais eficiente e sustentável?

Ao contribuir para responder a estas perguntas, este trabalho pretende aportar novos conhecimentos na área de gestão de recursos hídricos, gerando impactos sociais e econômicos positivos. Sugere-se que a implementação de salas de situação e sistemas de monitoramento hidrológico pode transformar a forma como as cidades gerenciam seus recursos hídricos, tornando-as mais inteligentes, sustentáveis e resilientes. Consequentemente, o objetivo geral deste trabalho é demonstrar como o monitoramento hidrológico e as salas de situação contribuem para a resiliência dos recursos hídricos nas Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí, promovendo a gestão sustentável e a adaptação às mudanças climáticas.

2 Referencial Teórico

Uma sala de situação é um ambiente físico ou virtual onde equipes multidisciplinares se reúnem para monitorar, analisar e responder a eventos críticos. Originário do setor militar, o conceito evoluiu para o contexto das bacias hidrográficas e empresas de saneamento, onde equipes técnicas analisam informações para caracterizar a situação dos recursos hídricos. Os objetivos incluem planejar e avaliar ações, definir medidas e protocolos, avaliar a qualidade e quantidade dos recursos hídricos, apoiar manutenções preventivas e corretivas, direcionar respostas em emergências e disseminar informações aos usuários.

A criação de salas de situação é decisiva para a gestão moderna, pois a utilização de diversas ferramentas disponíveis facilita a busca e o compartilhamento de informações, permitindo antecipar e prever situações de risco, agilizando a tomada de decisões estratégicas. A automação dos sistemas de monitoramento, aliada à transparência, auxilia na obtenção de dados em tempo real sobre níveis d'água, vazões e volumes, permitindo a elaboração de gráficos e modelos preditivos. A produção de boletins informativos para os principais atores envolvidos na gestão dos recursos hídricos e eventos críticos garante uma resposta coordenada e eficiente.

As bacias hidrográficas são áreas da superfície terrestre definidas pelo escoamento superficial e subsuperficial das águas das chuvas que, ao caírem, são direcionadas pela força da gravidade, a partir dos divisores de água, para as regiões mais baixas do relevo predominantemente por ravinas, canais, córregos e tributários, até alcançar o rio principal (Piroli, 2022). A região das bacias dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí (Bacias PCJ), vide figura 1, tem uma área aproximada de 15.377 km², sendo 92,45% no Estado de São Paulo e 7,55% no Estado de Minas Gerais, onde se localizam as cabeceiras dos rios Jaguari, Camanducaia e Atibaia (Agência das Bacias PCJ, 2019). Região altamente industrializada e com alta densidade populacional, enfrentam sérios problemas de escassez hídrica, com uma disponibilidade de apenas 408 m³ por habitante/ano em épocas de estiagem (Comitês PCJ, 2013). Este valor está muito abaixo do índice crítico de 1500 m³ por habitante/ano estabelecido pela ONU.

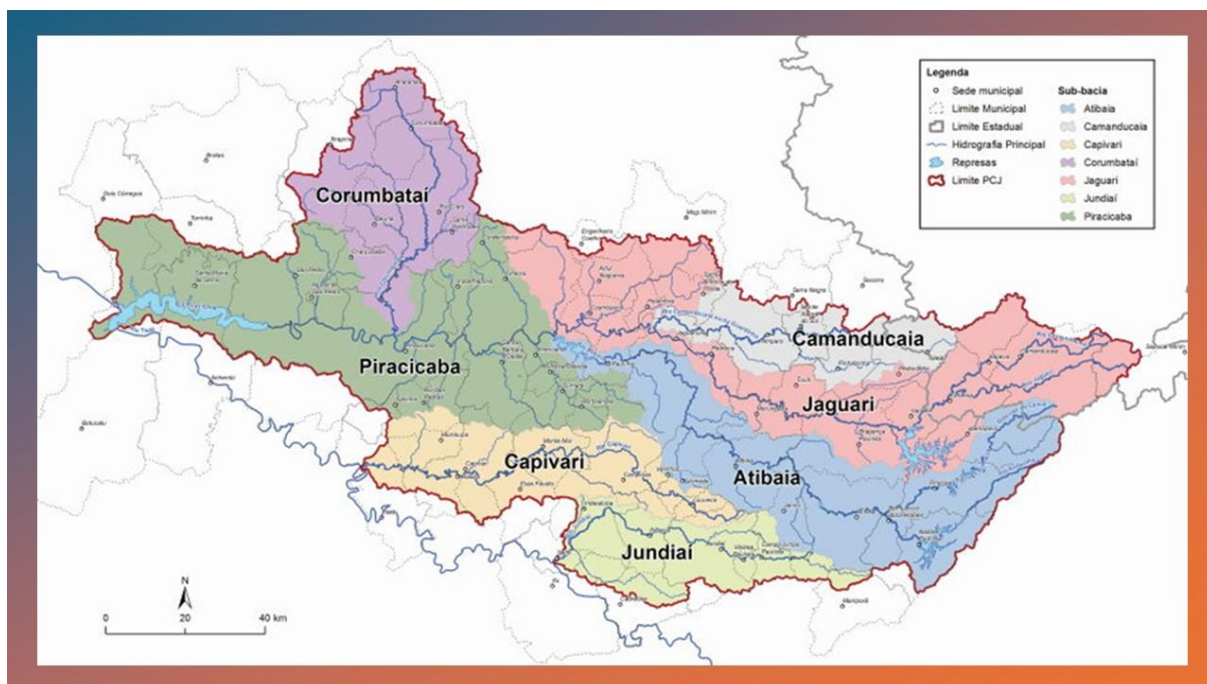


Figura 1 – Localização – Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba Capivari e Jundiaí. Fonte: Agência das Bacias PCJ (Agência das Bacias PCJ, 2019).

Apesar de sua importância, as bacias hidrográficas estão sob forte pressão devido a fatores como mudanças climáticas e atividades humanas (Everard, 2012; Johnson et al., 2007), o que afeta a saúde do ecossistema e compromete sua resiliência (Falcone et al., 2010).

As variações climáticas representam desafios complexos para os gestores de recursos hídricos e serviços de abastecimento, com fenômenos extremos ocorrendo com maior frequência e impactando a segurança hídrica em todo o mundo (Braga, 2020). As mudanças climáticas afetam a disponibilidade de água, tornando-a mais escassa em diversas regiões, enquanto o aquecimento global agrava os períodos de seca e aumenta o risco de eventos extremos, afetando plantações e ecossistemas (ONU, 2024). A gestão integrada das bacias hidrográficas, conforme apontam (Magalhães & Barp, 2014), depende da capacidade das organizações em tomar decisões e desenhar estratégias para alcançar objetivos pré-determinados, baseando-se em informações precisas e atualizadas.

Neste contexto, as salas de situação e o monitoramento hidrológico se tornam ferramentas indispensáveis para a resiliência das cidades, permitindo uma gestão adaptativa e proativa dos recursos hídricos. Nesse sentido, o uso das Salas de Situação e das tecnologias nelas contidas pode melhorar o processo decisório, tornando as bacias hidrográficas mais inteligentes e resilientes, e contribuindo para a construção de cidades que se adaptam e prosperam em face das mudanças climáticas.

3 Metodologia

A metodologia empregada nesta pesquisa caracteriza-se por uma abordagem exploratória e descritiva (Creswell e Clark 2015), visando demonstrar a relevância das Salas de Situação e do monitoramento hidrológico como elementos cruciais na gestão eficiente dos recursos hídricos e na promoção da resiliência em contextos urbanos. Para tanto, a metodologia combina três eixos principais: a revisão bibliográfica, o estudo de caso e a análise documental.

A revisão bibliográfica (Severino 2021) tem como propósito fornecer o embasamento teórico necessário para a compreensão dos conceitos de resiliência ecológica, gestão integrada

de bacias hidrográficas e o conceito de cidades inteligentes, estabelecendo um quadro de referência para a análise dos dados e a interpretação dos resultados.

O estudo concentra-se nas Bacias PCJ (Piracicaba, Capivari e Jundiaí), reconhecidas por suas complexidades e desafios na gestão de recursos hídricos. Dentro desse contexto, são analisadas iniciativas específicas, tais como a Sala de Situação PCJ, a Rede Telemétrica Piracicaba, o Sistema de Suporte à Decisão PCJ (SSD PCJ), o Sistema de Previsão Hidrometeorológica do SIMEPAR e a Sala de Situação da SANASA (Campinas), buscando identificar suas características, funcionalidades e contribuições para a gestão sustentável dos recursos hídricos.

A análise documental, por sua vez, envolve a avaliação de boletins informativos, dados de monitoramento, mapas e gráficos gerados pelas ferramentas e sistemas mencionados, visando extrair informações relevantes sobre o comportamento dos sistemas hídricos, as tendências climáticas e os impactos das ações de gestão.

Os procedimentos adotados na pesquisa incluem a identificação e descrição detalhada das ferramentas e sistemas de monitoramento hidrológico e suporte à decisão utilizados na gestão de recursos hídricos nas Bacias PCJ, a coleta e análise de dados hidrológicos e climáticos de diversas fontes (Rede Telemétrica Piracicaba, SSD-PCJ, SIMEPAR, MeteoBlue), a caracterização das funcionalidades e aplicações de cada ferramenta e sistema, e a avaliação da contribuição de cada um para a resiliência hídrica das cidades, considerando sua capacidade de antecipar eventos críticos, otimizar a gestão dos recursos e promover a adaptação às mudanças climáticas.

As técnicas utilizadas na pesquisa compreendem a análise de dados hidrológicos e climáticos para identificar tendências, padrões e anomalias, a modelagem hidrológica e meteorológica para simular o comportamento dos sistemas hídricos e prever eventos futuros, e a visualização de dados através da criação de mapas, gráficos e tabelas para apresentar os resultados de forma clara e concisa.

Os recursos empregados na pesquisa incluem ferramentas de monitoramento hidrológico (Rede Telemétrica Piracicaba, estações de monitoramento da qualidade da água, sensores de nível d'água), sistemas de suporte à decisão (SSD-PCJ, plataformas de *Business Intelligence* - BI), modelos de previsão climática e hidrológica (Modelo WRF, modelos estatísticos e de inteligência artificial utilizados pelo SIMEPAR), plataformas de previsão meteorológica (MeteoBlue), infraestrutura de TI (servidores, bancos de dados, softwares de análise de dados e visualização) e uma equipe multidisciplinar com expertise em hidrologia, meteorologia, gestão de recursos hídricos e tecnologias da informação.

4 Análise dos resultados e Discussões

Em consonância com os objetivos propostos, destacam-se diversas iniciativas e ferramentas que exemplificam o conceito de bacias hidrográficas inteligentes nas Bacias PCJ. São elas:

a) Sala de Situação PCJ: Este espaço centraliza informações cruciais para a gestão hídrica, integrando dados de diversas fontes e permitindo uma visão abrangente do panorama dos recursos hídricos, assim como auxilia na gestão do Sistema Cantareira, responsável este, pelo abastecimento da Região Metropolitana de São Paulo e de 19 cidades das Bacias PCJ, conforme apresentado na figura 2.



Figura 2 – Sala de Situação – Sala de Situação dos Rios Piracicaba Capivari e Jundiá – SS-PCJ (2025). Fonte: SP-Águas.

Exemplificando, podemos destacar um de seus produtos, o Gráfico de Afluência ao Sistema Cantareira (vide figura 3), elaborado com dados desde 1930, onde se apresenta a afluência as Bacias PCJ, mesmo antes da criação do Sistema Cantareira, nele podemos observar as vazões médias, mínimas, das séries históricas e dos piores anos registrados, 1953 e 2014, assim como dos últimos anos, com base gráfico, temos condições de observar a situação apresentada de cada ano.

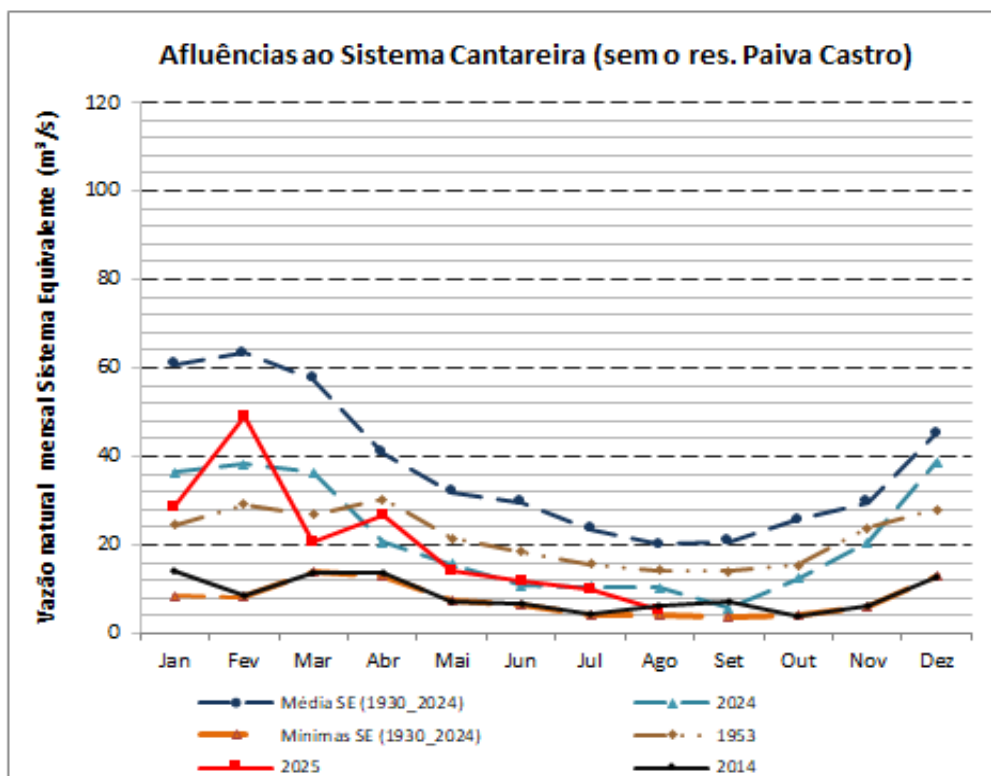


Figura 3 – Vazão de afluência ao Sistema Cantareira por décadas comparado com 2025. Fonte: SS-PCJ (2025).

b) Rede Telemétrica Piracicaba: Composta por 51 postos de controle (vide figura 4) que fornecem dados atualizados a cada 10 minutos, esta rede monitora as vazões dos rios e emite alertas para as Defesas Cíveis e usuários cadastrados em caso de eventos críticos. Além disso, a criação de um banco de dados histórico das últimas décadas possibilita o estudo das mudanças climáticas e a identificação de tendências, Agência das Bacias PCJ (2025).

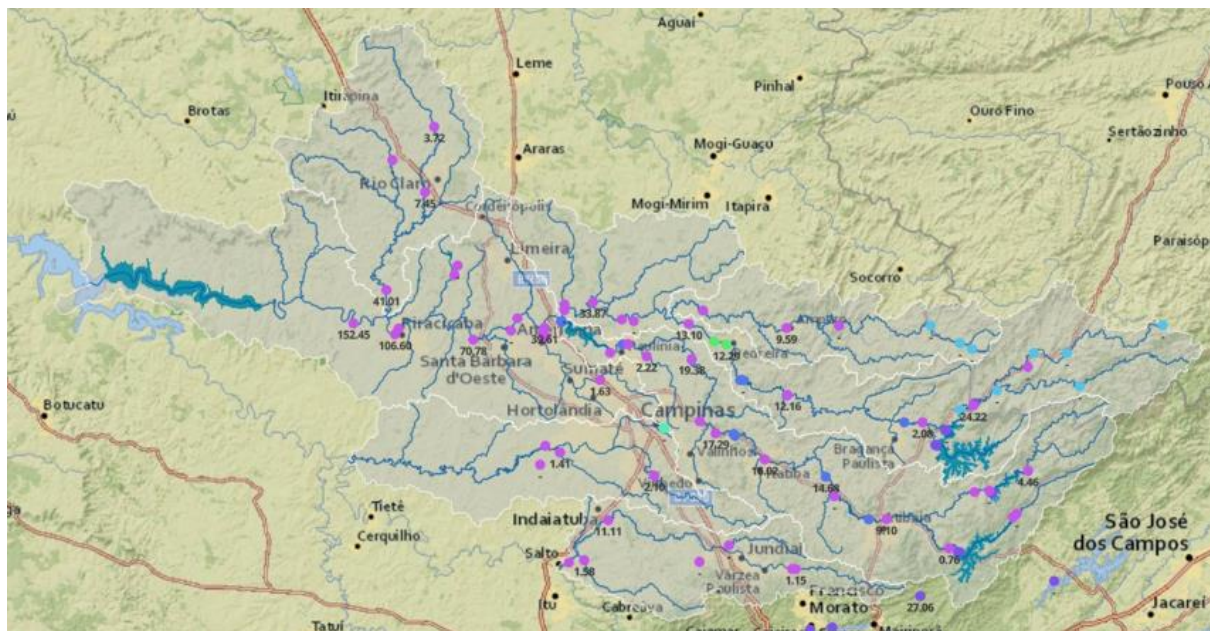


Figura 4 – Rede Telemétrica Piracicaba – Mapa com localização dos postos de controle nas Bacias PCJ. Fonte: Agência das Bacias PCJ (2025).

c) Sistema de Suporte à Decisão PCJ (SSD-PCJ): Em constante desenvolvimento, este sistema (vide figura 5) permite acessar dados atuais e históricos de monitoramento, auxiliando na identificação das mudanças climáticas. O SSD-PCJ fornece dados históricos e gráficos variados, onde é possível identificar tendências como a queda na afluência aos principais mananciais das Bacias PCJ e a diminuição gradativa nas precipitações médias nas últimas décadas, além de acompanhar a situação hidrometeorológica das Bacias PCJ.



Figura 5 – SSD-PCJ – Sistema de Suporte a Decisão PCJ. Fonte: Agência das Bacias PCJ (2025).

d) Sistema de Previsão Hidrometeorológica do SIMEPAR: Desenvolvido pelo Sistema de Tecnologia e Monitoramento Ambiental do Paraná (SIMEPAR) a pedido dos Comitês PCJ, este sistema (vide figura 6) fornece previsões climáticas e hidrológicas customizadas para as Bacias PCJ. Em operação desde 2019, o sistema apoia a gestão hídrica regional e garante o cumprimento das vazões mínimas estabelecidas pelas resoluções ANA/DAEE nº 925 e 926/2017, que regulamentam a operação do Sistema Cantareira. As previsões são baseadas em modelagem atmosférica de alta resolução (modelo WRF) e em um conjunto de modelos hidrológicos integrados (ensemble), que inclui modelos conceituais, estatísticos e de inteligência artificial. A abordagem gera previsões determinísticas (médias) e probabilísticas (com estimativas de incerteza), permitindo antecipar com até 7 dias de antecedência o comportamento das vazões em pontos estratégicos dos rios. O sistema é reconhecido pela sua precisão e robustez técnica, sendo resultado de uma parceria entre o SIMEPAR, UFPR, FCTH e os Comitês PCJ, com apoio da Agência das Bacias PCJ. São emitidos dois boletins diários, com informações sobre precipitação e vazão previstas, mapas de chuva acumulada e gráficos com faixas de probabilidade de ocorrência, que subsidiam a tomada de decisão dos órgãos gestores e contribuem para o equilíbrio entre oferta e demanda de água, especialmente em cenários de escassez hídrica.

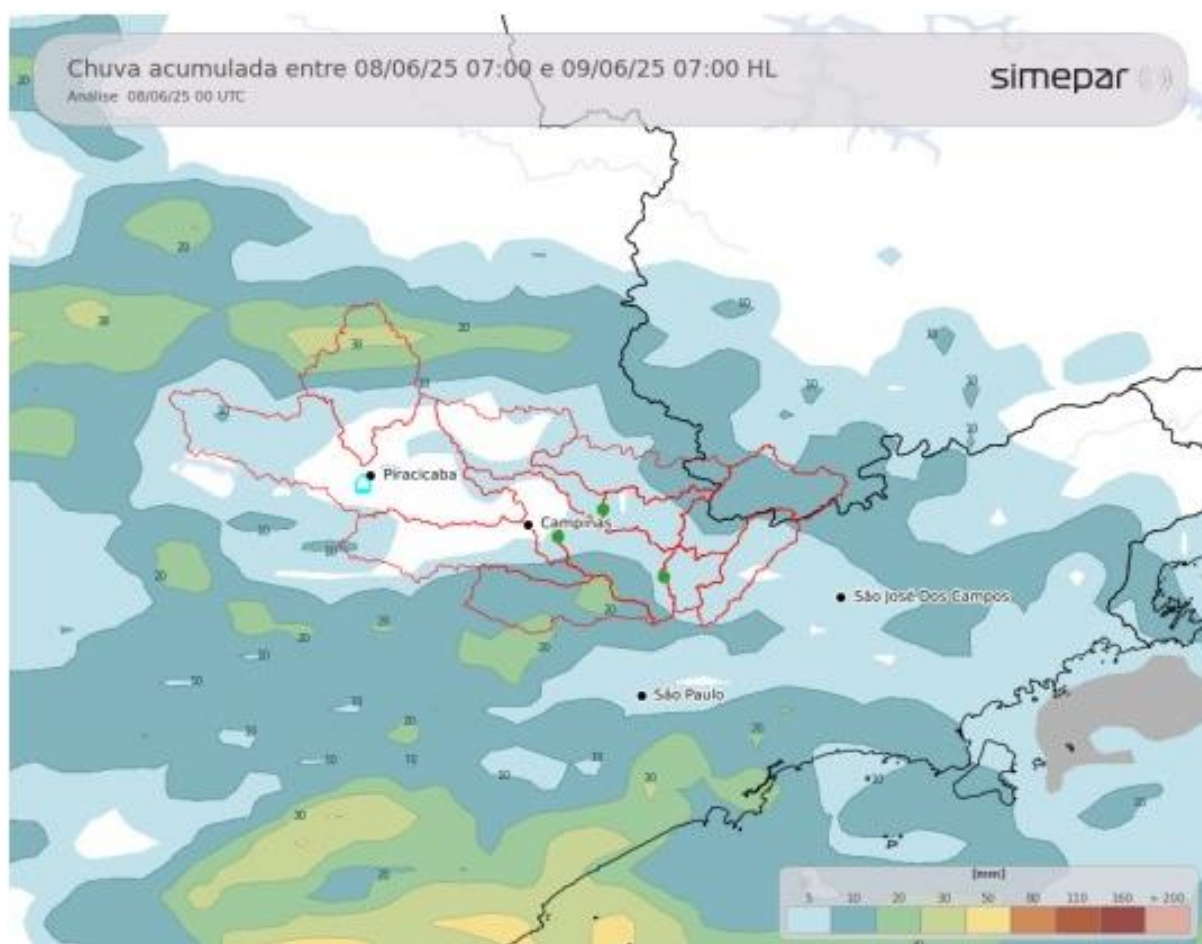


Figura 6 – Mapa com previsão de chuva acumulada. Fonte: SIMEPAR

Tendo como base a espacialização das chuvas nas Bacias PCJ apresentado na figura 6, com destaque para os postos de controle da outorga do Sistema Cantareira de 2017, temos a figura 7, produto resultante da previsão hidrometeorológica para o posto de controle Rio Atibaia – Captação Valinhos, que encontra-se a aproximadamente 100 km das Barragens de Atibainha e

Cachoeira, onde são geradas previsões para até 7 dias, através de metodologia Ensemble, que segundo Zhang (2012), são eficientes e versáteis na resolução de uma ampla variedade de problemas de classificação, contribuindo para a redução da variância e o aumento da acurácia em sistemas de tomada de decisão, e o gráfico em questão, apresenta a probabilidade das vazões em decorrência das chuvas previstas e com acertos acima de 70%, estes gráficos, assim como outros apresentados, são essenciais para subsidiar os gestores do sistema, na tomada de decisão com maior assertividade.

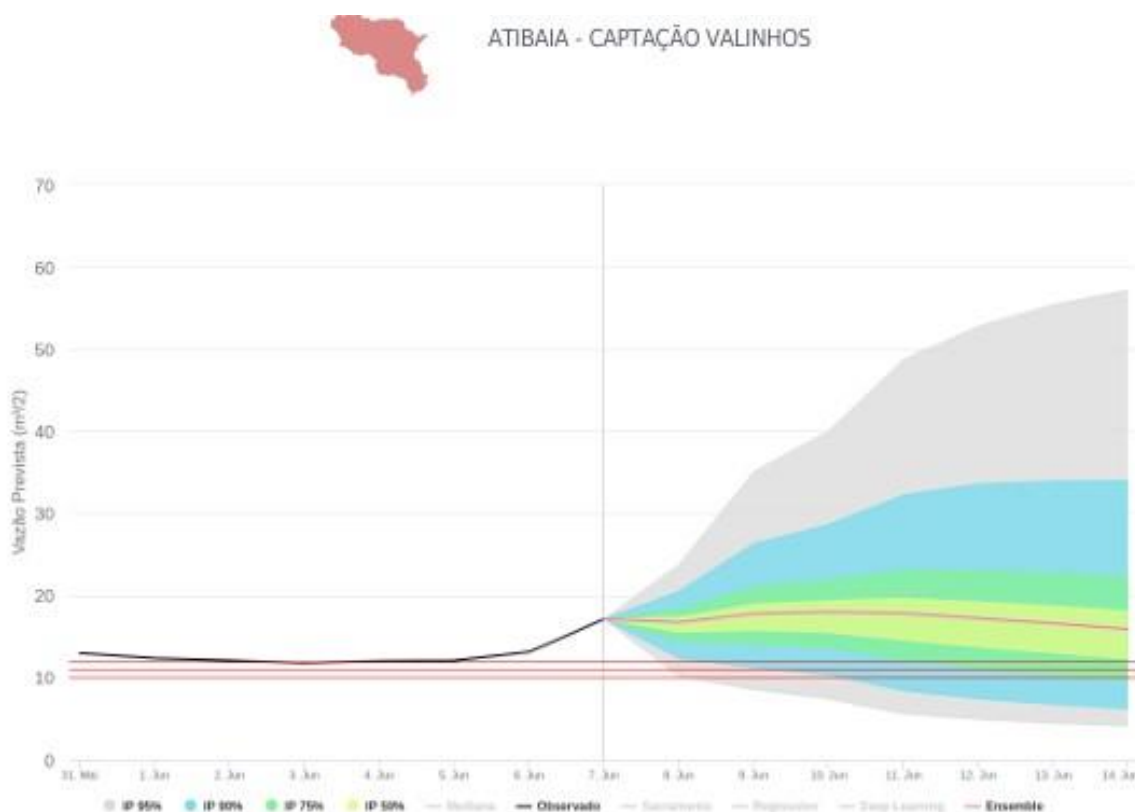


Tabela de vazão (m³/s) prevista em Atibaia - Captação Valinhos para os dias 08/06/2025 a 14/06/2025

Referência	08/06	09/06	10/06	11/06	12/06	13/06	14/06
Valor previsto	16.74	17.79	17.98	17.83	17.21	16.60	15.90
12 m³/s	4.4%	8.4%	11.2%	15.6%	19.6%	23.9%	28.8%
11 m³/s	3.2%	6.3%	8.5%	11.9%	15.1%	18.4%	22.1%
10 m³/s	2.4%	4.8%	6.6%	9.3%	11.8%	14.3%	17.1%

Q (m³/s) - Vazão do modelo.

P(Q<=qref) - Probabilidade da vazão ficar abaixo da referência até o horizonte de previsão.

— Limites de referência de acordo com Resoluções ANA/DAEE nº 925 e 926/2017.

Figura 7 – Previsão Hidrológica de 7 dias posto de controle Rio Atibaia – Captação Valinhos. Fonte: SIMEPAR (2025)

e) Sala de Situação da SANASA (Campinas): A sala de situação da Sociedade de Abastecimento de Água e Saneamento S/A (SANASA), conforme figura 8, possibilita a tomada de decisões rápidas e eficientes em situações críticas ou de emergência, garantindo a continuidade e a qualidade dos serviços oferecidos, bem como apoiar as decisões estratégicas, táticas e operacionais, todas baseadas em dados precisos. Este aspecto é crucial, tendo em vista

que o município possui aproximadamente 1,2 milhões de habitantes e tem a sua captação a fio d'água, sem ter um reservatório para garantia de abastecimento em tempos de escassez hídrica ou eventos adversos.

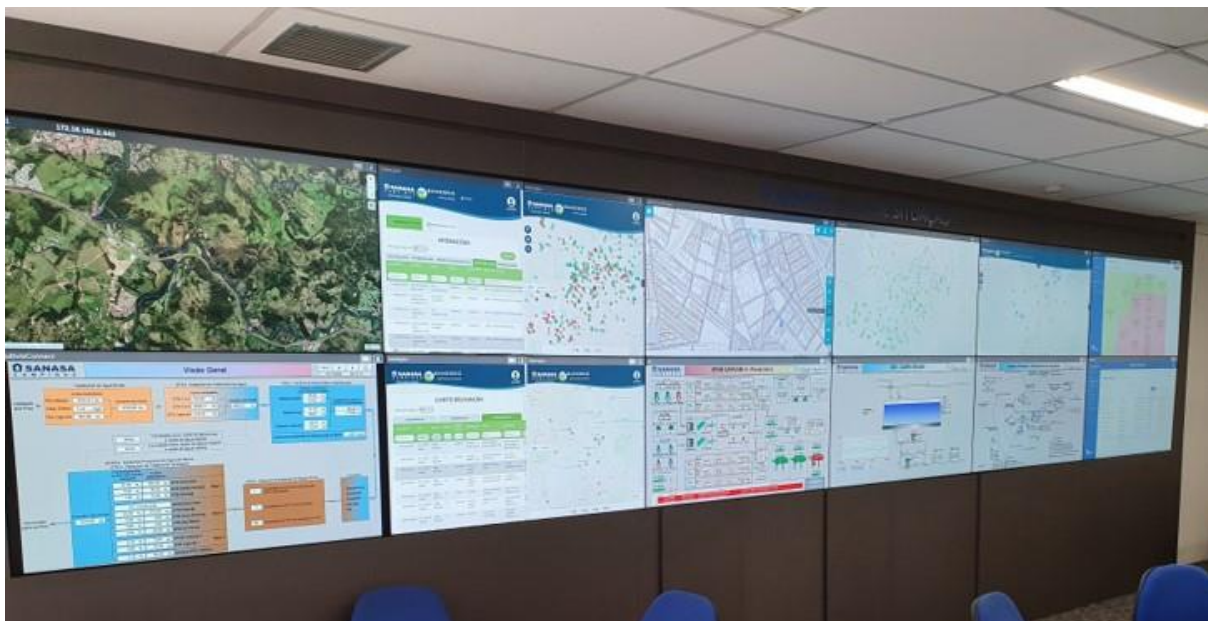


Figura 8 – Sala de Situação. Fonte: SANASA (2021).

f) MeteoBlue: Esta plataforma suíça de previsão climática e meteorológica (vide figura 9) fornece dados detalhados e de alta precisão sobre o tempo em escala global. Por meio da integração de modelos numéricos avançados, observações meteorológicas e técnicas de interpolação, o sistema oferece previsões de curto, médio e longo prazo, além de informações históricas e projeções climáticas futuras. Entre suas funcionalidades estão as previsões horárias e diárias de variáveis como temperatura, precipitação, vento, umidade e radiação solar, bem como a disponibilização de mapas interativos, gráficos, radar meteorológico e imagens de satélite. A plataforma também fornece índices específicos para diferentes aplicações, como sensação térmica, índice UV, conforto térmico e indicadores voltados à agricultura e à geração de energia solar e eólica.

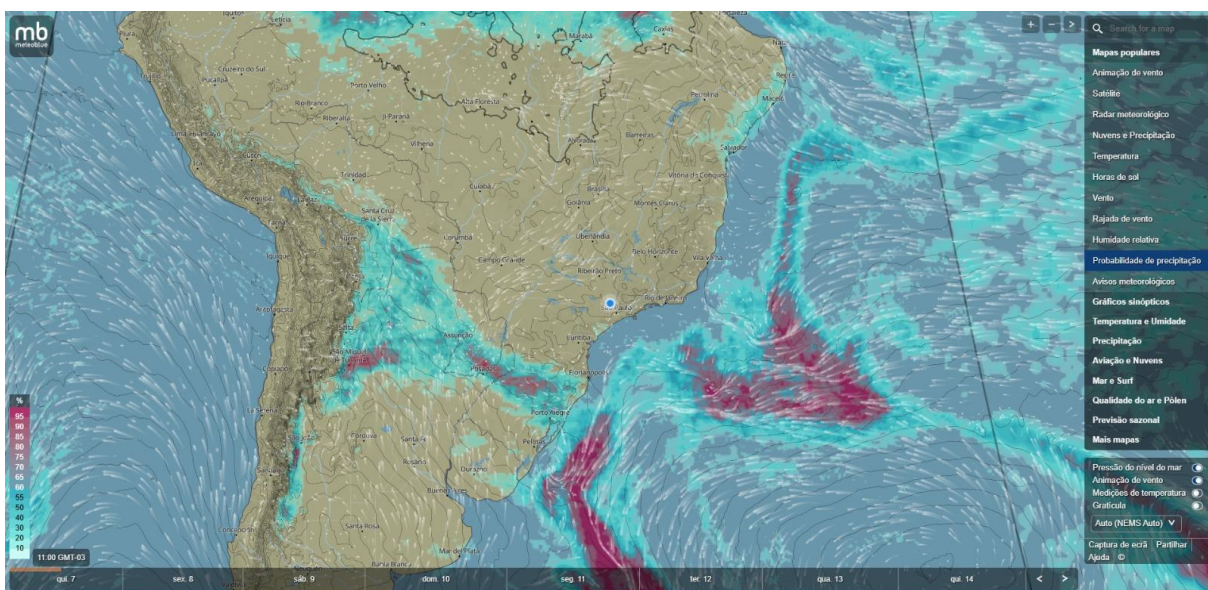


Figura 9 – Mapa com a probabilidade de Precipitação para até 7 dias por hora. Fonte: MeteoBlue (2025).

Esses exemplos reais demonstram como a integração de tecnologias de monitoramento, sistemas de suporte à decisão e previsões meteorológicas pode contribuir para a gestão eficiente e sustentável dos recursos hídricos, promovendo a resiliência das cidades e a adaptação às mudanças climáticas.

5 Considerações Finais

Com base nos resultados e discussões apresentadas, conclui-se que as Salas de Situação e o monitoramento hidrológico representam ferramentas essenciais para a gestão eficiente e sustentável dos recursos hídricos, gerando dados e informações fundamentais para a identificação de mudanças climáticas, eventos críticos e para a garantia da segurança hídrica nas bacias hidrográficas.

A efetividade dessas ferramentas, no entanto, depende de sua incorporação sistemática por parte das empresas de saneamento e demais instituições envolvidas com a gestão da água e a mitigação de riscos. Ao serem aplicadas de forma estratégica e integrada, as Salas de Situação e os sistemas de monitoramento hidrológico permitem minimizar os efeitos adversos de eventos extremos e mitigar suas causas, especialmente considerando que, em muitos casos, esses eventos não podem ser evitados, mas sim enfrentados com preparo e planejamento.

Nesse contexto, é imprescindível dispor de estruturas capazes de identificar, monitorar e interpretar essas situações em tempo real, como as Salas de Situação. O conhecimento antecipado das condições climáticas e a avaliação contínua dos mananciais otimizam o processo de tomada de decisão, fornecendo subsídios técnicos valiosos para a atuação em cenários críticos e para a compreensão dos efeitos das mudanças climáticas em curso. A integração de dados atualizados e históricos sobre variáveis como nível dos rios, vazão, precipitação e qualidade da água possibilita um acompanhamento permanente das condições hidrológicas, orientando decisões técnicas mais precisas e informadas.

No caso específico do Sistema Cantareira, esses instrumentos demonstram ser fundamentais para a gestão, planejamento e controle das descargas, assegurando o atendimento às demandas a jusante e o cumprimento das vazões mínimas pactuadas na outorga de 2017 entre órgãos gestores e usuários. Em períodos de escassez hídrica, como o vivenciado em 2021, quando os índices pluviométricos se aproximaram dos registrados durante a crise hídrica de 2014, as Salas de Situação e os sistemas de monitoramento hidrológico tornam-se ainda mais estratégicos, permitindo antecipar cenários adversos, orientar medidas preventivas e mitigar impactos sobre o abastecimento humano, a produção agrícola e os ecossistemas naturais.

Diante dos desafios ambientais globais e da crescente complexidade na gestão dos recursos hídricos, torna-se cada vez mais urgente o investimento em infraestrutura inteligente e soluções inovadoras. A ampliação das Salas de Situação e dos sistemas de monitoramento hidrológico não é apenas uma medida desejável, mas indispensável para proteger a população e o meio ambiente, aumentando a resiliência das bacias hidrográficas frente aos eventos críticos e às mudanças climáticas. Ao promover a gestão adaptativa, o uso eficiente dos recursos e a tomada de decisões baseadas em dados, essas ferramentas contribuem para a construção de cidades mais inteligentes, sustentáveis e resilientes, capazes de enfrentar os desafios do futuro.

É importante reconhecer, no entanto, que este estudo apresenta algumas limitações. O foco geográfico nas Bacias PCJ pode restringir a generalização dos resultados para outras regiões com características distintas. Além disso, a ênfase em ferramentas e sistemas existentes limita a exploração de novas tecnologias ou abordagens inovadoras.

Apesar dessas limitações, o estudo contribui significativamente para a linha temática de cidades inteligentes, sustentáveis e resilientes, demonstrando a importância da gestão inteligente da água, da integração de dados e informações, do apoio à tomada de decisões e da promoção da resiliência urbana.

Para pesquisas futuras, sugere-se realizar análises comparativas entre diferentes bacias hidrográficas, avaliar o impacto socioeconômico da utilização de Salas de Situação e sistemas de monitoramento hidrológico, explorar o potencial de novas tecnologias, analisar a governança desses sistemas, desenvolver modelos integrados que considerem múltiplos aspectos da sustentabilidade urbana e realizar estudos de percepção e engajamento dos cidadãos. Essas pesquisas complementares poderão aprofundar o conhecimento sobre a gestão sustentável dos recursos hídricos e contribuir para a construção de cidades mais inteligentes, sustentáveis e resilientes.

6 Referências

- Agência das Bacias PCJ (2019). Localização das Bacias PCJ, figura 1. Disponível no link: <https://agencia.baciaspcj.org.br/bacias-pcj/localizacao/>; figura 4, mapa localização postos de controle Bacias PCJ, disponível no link: <https://ssd.baciaspcj.org.br/Mapa>; figura 5, página de acesso ao Sistema de Suporte a Decisão PCJ (SSD-PCJ), disponível no link: <https://ssd.baciaspcj.org.br/>; data de acesso 04/08/2025;
- Agência de Águas do Estado de São Paulo (SP-Águas), (2025). Figura 2, Sala de Situação PCJ, disponível no link: <https://www.sspcj.org.br/index.php/boletins-diarios-e-relatorios-telemetria-pcj/boletimdiario>; data de acesso 04/08/2025;
- Braga, B., et al. (2020). “Estratégias resilientes”: Um plano de adaptação às variações climáticas na gestão de recursos hídricos para o abastecimento da Região Metropolitana de São Paulo, (1ª ed.). Editora SABESP, pp. 3;
- Buytaert, W., Zulkafli, Z., Grainger, S., Acosta, L., Alemie, T. C., Bastiaensen, J., De Bièvre, B., Bhusal, J., Clark, J., & Dewulf, A. (2014). Citizen science in hydrology and water resources: Opportunities for knowledge generation, ecosystem service management, and sustainable development. *Frontiers in Earth Science*, 2, 26; <https://doi.org/10.3389/feart.2014.00026>
- Zhang, C., & Ma, Y. (2012). *Ensemble machine learning, Methods and Applications* (Vol. 144). New York: Springer;
- Comitês PCJ – Comitês das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí. (2013). *Relatório de situação 2013*;
- Creswell, John W., e Vicki L. Plano Clark. 2015. *Pesquisa de Métodos Mistos-: Série Métodos de Pesquisa*. Porto Alegre - RS: Penso Editora.
- Everard, M. (2012). Safeguarding the provision of ecosystem services in catchment systems. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 9, 252–259; <https://doi.org/10.1002/ieam.1386>
- Falcone, J. A., Carlisle, D. M., & Weber, L. C. (2010). Quantifying human disturbance in watersheds: Variable selection and performance of a GIS-based disturbance index for predicting the biological condition of perennial streams. *Ecological Indicators*, 10, 264–273; <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2009.05.005>
- Holling, C. S. (1973). Resilience and stability of ecological systems. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 4(1), 1–23;
- Johnson, R. K., Furse, M. T., Hering, D., & Sandin, L. (2007). Ecological relationships between stream communities and spatial scale: Implications for designing catchment-level monitoring programmes. *Freshwater Biology*, 52, 939–958; <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2006.01692.x>
- Magalhães, R. C., & Barp, A. R. B. (2014). Inovações metodológicas para construção de cenários estratégicos em bacias hidrográficas. *Revista de Administração e Inovação*, 11(3), 200–226;

- MeteoBlue (2025), A Windy Company, figura 9, Mapa com a probabilidade de Precipitação para até 7 dias por hora, disponível no link:
https://www.meteoblue.com/pt/tempo/mapas/campinas_brasil_3467865#coords=4/-22.91/-47.06&map=precipitationProbability~hourly~auto~0.1%20mm~pressure2mOverlay%2CwindAnimationOverlay; data de acesso 07/08/2025;
- ONU (2024). O que são as mudanças climáticas? <https://brasil.un.org/pt-br/175180-o-que-sao-mudancas-climaticas>;
- Pirolí, E. L. (2022) Bacias hidrográficas: definições e representação. In: Água e bacias hidrográficas: planejamento, gestão e manejo para enfrentamento das crises hídricas [online]. São Paulo: Editora UNESP, 2022, pp. 43-62. ISBN: 978-65-5714-298-1. <https://doi.org/10.7476/9786557142981.0004>;
- Sala de Situação das Bacias PCJ (2025), figura 3, disponível no link: <https://www.sspcj.org.br/index.php/sistemacantareira>, data de acesso 07/08/2025;
- Severino, Antônio Joaquim. 2021. *Metodologia do Trabalho Científico*. São Paulo: Cortez Editora.
- Sistema de Tecnologia e Monitoramento Ambiental do Paraná (SIMEPAR) (2025), figuras 6, mapa com previsão de chuva acumulada, e figura 7, previsão hidrológica para 7 dias posto de controle Rio Atibaia – Captação Valinhos, Boletim diário com previsão customizada para as Bacias PCJ (PDF), data de acesso 08/06/2025;
- Sociedade de Abastecimento de Água e Saneamento S/A (SANASA). (2024). *Relatório de sustentabilidade 2024*; figura 8, Sala de Situação SANASA, arquivo próprio (2021).