

AValiação da Disponibilidade Hídrica Superficial no Setor Produtivo: Proposta Metodológica

*Luana dos Santos Goulart¹, Mylena Jessie Flores Barcelos², Natan Dezanet Ricci Szatkowski³,
David Veiga Soares⁴ & André Sandim Campos⁵*

RESUMO – A água é um insumo essencial para o setor produtivo, tornando necessária a adoção de metodologias para avaliação da disponibilidade hídrica em regiões urbanas. Este estudo propõe uma metodologia para avaliação da disponibilidade hídrica superficial, aplicada à região hidrográfica de Jundiaí (bacias PCJ). A abordagem integrou análise hidrológica, uso e ocupação do solo, fontes potencialmente poluidoras e projeção de demanda. A disponibilidade foi estimada a partir da vazão de referência $Q_{7,10}$, associada ao critério de 50% como parcela outorgável. Os resultados indicaram $Q_{7,10}$ de 1,78 m³/s, com três dos quatro pontos apresentando disponibilidade remanescente, sendo dois viáveis para atendimento da demanda projetada entre 2026 e 2030. Conclui-se que a metodologia é aplicável a contextos industriais dependentes de captação superficial e deve considerar variáveis quantitativas e qualitativas.

Palavras-Chave – disponibilidade hídrica, vazão de referência, outorga.

ABSTRACT– Water is an essential input for the industrial sector, making it necessary to adopt methodologies to assess water availability in urban regions. This study proposes a methodology for evaluating surface water availability, applied to the Jundiaí hydrographic region (PCJ basins). The approach integrated hydrological analysis, land use assessment, identification of potentially polluting sources, and demand projection. Water availability was estimated based on the $Q_{7,10}$ reference flow, considering 50% as the allocable portion. The results indicated a $Q_{7,10}$ of 1.78 m³/s, with three of the four evaluated points presenting remaining availability, of which two were feasible to meet the projected demand between 2026 and 2030. It is concluded that the proposed methodology is applicable to industrial contexts dependent on surface water abstraction and should integrate quantitative and qualitative variables.

Key-words – water availability, reference streamflow, water use permit.

1. Introdução

O setor industrial no Brasil possui um parque produtivo amplo e diversificado, com expressiva relevância econômica e elevada dependência hídrica. Segundo a Agência Nacional de Águas [ANA, (2022)], a indústria de transformação representa o terceiro maior uso consuntivo de água no país, atrás apenas do abastecimento humano urbano e da agricultura irrigada, com setores como alimentos, papel e celulose, metalurgia e produtos químicos respondendo por cerca de 85% da retirada hídrica industrial.

1) Engenheira Ambiental e Sanitarista, Water Services and Technologies, Email: contatoluanagoulart@gmail.com.

2) Engenheira Química, Water Services and Technologies, Email: mylenajessie@gmail.com.

3) Engenheiro Civil, MSc Engenharia de Recursos Hídricos e Ambientais, Water Services and Technologies, Email: natan.szatkowski@gmail.com

4) Engenheiro Civil, MSc. Engenharia Hídrica, Water Services and Technologies, Email: david.soares@waterservicestech.com

5) Engenheiro Civil, MSc. Recursos Hídricos, Water Services and Technologies, Email: andresandimc@hotmail.com

Essa demanda expressiva torna a disponibilidade de água um fator limitante para a operação industrial, sobretudo em regiões com intensa pressão sobre os recursos hídricos. As bacias dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí (PCJ), nos estados de São Paulo e Minas Gerais, constituem um sistema hídrico de alta relevância econômica e ambiental, sujeito a usos múltiplos e conflitantes decorrentes do desenvolvimento industrial, agrícola e urbano.

Diante desse cenário, o presente estudo propõe uma metodologia de avaliação da disponibilidade hídrica superficial nas bacias PCJ, com vistas a subsidiar a tomada de decisão quanto à viabilidade e à sustentabilidade do uso dos recursos hídricos no contexto industrial.

2. METODOLOGIA

A metodologia foi aplicada ao setor produtivo, em função da elevada demanda hídrica e da necessidade de assegurar disponibilidade e qualidade da água. Adotou-se uma área de estudo sem vinculação a empreendimento específico, visando demonstrar a aplicação metodológica.

2.1 Caracterização regional

A área de estudo está inserida na bacia dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí (PCJ), localizada na bacia de Jundiaí (SP). A caracterização regional contemplou aspectos climáticos, uso e ocupação do solo, fontes potenciais de contaminação e condições hidrológicas.

2.1.1 Clima, uso e ocupação do solo e fontes potencialmente poluidoras

Para a caracterização do regime climático da área de estudo, foi utilizada a classificação de Köppen, permitindo compreender sua influência sobre a dinâmica hídrica local. Em complemento, a análise de uso e ocupação do solo foi realizada a partir da base de dados do plugin MapBiomas no QGIS, para identificação das classes de uso e seus impactos no ciclo hidrológico.

No que se refere às pressões antrópicas, as fontes potencialmente poluidoras foram levantadas com base nos dados do Cadastro Técnico Federal de Atividades Potencialmente Poluidoras (CTF/APP), mantido pelo IBAMA. Os dados foram previamente filtrados considerando apenas os empreendimentos ativos e de acordo com a tipologia das atividades.

2.1.2 Caracterização hidrológica:

Para avaliar as condições hidrológicas locais, foram utilizados os dados provenientes das estações de pluviometria e fluviometria mantidas pela ANA e pelo INMET, utilizando o plugin ANA DATA ACQUISITION no software QGIS e o Catálogo de Estações no portal do INMET.

2.3 Avaliação da disponibilidade hídrica superficial e definição de pontos alternativos de captação

A disponibilidade hídrica deve ser avaliada com base na vazão de referência adotada no estado. Para este estudo, foi utilizada como referência a vazão $Q_{7,10}$, adotada pelo estado de São Paulo, conforme critérios estabelecidos pelo SP Águas para análise de outorga. Logo, a disponibilidade hídrica foi então estimada a partir da aplicação do critério de parcela outorgável, considerando o limite de até 50% da $Q_{7,10}$ para captação superficial, em conjunto com a análise das outorgas e lançamentos vigentes na bacia. Os dados fluviométricos utilizados foram obtidos a partir da estação de código 62395000, mantida pela ANA. Para o cálculo da vazão de referência $Q_{7,10}$ (m³/s), foi utilizado a metodologia de distribuição de Weibull [Naghettini, Pinto (2007)], representada na equação (1), a seguir.

$$Q_{7,10} = \beta \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right]^{\frac{1}{\alpha}} \dots\dots\dots (1)$$

Em que, β é o parâmetro de escala da distribuição de Weibull, relacionado à magnitude dos valores da série; α é o parâmetro de forma da distribuição, responsável por descrever a variabilidade e a assimetria dos dados e T é o período de retorno em anos. Ademais, o resultado obtido com a equação de Weibull foi validado com os valores apresentados no *software* Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SIGRH), utilizado pelo órgão outorgante de São Paulo para cálculo de disponibilidade hídrica.

O cálculo da disponibilidade hídrica foi baseado pelo método descrito pela equação (2), a seguir.

$$Q_{disponível} = 50\%Q_{7,10} - Q_{cap_{montante}} + Q_{l_{montante}} \dots\dots\dots (2)$$

Em que, $Q_{cap_{montante}}$ refere-se a vazão captada outorgada a montante e $Q_{l_{montante}}$ representa a vazão lançada a montante, ambas em m³/s.

Adicionalmente, considerando as demandas hídricas do empreendimento, devem ser avaliadas alternativas de captação superficial. Para a seleção dos pontos, recomenda-se priorizar proximidade, menor interferência antrópica e maior cobertura vegetal, visando melhor qualidade da água, maior disponibilidade hídrica e menor custo de captação. Neste estudo, por se tratar de proposta metodológica sem empreendimento específico, adotou-se como critério principal a menor interferência antrópica. Assim, foram definidos quatro pontos alternativos, cujas áreas de drenagem e outorgas a montante foram analisadas para subsidiar a avaliação da disponibilidade hídrica local.

2.4.2 Avaliação da demanda futura do empreendimento

Para atender à demanda futura de água do empreendimento, torna-se necessário avaliar a disponibilidade hídrica remanescente na bacia hidrográfica de interesse, verificando se os recursos

hídricos disponíveis são suficientes para suprir as necessidades projetadas sem comprometer os demais usos já estabelecidos. Nesse contexto, a demanda futura do empreendimento foi estabelecida de forma hipotética, considerando uma produção de 100.000 m³/ano para o ano de 2026, com crescimento anual de 5% ao longo do período projetado (2026–2030), conforme a equação de crescimento composto apresentada na equação (3):

$$P_n = P_0 \times (1 + r)^n \dots\dots\dots (3)$$

Em que: P_n é a produção no ano n (m³/ano); P_0 é a produção no ano base, igual a 100.000 m³/ano (2025); r é a taxa de crescimento anual, igual a 0,05 (5%); e n é o número de anos a partir do ano base.

Cabe ressaltar que o volume de produção não corresponde ao total de água efetivamente captado, uma vez que o processo produtivo envolve perdas, consumos auxiliares e usos indiretos que elevam a necessidade real de captação. Dessa forma, para estimar a demanda hídrica total, aplicou-se um coeficiente de sustentabilidade (C_s) de 1,5 sobre o volume de produção de cada ano, conforme a equação (4):

$$D_h = P_n \times C_s \dots\dots\dots (4)$$

Em que: D_h é a demanda hídrica do empreendimento no ano n (m³/ano); e C_s é o coeficiente de sustentabilidade.

Por fim, a demanda hídrica projetada para o período de 2026 a 2030 deve ser comparada à disponibilidade hídrica remanescente nos pontos alternativos de captação. O ponto será considerado apto sob a perspectiva hídrica quando a disponibilidade superar a demanda em todo o horizonte analisado.

2.5 Avaliação da qualidade da água

Para a avaliação da qualidade das águas superficiais foram utilizados dados secundários dos Relatórios de Situação das Bacias PCJ, considerando parâmetros físico-químicos e microbiológicos relevantes. Os resultados foram comparados aos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005, de acordo com a classe de enquadramento do corpo hídrico.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A avaliação integrada das variáveis hidrológicas e antrópicas na região hidrográfica das bacias PCJ, propicia uma avaliação sobre a pressão hídrica exercida na área de estudo. A seguir será descrito

as análises que contemplam o estudo de disponibilidade hídrica para o setor produtivo na região de estudo.

3.1 Caracterização Regional

Para subsidiar as análises subsequentes, realizou-se a caracterização regional da área de estudo, contemplando aspectos territoriais, hidrológicos e de uso do solo, conforme apresentado a seguir:

3.1.1 Clima, uso e ocupação do solo e fontes potencialmente poluidoras

O clima da região de estudo, segundo a classificação climática de Köppen-Geiger, enquadra-se predominantemente como Cwa – clima subtropical úmido com verões quentes e chuvosos e invernos secos e amenos. A análise do uso e ocupação do solo na área de estudo evidencia predominância de áreas antropizadas, com destaque para usos urbanos, industriais, logísticos e agrícolas, seguidas de remanescentes de formação florestal. Esse padrão pode afetar os processos hidrológicos essenciais, como infiltração, recarga de aquíferos, armazenamento hídrico e regularização das vazões.

Adicionalmente, o levantamento territorial identificou 1.835 fontes classificadas com alto potencial poluidor, 1.513 com potencial médio e 285 com pequeno potencial poluidor, distribuídas ao longo da bacia Jundiaí. A elevada densidade dessas fontes sugere uma pressão relevante sobre a qualidade dos recursos hídricos na região.

3.1.2 Caracterização hidrológica

Foi avaliada a série histórica de precipitação entre 1972 e 2024, atendendo à recomendação de utilização de séries com, no mínimo, 30 anos de dados consistentes para análises hidrológicas (TUCCI, 2009). Nesse contexto, a estação 2346014 foi selecionada por apresentar maior período de registros e boa consistência dos dados pluviométricos. A espacialização das estações avaliadas e a análise da estação selecionada são apresentadas na Figura 1.

A fluviometria da região foi avaliada considerando a limite municipal, mas principalmente a área de drenagem da bacia hidrográfica do rio Jundiaí. Conforme as estações avaliadas (Figura 1) optou-se por conduzir as análises com base na estação 62395000. Assim como a estação pluviométrica selecionada para os estudos deste trabalho, a estação fluviométrica também possui dados a partir do ano de 1972, a série histórica com períodos mais longos possibilita a identificação de eventos climáticos extremos ao longo dos anos e a correlação das variáveis no mesmo período auxilia a interpretação da resposta do rio frente as precipitações ocorridas.

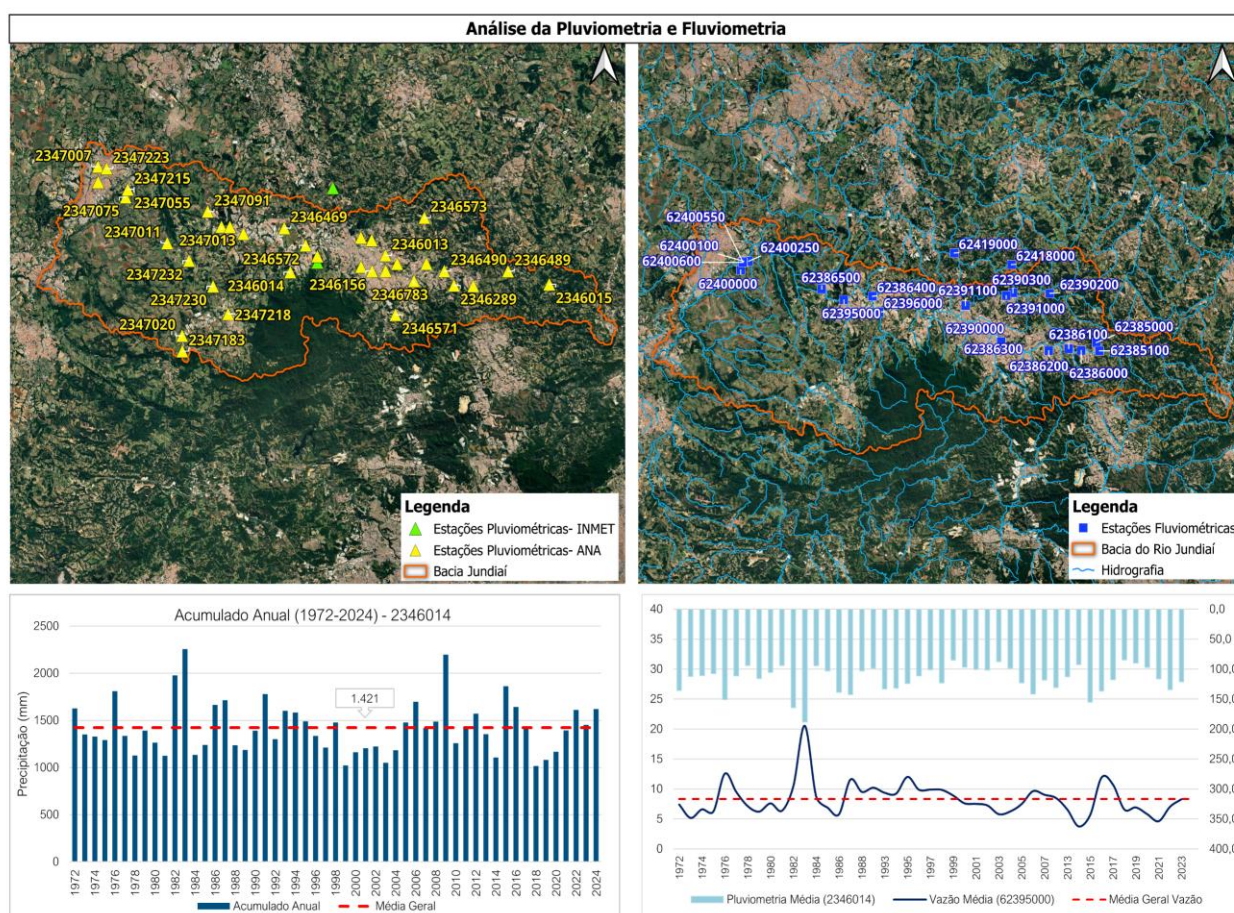


Figura 1 - Análise da pluviometria e fluviometria na região de estudo (Fonte: Autores, 2026).

3.1.3 Caracterização da operação industrial

A caracterização industrial é etapa relevante em estudos de disponibilidade hídrica, pois permite relacionar a operação do empreendimento à demanda atual e futura de água. Essa avaliação deve considerar o setor produtivo, capacidade instalada, linhas de produção, regime operacional, sazonalidade, turnos de funcionamento, eficiência dos processos, indicadores específicos de consumo e perspectivas de expansão.

3.1.4 Projeção de produção do empreendimento

A Figura 2 apresenta um cenário hipotético de crescimento anual de 5% no período de 2026 a 2030, elaborado com o objetivo de representar uma trajetória plausível de expansão produtiva e subsidiar as análises de demanda hídrica desenvolvidas neste estudo. A Tabela 1 apresenta a descrição dos volumes anuais, bem como a vazão de demanda esperada em m³/h.

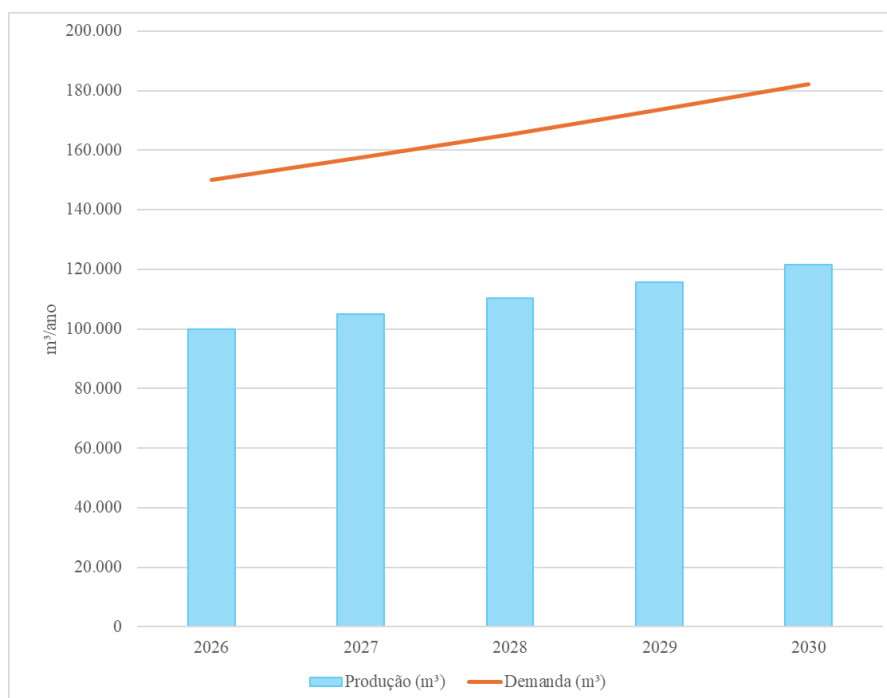


Figura 2 - Projeção da produção anual de uma empresa hipotética (Fonte: autores, 2026).

Tabela 1 - Projeção da produção e demanda hídrica.

Ano	Produção (m³)	Demanda (m³)	m³/h
2026	100.000	149.999	17,12
2027	104.994	157.492	17,98
2028	110.239	165.358	18,88
2029	115.745	173.617	19,82
2030	121.526	182.289	20,81

Fonte: Autores, 2026.

3.1.5 Avaliação da Disponibilidade Hídrica Superficial e Definição de pontos alternativos de captação

A avaliação da disponibilidade hídrica superficial indicou elevada pressão sobre os recursos hídricos na região de Jundiaí, em razão da concentração de usos urbanos, industriais e demandas já estabelecidas. A aplicação do limite de outorga de até 50% da $Q_{7,10}$ demonstrou que, embora ainda exista disponibilidade em alguns trechos, outros já apresentam volumes outorgados superiores ao limite de referência. Nesses casos, a manutenção ou concessão de novas captações depende de avaliação específica do órgão gestor, especialmente para usos prioritários, como o abastecimento público.

A Figura 3 apresenta a espacialização das outorgas de captação superficial e dos barramentos cadastrados na bacia Jundiaí, bem como os pontos selecionados para avaliação da disponibilidade hídrica.

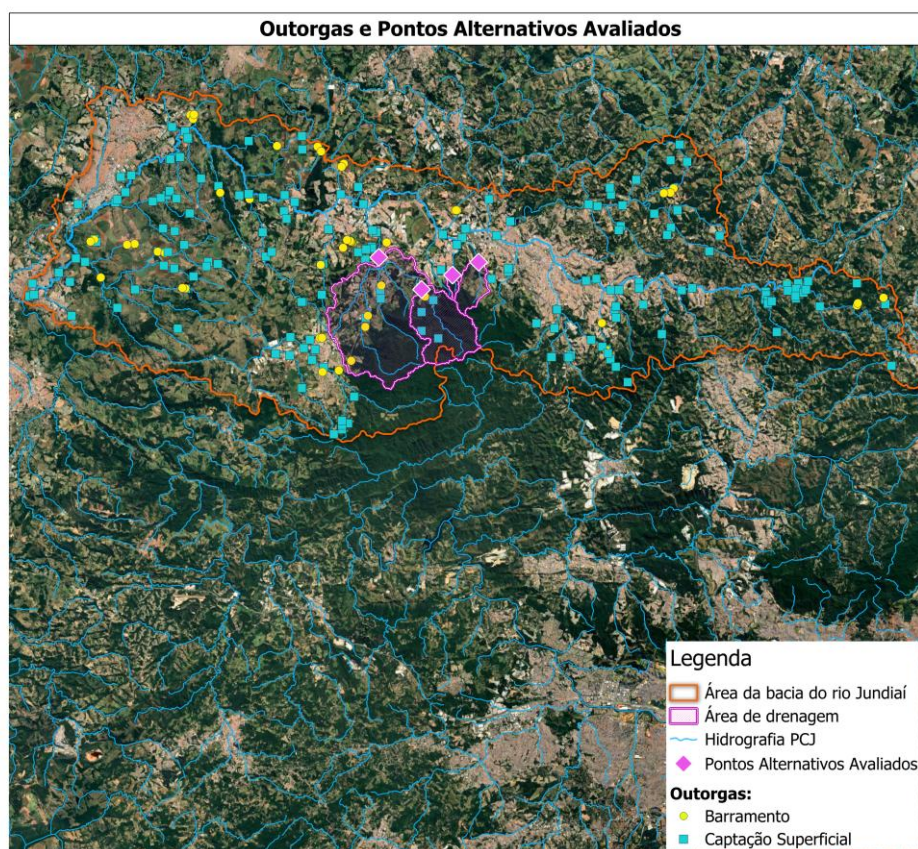


Figura 3 - Outorgas, barramentos e pontos alternativos de captação. (Fonte: Autores, 2026).

Para o estudo dos valores de outorga em pontos alternativos de captação superficial foi necessário definir a $Q_{7,10}$. A estação 62395000 está localizada a jusante do município de Jundiá conforme as coordenadas 23°9'1,08" S e 47°3'28,08" O, e apresenta uma área de drenagem de 632 km².

A vazão referente a mínima média móvel para o tempo de retorno de 10 anos foi igual a 1,78 m³/s obtida por meio da distribuição Weibull. Dessa forma, a vazão específica levando em consideração a área e a $Q_{7,10}$ foi de 2,82 L/s/km². Assim foi feita a regionalização para cada uma das áreas dos pontos alternativos. A Tabela 2 demonstra o resultado obtido da disponibilidade em cada ponto.

Tabela 2 - Cálculo da disponibilidade hídrica para os pontos de captação alternativos.

Pontos	$Q_{7,10}$ (m ³ /h)	50% $Q_{7,10}$ m ³ /h	Outorgas de captação superficial (m ³ /h)	Disponibilidade hídrica (m ³ /h)
1	54,0	27,0	-	27,0
2	7,20	3,60	-	3,60
3	169	84,6	9,86	74,7

Pontos	$Q_{7,10}$ (m ³ /h)	50% $Q_{7,10}$ m ³ /h	Outorgas de captação superficial (m ³ /h)	Disponibilidade hídrica (m ³ /h)
4	612	306	396	-90,0 (Não há disponibilidade hídrica)

Fonte: Autores, 2026.

Verifica-se que os pontos 1, 2, e 3 apresentam disponibilidade hídrica, indicando que, mesmo com as captações existentes, ainda há vazão remanescente para novas derivações, respeitando os critérios de 50% da $Q_{7,10}$. Entretanto, o ponto 4 será descartado por não possuir disponibilidade hídrica, uma vez que as captações superficiais atuais já ultrapassam o limite máximo outorgável.

Considerando a demanda hídrica projetada anteriormente, apenas os pontos 1 e 3 se mostraram tecnicamente viáveis para captação. A conclusão decorre da compatibilidade entre a disponibilidade hídrica estimada nesses locais e a demanda projetada da operação, que varia de 17,12 m³/h em 2026 a 20,81 m³/h em 2030. Os pontos selecionados, portanto, apresentam potencial de atendimento no horizonte avaliado, desde que atendidos os critérios regulatórios, operacionais e ambientais aplicáveis.

3.1.6 Avaliação da qualidade da água

De acordo com os Relatórios de Situação dos Recursos Hídricos das Bacias PCJ publicados em 2023 e 2024 pela Agência das Bacias PCJ, o rio Jundiaí apresenta avanços pontuais em alguns parâmetros de qualidade da água, porém ainda mantém desafios relevantes relacionados à carga orgânica, enriquecimento por nutrientes e contaminação microbiológica. Em contrapartida, as concentrações médias de nitrogênio amoniacal permaneceram compatíveis com os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para corpos hídricos de Classe 2, indicando melhorias localizadas na eficiência dos sistemas de tratamento de efluentes domésticos.

4. CONCLUSÕES

A metodologia proposta permitiu a avaliação da disponibilidade hídrica superficial em bacias com elevada pressão antrópica, aplicada ao setor produtivo nas bacias PCJ.

Com base na $Q_{7,10}$ de 1,78 m³/s, estimada pela distribuição de Weibull e validada pelo SIGRH, e no critério de 50% como parcela outorgável, três dos quatro pontos avaliados apresentaram disponibilidade hídrica remanescente. Os pontos 1 e 3 foram os únicos tecnicamente viáveis para atender à demanda projetada no horizonte avaliada.

Na dimensão qualitativa, os parâmetros fósforo total e coliformes termotolerantes apresentaram predominância de enquadramento em classes mais restritivas, refletindo o aporte de carga orgânica de origem urbana, sobretudo de efluentes domésticos não tratados ou tratados de forma ineficiente e

a influência das demais pressões antrópicas na bacia. Esse resultado reforça que estudos de disponibilidade hídrica devem integrar análises quantitativas e qualitativas, visto que a existência de vazão disponível não garante, isoladamente, a viabilidade de uso do manancial.

A abordagem integrada mostrou-se replicável a diferentes contextos industriais, podendo subsidiar estudos de viabilidade hídrica e reforçando a importância da outorga como instrumento de gestão em bacias com usos múltiplos e elevada pressão sobre os recursos hídricos.

5. REFERÊNCIAS

AGÊNCIA DAS BACIAS PCJ. *Enquadramento dos corpos d'água*. [S.l.], s.d. Disponível em: <https://agencia.baciaspcj.org.br/instrumento-de-gesto/enquadramento-dos-corpos-dagua/>. Acesso em: 30 abr. 2026.

AGÊNCIA DAS BACIAS PCJ. *Relatório de Situação dos Recursos Hídricos 2022: UGRHI 5 – Bacias dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí*. Piracicaba: Agência das Bacias PCJ, 2022. Disponível em: <https://www.agenciapcj.org.br/>. Acesso em: 30 abr. 2026.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA (2005). *Resolução nº 357, de 17 de março de 2005: dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes*. Diário Oficial da União, Brasília-DF, 18 mar. 2005. Disponível em: https://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=450. Acesso em: 30 abr. 2026.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). *Estudo da Agência Nacional de Águas aborda uso da água no setor industrial*. Brasília: ANA, 2017. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/noticias-e-eventos/noticias/estudo-da-agencia-nacional-de-aguas-aborda-uso-da-agua-no-setor-industrial>. Acesso em: 15 abr. 2026.

CRUZ, J.C. (2001). *Disponibilidade Hídrica para Outorga: Avaliação de Aspectos Técnicos e Conceituais*. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – RS. Acesso em: 10 abr.2026

NAGHETTINI, M.; PINTO, E.J.A. (2007). *Hidrologia Estatística*. CPRM, Belo Horizonte – MG, 600 p. Acesso em: 10 abr.2026

TUCCI, CARLOS E. M. *Hidrologia: ciência e aplicação*. Porto Alegre: UFRGS, 2009. Acesso em: 20 abr.2026