

Aplicação de indicador de estresse hídrico na Bacia do Rio Tibagi para a identificação de bacias críticas quanto ao uso dos recursos hídricos

Hydrological stress index applied to the Tibagi River Basin to identification of critically overexploited basins

Camila Marin Stinghen¹ , João Marcos Carvalho² , Michael Mannich² 

¹Instituto Água e Terra, Curitiba, PR, Brasil. E-mail: cami.stinghen@gmail.com

²Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, Brasil. E-mails: joao.mar.huf.carvalho@gmail.com, mannich@ufpr.br

Como citar: Stinghen, C. M., Carvalho, J. M., & Mannich, M. (2022). Aplicação de indicador de estresse hídrico na Bacia do Rio Tibagi para a identificação de bacias críticas quanto ao uso dos recursos hídricos. *Revista de Gestão de Água da América Latina*, 19, e26. <https://doi.org/10.21168/rega.v19e26>

RESUMO: A gestão de recursos hídricos no Brasil é fundamentada na Lei das Águas (Lei 9.433/97), a qual estabelece o atendimento dos usos múltiplos por meio da gestão integrada de qualidade e quantidade. Potenciais conflitos ocorrem em áreas críticas quando a disponibilidade de água não é suficiente para suprir todos os usos e necessidades. Uma estratégia para identificar as áreas críticas é estabelecer o balanço entre as demandas e a disponibilidade hídrica. Esta pesquisa propõe um Indicador de Comprometimento de Bacias (ICB), que representa a razão entre a vazão outorgada e a vazão outorgável, estabelecendo níveis de criticidade, aplicado a grande Bacia do Rio Tibagi no Paraná como estudo de caso para investigação. A partir da aplicação do indicador, realizou-se um diagnóstico das bacias críticas, investigando as características, as razões e tipologias de outorga como agentes para os resultados do ICB. O Indicador serve como ferramenta de gestão e apresenta com simplicidade os níveis de criticidade e permite a visualização de forma direcionada dos problemas e excepcionalidades das bacias.

Palavras-chave: Outorga; Bacias Críticas; Segurança Hídrica; Gestão de Recursos Hídricos.

ABSTRACT: The management of water resources in Brazil is based in the Law 9.43/97 establishing the fulfillment of multiple uses by an integrated management of water quality and quantity. Potential conflicts may occur in critical areas when the water availability is not sufficient to meet all uses and needs. One strategy to identify critical areas is to balance water demand and availability. This research proposes a Critical Basin Index (ICB), which represents the ratio between the water intake and discharge licensing and the permitted use. This index was applied to the Tibagi River Basin in Paraná as a case study. The diagnosis of this watershed allows to investigate the characteristics, reasons and types of grants which changes the ICB. The ICB index serves as a tool for management proposes, showing in a simple way the basins and their critical level.

Keywords: Water License; Critically Overexploited Basins; Water Security; Water Resources Management.

INTRODUÇÃO

A essência de um desenvolvimento sustentável de recursos hídricos considera os impactos a longo prazo, para as futuras gerações, de ações tomadas no presente. Para tanto, é necessário antecipar as mudanças e prever situações de crise. A gestão deve ser adaptativa para acompanhar a natureza mutável e incerta dos ambientes naturais e socioeconômicos, e estando inserida em tais ambientes ela deve incluir ativamente todas as partes envolvidas. Uma gestão participativa agrega responsabilidade a todos perante um bem de domínio público. Ainda, a água deve ser reconhecida como um bem econômico, e espera-se que dessa maneira os beneficiários paguem de alguma forma pelos benefícios que o recurso traz, além de promover o uso racional e financiar os custos de reparação dos impactos causados (Loucks & van Beek, 2005). Esses princípios básicos estão fortemente presentes na Lei das Águas no Brasil (Brasil, 1997). Através de diferentes ferramentas, a Política Nacional de Recursos hídricos identifica a necessidade de uma gestão descentralizada e participativa de recursos hídricos,

Recebido: Agosto 17, 2022. Revisado: Novembro 21, 2022. Aceito: Novembro 25, 2022.



Este é um artigo publicado em acesso aberto (*Open Access*) sob a licença *Creative Commons Attribution*, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

assegurando o direito de acesso a água em quantidade e qualidade, proporcionando o uso múltiplo, sempre visando o desenvolvimento sustentável.

Dentre os instrumentos previstos para a efetivação dos objetivos da Política Nacional está a outorga de uso dos recursos hídricos, um ato administrativo que estabelece os termos e as condições de uso da água. O instrumento é como uma autorização concedida pelo poder público, e visa garantir o direito de acesso a água a todos, em qualidade e quantidades compatíveis com as diferentes finalidades e prioridades definidas nos planos de bacias. O poder público, por meio de seus órgãos gestores de recursos hídricos, é então, o responsável por promover o controle e gerir os recursos disponíveis. Na prática a concessão de outorgas ainda é um pouco falha e acabam sendo emitidas pela ordem de chegada ao órgão gestor (Capodeferro et al., 2019). Podem existir regiões em que a demanda supera a disponibilidade hídrica, e que mesmo amparados por instrumentos e ferramentas previstos na política de recursos hídricos a eventual ausência de estrutura, recursos, de agentes reguladores, de políticas públicas ou capacidade técnica, potencialmente pode agravar estes cenários.

Essas áreas de potencial conflito passam a ser consideradas como críticas quanto ao uso dos recursos hídricos, e necessitam de atenção especial da gestão, com ações de caráter de remediação para solucionar os conflitos e promover a melhoria da qualidade. As experiências brasileiras reafirmam essa característica. Encontra-se um cenário onde a implementação de metodologias e ferramentas complexas, ou modelos de previsões detalhados com grande quantidade de dados, são inviáveis de serem utilizados pelos órgãos gestores, seja por demandar recursos, tempo, qualificação, infraestrutura ou quantidade suficiente de corpo técnico para gerenciar essa quantidade de informações. Stinghen & Mannich (2022) apresentaram como se dá a gestão destas bacias críticas no território brasileiro e sugerem a adoção de uma unificação técnica para sua gestão.

Iniciativas já tem sido feitas neste sentido aplicando indicadores de estresse hídrico (Faro et al., 2019; Silva et al., 2022) e na definição de bacias críticas por meio de balanços quali-quantitativos (Agência Nacional de Águas, 2012; Brasil, 2013). O Plano Nacional de Segurança Hídrica (Agência Nacional de Águas, 2019), por meio do Índice de Segurança Hídrica – ISH, revela o nível de comprometimento da oferta de água considerando diferentes dimensões de análise. O Plano Estadual de Recursos Hídricos do Rio Grande do Sul (Rio Grande do Sul, 2014) já considera bacias especiais aquelas cuja vazão outorgada ultrapassa 50% da vazão de referência. No entanto, Andrade et al. (2013) revelou que 55% das bacias em rios federais ainda apresentam estágio inicial ou em fase de implementação da gestão de bacias críticas.

No contexto internacional, a Espanha, um país que sempre enfrentou situações de seca ao longo da história, desenvolveu um sistema nacional de indicadores de seca e escassez como ferramenta de auxílio a gestão e tomada de decisões (Pedro-Monzonís et al., 2015). O sistema de indicadores nacional previsto no Plano Hidrológico Nacional pela Lei 10/2001, tem como finalidade minimizar os impactos ambientais, econômicos e sociais das eventuais situações de seca. Outro indicador utilizado para a gestão das águas na União Européia, é o Water Exploitation Index (WEI) proposto pela European Environment Agency. O WEI é definido como o percentual da demanda em relação do recurso disponível. O índice serve como um indicador de escassez de água, e representa o percentual de recursos hídricos utilizados em um território definido em determinado período. Valores acima de 20% representam que os recursos estão sob estresse hídrico, e acima de 40% estresse severo e um uso claramente insustentável dos recursos de água doce (European Environment Agency, 2018).

O estado do Paraná, identificando a necessidade de um maior cuidado com tais regiões, deu seu primeiro passo no ano de 2018, com a Resolução SEMA44/2018, posteriormente atualizada pela Resolução SEMA nº 09/2020. A resolução tem o intuito de regulamentar e estabelecer as diretrizes e critérios para a Declaração de Áreas Críticas (Conselho Estadual de Recursos Hídricos do Paraná, 2020). Assim, baseado nos critérios de outorga no Paraná e com referência nas definições de Áreas Críticas pela SEMA nº 09/2020, esse artigo apresenta uma metodologia de aplicação de um Indicador de Comprometimento de Bacia (ICB), a partir de ferramentas já existentes e utilizadas pelo órgão gestor no Paraná, com o intuito de contribuir como identificação a priori de bacias críticas, prevenir o surgimento de novas e promover melhorias na gestão dessas áreas.

DECLARAÇÃO DE ÁREAS CRÍTICAS NO PARANÁ – ÁREA DE ESTUDO

Considerando a situação de muitas bacias hidrográficas, que se encontram comprometidas e que apresentam conflitos pelo uso da água, o estado do Paraná, no ano de 2018 pela Resolução SEMA nº 44, instituiu diretrizes e critérios gerais para a declaração formal de área crítica (Paraná, 2018). Posteriormente esse documento foi atualizado pela Resolução CERH nº 09 no ano de 2020, que trouxe

maior clareza e organização quanto as ações e o procedimento para a declaração de áreas críticas e o processo de alocação negociada no estado. Essa resolução surgiu a fim de estabelecer mais uma ferramenta de gestão que busca assegurar o direito de todos de acesso a água em qualidade e quantidade e prevendo ações de defesa contra eventos críticos de origem natural além do uso sustentável, racional e integrado dos recursos hídricos (Conselho Estadual de Recursos Hídricos do Paraná, 2020).

A Resolução CERH 09/2020 traz que as áreas críticas são os locais onde o balanço hídrico apresenta problemas relacionados à oferta e demanda, seja de origem natural ou antrópica, e onde possivelmente surgirão conflitos a serem tratados a partir de negociações. Em um dos casos em que podem ser declaradas as áreas críticas temos àquelas áreas que

I – a soma das vazões outorgadas aos usuários e requeridas pelos que estão em processo de regularização na bacia ultrapassar a vazão máxima outorgável, conforme definido pelo Comitê de Bacia responsável ou pelo Poder Outorgante, onde não houver Comitê instalado;

Uma vez identificada a indisponibilidade hídrica na bacia, é emitida a portaria de DAC - Declaração de Área Crítica quanto ao Uso de Recursos Hídricos. Cabe então ao Outorgante em conjunto com o Comitê de Bacia (quando existente) convocar todos os usuários envolvidos para criação da proposta de alocação negociada, onde são identificados todos os usuários outorgados ou não, as finalidades dos usos e como será feita a distribuição da vazão outorgável entre tais.

Assim, promovendo os princípios de gestão descentralizada e participativa, previstos na Lei 9.433/1997, a Resolução CERH 09/2020 também define a alocação negociada, que vem a ser o processo em que os usuários de uma determinada região hidrográfica (crítica) se reúnem para decidir de forma conjunta, com base em estudos e previsões de disponibilidade hídrica, a quantidade de água a ser utilizada por cada um deles ao longo de um determinado período. Tal conceito é equivalente às demais definições existentes ao redor do país (Stinghen & Mannich, 2022).

Bacia do Rio Tibagi

A área de estudo definida para os propósitos deste artigo, baseou-se em critérios de disponibilidade de acesso aos dados da bacia. Por possuir um Plano de Bacia Hidrográfica consolidado, a bacia do Rio Tibagi, é uma das bacias do estado do Paraná que oferece informações mais completas sobre as características dos usos, proposição de enquadramento aprovada pelo Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CERH), além de dados de disponibilidade hídrica para o balanço quali-quantitativo.

A Bacia do Tibagi no estado do Paraná conta com uma área de 24.937 km², e abrange um total de 53 municípios. Tem sua cabeceira na Serra das Almas entre os municípios de Ponta Grossa e Palmeira, atravessa uma área equivalente a 13% do total do estado até chegar a sua foz, no encontro com o Rio Paranapanema nos municípios de Primeiro de Maio e Sertaneja (Paraná, 2009). Seus principais afluentes são os rios Pitanguí, Iapó, Ribeirão das Antas e Congonhas na sua margem direita e Imbituva, Capivari, Imbaú, Apucarana, Apucarantina, Taquara, Apertados e Três Bocas na margem esquerda. A partir dos dados obtidos junto ao Instituto Água e Terra (IAT), no mês de maio do ano de 2020, identificou-se que a bacia do rio Tibagi engloba um total de 299 outorgas vigentes ou em processo de renovação. Dentre elas 179 são outorgas de uso para a captação em rio e 120 para a diluição de efluentes lançados.

O INDICADOR DE COMPROMETIMENTO DA BACIA EM FUNÇÃO DAS OUTORGAS E DISPONIBILIDADE HÍDRICA

A identificação de uma área crítica a partir do Indicador de Comprometimento da Bacia (ICB), se dá pelo resultado da razão entre a demanda e a disponibilidade hídrica de uma determinada bacia, e para tanto divide-se em duas etapas. A primeira é a determinação da disponibilidade hídrica através da vazão máxima outorgável, e a segunda é a identificação das outorgas, ou seja, os usuários outorgados na bacia de contribuição, que são tratados como as demandas consolidadas. Esta razão determina o estresse hidrológico, como também proposto por Durães et al. (2015) e Silva et al. (2022), utilizado como referência para determinação de bacias críticas conforme o Plano Estadual de Recursos Hídricos do Rio Grande do Sul (Rio Grande do Sul, 2014) que figura no Plano Nacional de Segurança Hídrica (Agência Nacional de Águas, 2019) incluindo também outras dimensões de análise.

Disponibilidade hídrica

O passo inicial da análise se dá pela determinação da vazão outorgável, a partir de valores de referência, ou seja, da disponibilidade hídrica em cada trecho do rio. No Paraná, a vazão de referência na determinação da vazão outorgável é a $Q_{95\%}$, e corresponde a vazão natural de permanência em 95% do tempo na seção do corpo hídrico. Seguindo os mesmos critérios considerados nos cálculos de outorga para a determinação da disponibilidade hídrica dos trechos de rios da Bacia do Rio Tibagi, optou-se pela utilização dos dados da vazão específica $q_{95\%}$ ($L/s.km^2$) do Plano de Bacia do Rio Tibagi. Essa definição considerou o uso de uma ferramenta consolidada e utilizada pelo órgão ambiental para fins de gestão, permitindo a aplicação a bacia do Tibagi de forma direta, dispensando análises em bacias de maneira individualizada.

Considerou-se a $q_{95\%}$ para as Áreas Estratégicas de Gestão (AEG) presentes no Diagnóstico do Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Tibagi (Paraná, 2009). A Bacia divide-se em 25 Áreas Estratégicas de Gestão que podem ser visualizadas na Figura 1 e as suas respectivas vazões específicas. A determinação da vazão de referência, $Q_{95\%}$ (L/s), de um exutório localizado em cada AEG se deu pela multiplicação da área a montante de cada trecho de rio pela $q_{95\%}$ ($L/s.km^2$). Ainda a máxima vazão outorgável em cada trecho corresponde a 50% da $Q_{95\%}$.

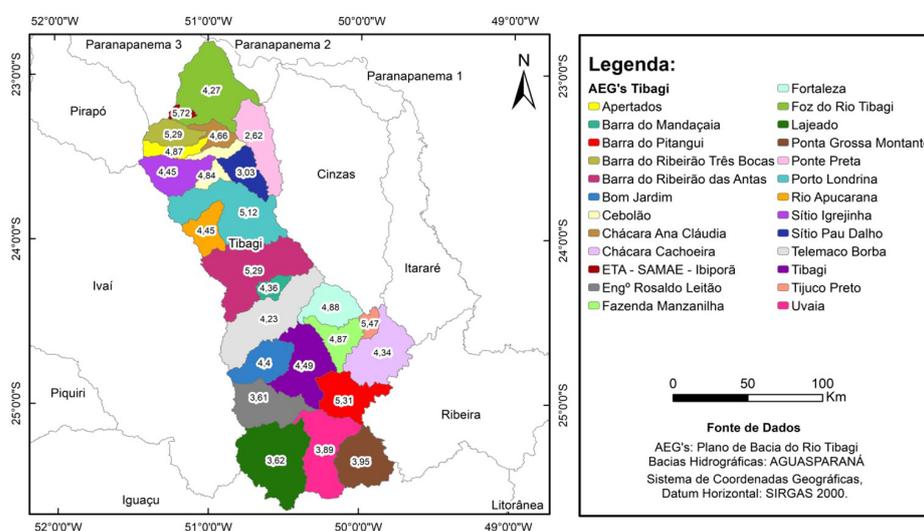


Figura 1 – Vazões específicas de referência q_{95} ($L/s.km^2$) para as Áreas Estratégicas de Gestão na Bacia Hidrográfica do Rio Tibagi conforme o Diagnóstico do Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Tibagi (Paraná, 2009). Os valores de q_{95} são indicados no mapa.

Demanda

Em se tratando de recursos hídricos superficiais, existem dois tipos de outorga que diferem quanto aos parâmetros outorgados e que estão presentes nas áreas críticas aqui apresentadas. A outorga para a captação superficial tem como parâmetros a vazão captada, enquanto para lançamento de efluentes é outorgada a vazão para a diluição (Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, 2006). A vazão de diluição representa a vazão necessária para diluir um efluente com concentração definida, aos valores de concentração estabelecidos no enquadramento do corpo hídrico. Isso posto, o cálculo da vazão outorgada é dado pela soma das vazões outorgadas, ou seja, considerando as vazões captadas ($Q_{Captada}$) e as vazões necessárias para a diluição dos efluentes ($Q_{Diluição}$),

$$\sum Q_{outorgada} = \sum Q_{Captada} + \sum Q_{Diluição} \quad (1)$$

Determinação do ICB

Quando as demandas por água em uma dada seção de interesse, seja para diluição ou captação, atingirem vazões superiores à vazão outorgável ($Q_{Outorgável}$) daquela bacia, identifica-se uma bacia crítica em potencial nos termos do Artigo 3º, Inciso I da Resolução SEMA 44/2018, que devem ser tratadas de maneira distinta em um processo participativo para redistribuição dos recursos existentes (Paraná, 2018). Para determinar o ICB ($Q_{Outorgada}/Q_{Outorgável}$) cada trecho de rio as duas quantidades

devem ser determinadas. Desta forma foi desenvolvido um programa em Python que executa uma rotina percorrendo todos os trechos de rios, identificados pelos códigos das ottobacias, desde suas cabeceiras até a foz do Rio Tibagi, onde em cada novo ponto de outorga identificado é traçado o polígono correspondente da área de drenagem e calculada a soma das vazões outorgadas dentro do polígono conforme a equação 1. O código desenvolvido e os dados de entrada se encontram disponíveis no repositório GitHub (2022), permitindo adaptação para outros estudos similares. Ao final desse processo, obtém-se o arquivo shape file com os polígonos e os valores atribuídos das vazões outorgadas dentro de cada um deles. Para tanto, foram consideradas as vazões outorgadas pelo próprio IAT (publicados até o mês de maio do ano de 2020), que inevitavelmente pode ter utilizado diferentes valores de referência à época para a análise técnica quando da emissão de cada Portaria de outorga.

Diagnóstico das bacias e a representação do ICB

O diagnóstico dessas bacias críticas considerou os níveis mais relevantes do ICB, apresentados na sequência, e as informações coletadas das Portarias de Outorga através do sistema de Cadastro de Recursos Hídricos - CRH do órgão gestor. Nesse processo identificaram-se as outorgas presentes nos polígonos das bacias de contribuição geradas e as evidências relevantes do CRH para a caracterização das bacias críticas. O diagnóstico buscou, então, uma resposta aos valores mais elevados de criticidade encontrados para o indicador. Uma vez determinada a razão entre a demanda e a disponibilidade hídrica ($Q_{\text{Outorgada}}/Q_{\text{Outorgável}}$) das bacias, utilizando as vazões de referência do Plano da Bacia do Rio Tibagi, o indicador de comprometimento, nesse diagnóstico foi classificado de acordo os intervalos mais importantes de comprometimento para entender as peculiaridades dessas bacias. O primeiro intervalo refere-se às bacias em que a razão da demanda pela disponibilidade hídrica é inferior a 1, ou seja, a demanda não supera a vazão máxima outorgável na bacia. São as bacias que se encontram em situação regular.

O segundo intervalo avaliado no diagnóstico, foi definido entre 1 e 1,6. O limite superior deste intervalo foi determinado baseado no Artigo 17º, Parágrafo Único da Portaria 19/2007 da SUDERHSA, o qual autoriza para o lançamento de esgotos sanitários, de empreendimentos de saneamento, a utilização de até 80% da vazão de referência (Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, 2007), o que corresponde a 1,6 do fator de criticidade. Portanto, uma vez que dentro dessa faixa de valores poderiam existir evidências relevantes quanto a regularidade ou não das outorgas, caso essas pertencessem a empreendimentos de saneamento, o limite de 1,6 tornou-se relevante de ser observado. O terceiro intervalo então, são das bacias com valor de criticidade entre 1,6 e 2, no qual o limite superior 2 equivale à 100% da Q95%. O quarto e último intervalo de valores são aqueles que extrapolam 100% da vazão de referência, com indicador de comprometimento acima de 2.

A análise de criticidade das bacias foi realizada a partir de 3 agrupamentos de outorga. O primeiro grupo considerando apenas dos lançamentos de efluentes, o segundo somente das captações superficiais e o terceiro grupo e reunindo as captações e os lançamentos.

Para representar graficamente os níveis de criticidade, foram determinadas 6 classes de comprometimento das bacias, apresentadas na Tabela 1. Essas classes, e as cores representadas, foram utilizadas para a construção dos mapas de criticidade tanto para captações e lançamentos, como para as duas tipologias de outorga juntas, na bacia do Rio Tibagi. Cada classe também recebeu uma nomenclatura, e foram descritas na Tabela 1. Os critérios para classificação do nível de estresse hídrico ou comprometimento da bacia foram fundamentados nos propostos por Durães et al. (2015) e Silva et al. (2022), incorporando também características específicas da legislação do Estado do Paraná.

A menor faixa do indicador, em que a razão entre a demanda e a disponibilidade hídrica fica entre $0 < \text{ICB} \leq 0,5$, foi considerada uma faixa satisfatória, onde as demandas não superam 50% da vazão outorgável na bacia. A segunda faixa para bacias com o indicador $0,5 < \text{ICB} \leq 0,8$, definida arbitrariamente, foi considerada sob controle com relação a criticidade e ainda dentro dos limites outorgáveis. Acima dessa faixa, com criticidade entre $0,8 < \text{ICB} \leq 1,0$, o indicador representa um nível subcrítico das bacias, uma vez que nelas os usos ultrapassaram os 80% da vazão outorgável, e merecem atenção maior para que se mantenham com indicador abaixo de 1. As bacias com indicador $1,0 < \text{ICB} \leq 1,6$ já se encontram dentro da zona de criticidade. Os limites desse intervalo do indicador, foram definidos por conta da presença de características específicas a serem observadas nessa faixa. Podem existir outorgas consideradas regulares dentro do intervalo que equivale a até 80% da Q95%, e por esse motivo são consideradas críticas a priori, mas não necessariamente são bacias com

irregularidades de outorga. Os últimos dois intervalos, são aqueles maiores que 1,6. As bacias críticas com $1,6 < ICB \leq 2,0$, extrapolam o caso excepcional, enquanto as bacias supercríticas com $ICB > 2$ apresentam demanda superior a 100% da Q95%.

Tabela 1 - Descrição das classes do indicador ICB por intervalos de valores.

Intervalo	Nomenclatura	Descrição
$0 < ICB \leq 0,5$	Satisfatório	Menor faixa do indicador que reflete tranquilidade em bacias de baixa demanda com relação a disponibilidade hídrica
$0,5 < ICB \leq 0,8$	Sob controle	Faixa do indicador que demonstra equilíbrio entre a demanda e disponibilidade hídrica, dentro dos limites outorgáveis
$0,8 < ICB \leq 1,0$	Subcrítico	Faixa onde o indicador ainda não caracteriza a bacia como crítica, mas que merece atenção
$1,0 < ICB \leq 1,6$	Crítico a priori	Indicador extrapolou o limite outorgável, mas existem excepcionalidades nessa faixa quanto a regularidade das outorgas
$1,6 < ICB \leq 2,0$	Crítico	Indicador demonstra criticidade da bacia, ainda dentro dos limites de 100% da vazão de referência
$2 < ICB$	Supercrítico	O indicador extrapolou o limite máximo, ou seja, a demanda é superior a 100% da vazão de referência

Condições de contorno e as premissas da análise de áreas críticas

A primeira premissa desse trabalho, foi construir uma metodologia de análise de outorga em macro escala. A análise partiria de uma visão geral de todas as outorgas em uma bacia de maior porte, e não caso a caso como é realizada pelo órgão gestor de recursos hídricos, vislumbrando que essa poderá ser mais uma ferramenta para identificar as regiões críticas e definir prioridades, para posterior realização de análise mais minuciosa do órgão ou entidades representativas em cada um desses casos identificados.

A análise desconsiderou eventuais lançamentos e captações irregulares, que não estão registradas no banco de dados do órgão. Diante disso, a análise pode apresentar resultado com ICB subestimado pois não foram considerados usuários irregulares, usos sem outorga, ou poluição difusa. Entretanto, os dados públicos de outorga refletem a heterogeneidade das análises técnicas de outorga realizadas pelos analistas do órgão ao longo dos anos, e alterações da legislação. Tanto as ferramentas, como os dados de referência, como o conhecimento técnico, naturalmente variam de outorga para outorga, de bacia para bacia, de análise para análise. Portanto, a análise realizada não considerou essas possíveis divergências, uma vez que não seria viável mapear todas essas características. Considerou-se os dados existentes e vazões outorgadas pelo órgão, ainda que envolvam tais dissensos.

No caso dos lançamentos de efluentes não foi considerado o processo de autodepuração, apenas a vazão para a diluição outorgada pelo órgão. Para tanto, as vazões para a diluição, presentes nos dados públicos de outorga do órgão, foram consideradas integralmente na soma das demandas de cada bacia, da cabeceira até a foz do Rio Tibagi, atribuindo a análise um viés conservador. Da mesma forma, esses dados também carregam as possíveis variações de vazão, concentração dos parâmetros lançados e da classe do corpo hídrico em cada uma das análises.

Não foram contabilizadas as dispensas pelo fato de que esses usos são considerados como insignificantes e por conta da qualidade dos dados dessa categoria de uso de outorga. Stinghen e Mannich (2019) apresentam que mesmo em bacias de pequeno porte essa característica se confirma, e não há grande comprometimento por parte das dispensas. Ainda, o cadastro das dispensas de outorga nem sempre informam a vazão que realmente é utilizada pelo usuário (considerando o limite de até $1,8 \text{ m}^3/\text{h}$) e não informam a vazão de diluição no caso dos efluentes.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O tratamento das informações exigiu uma validação preliminar. Apenas os dados de captações superficiais foram considerados. Todos os dados desprovidos de coordenadas de localização foram excluídos. Considerou-se apenas as outorgas vigentes ou em processo de renovação e estas informações foram agrupadas e são tratadas daqui em diante sem distinção simplesmente por outorga.

Desta forma, os dados e as categorias consideradas para avaliação são apresentados quantitativamente na Tabela 2.

Dentre as 299 bacias avaliadas, geradas a partir da área de drenagem a montante das outorgas, 63 das 120 bacias de lançamento de efluentes foram classificadas como críticas. Para as captações, de forma isolada, foram 50 das 179 bacias consideradas como críticas. E por fim, foram 137, das 299 bacias ao todo, quando analisadas captações e lançamentos de forma conjunta.

Tabela 2 – Bacias críticas por tipologia de outorga

Tipo de Outorga	Total de bacias	Total de bacias críticas
Lançamentos	120	63
Captações	179	50
Lançamentos e Captações	299	137

A Figura 2 apresenta, o percentual de bacias críticas identificadas em cada um dos intervalos de maior relevância estabelecidos acima, utilizando os valores de vazão de referência do Plano de Bacia do Rio Tibagi. Avaliando os lançamentos de efluentes, um pouco menos da metade (47,5%) das 120 bacias de contribuição geradas, estão dentro dos critérios ideais de outorga, obedecendo um limite de $ICB \leq 0,5$. Os outros 52,5% das bacias estão acima desse limite, sendo que 21,7% delas estão na faixa entre $1,0 < ICB \leq 1,6$, correspondendo ao limite de até 80% da Q95%, outros 12,5% entre $1,6 < ICB \leq 2,0$. E os 18,3% restantes extrapolam a faixa de $2,0 < ICB$.

Para as captações o percentual do total de 179 bacias com ICB acima de 1 é menor, totalizando em aproximadamente 28% e conseqüentemente também tem percentuais menores dentro das faixas de ICBs críticos. E quando se analisa conjuntamente as duas tipologias de outorga, captação e lançamento, tem-se um resultado intermediário entre as duas. No conjunto de 299 bacias, as com criticidade menor do que 1 totalizam 54,2%, e verifica-se um aumento do percentual de bacias na faixa de $1,0 < ICB \leq 1,6$ comparado ao resultado das captações e lançamentos de forma isolada.

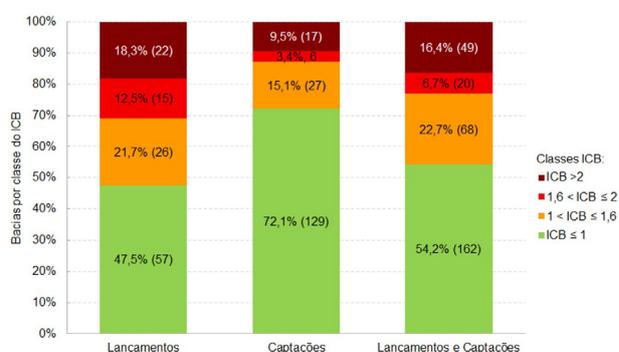


Figura 2 – Percentual das bacias avaliadas conforme a classe do ICB e valores discriminados em forma tabular.

Regularidade de Bacias Críticas

O intervalo de valores do ICB entre 1 e 1,6 apresenta certas peculiaridades, uma vez que os empreendimentos de saneamento, por regulamentação, podem utilizar até 80% da Q95% para a diluição de seus efluentes. A Figura 3 apresenta essa característica. Nessa faixa, verificaram-se quais das bacias estariam regulares, ou seja, que exibiam apenas os empreendimentos de saneamento fazendo a utilização dos 80% da vazão de referência. As bacias irregulares apresentam também empreendimentos como indústrias, comércio e serviço, empreendimentos voltados a agropecuária entre outros. E as bacias que não apresentam nenhuma outorga envolvendo o saneamento e estão na irregularidade por conta dos outros tipos de usuários. Destaca-se que as captações não são regulamentadas da mesma forma, ou seja, o abastecimento público não tem o direito de uso de 80% da Q95%, apenas os lançamentos de efluentes. Logo não existem outorgas regulares no grupo das captações, ficando apenas divididas entre as bacias que apresentam ou não alguma outorga voltada ao saneamento e abastecimento público.

Para $1,0 < ICB \leq 1,6$ (Figura 3) tem-se que 38,5% dos lançamentos caracterizam-se como regulares, e para as captações e lançamentos, nessa classificação, o número de bacias se manteve o mesmo (10 bacias), que correspondem a um total de 14,7%. As bacias consideradas irregulares, sem apresentar outorgas ligadas a empreendimentos de saneamento, somam 42,3% nos lançamentos, 59,3% nas captações, e 45,6% para os dois. E ainda se tem 19,2% das bacias relacionadas aos lançamentos de efluentes, tanto com empreendimentos de saneamento como os demais, um número é maior considerando a irregularidade na captação com 40,7% nessa categoria, e 39,7% para as duas tipologias de outorga. Portanto, nessa faixa de $1,0 < ICB \leq 1,6$, as bacias com outorgas regulares ainda são uma minoria.

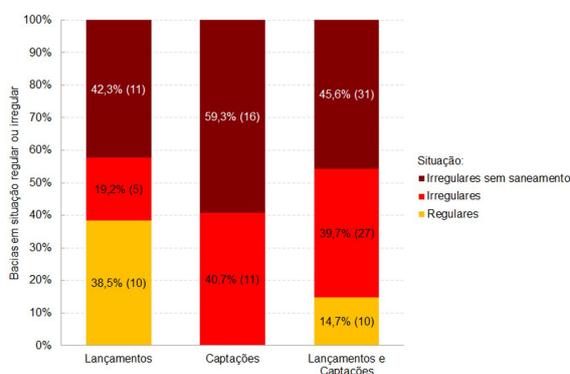


Figura 3 - Bacias críticas em situação irregular ou regular na faixa de 1 a 1,6.

Metas progressivas em Bacias Críticas

O próximo contexto observado dentro da análise dos dados das bacias críticas foi com relação as metas progressivas que já estão previstas. Ou seja, em algumas dessas bacias, as outorgas de lançamento de efluentes, exclusivamente, já estão condicionadas a ações que podem promover por exemplo a redução da carga lançada, com a melhoria da qualidade do efluente ou então redução da vazão. Elas podem incluir também a construção de emissários para o lançamento em corpos d'água com maior disponibilidade hídrica e até mesmo a desativação do lançamento. Assim, o empreendimento, seja ele de saneamento, do setor industrial ou de comércio e serviço, tem um tempo para se adequar e obedecer a todos os critérios de outorga. As metas progressivas então, demonstram as ações e a preocupação de melhoria já estabelecidas em algumas bacias críticas. Dessa forma, as bacias desse trabalho, com ICB superior a 1, foram classificadas de acordo com os tipos de empreendimentos condicionados a metas progressivas, e as bacias onde não existem metas previstas. Primeiramente na Figura 4, tem-se que as bacias, envolvendo somente os lançamentos de efluentes, são 25,4% sem nenhuma proposta de meta. Os lançamentos com metas progressivas relacionados apenas as indústrias são um total de 9,5%, saneamento quase a metade em 47,6%, e envolvendo os dois setores são 17,5%. Incluindo as captações nessa análise, as quais não envolvem esse procedimento de estabelecimento de metas, o percentual de bacias sem a condicionante aumenta para 54,7%, e reduz proporcionalmente nas demais faixas, sendo 9,5% metas para saneamento e indústria de forma associada, 8,8% das bacias apenas com metas de indústrias, e 27% de saneamento.

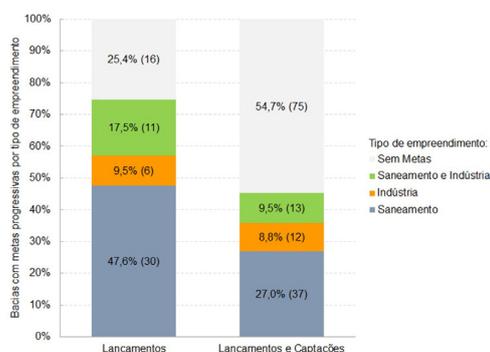


Figura 4 – Quantificação das bacias críticas quanto aos tipos de empreendimentos presentes (industrial ou saneamento), e presença de metas progressivas. A figura apresenta os valores tabulados e o percentual em relação ao total de bacias críticas.

Razões que tornam as bacias críticas

Considerando o conjunto de bacias de contribuição geradas a partir dos pontos de outorga na Bacia do Rio Tibagi, avaliou-se o grupamento de razões que potencialmente explicam os níveis mais altos de criticidade. Ou seja, as bacias com o ICB acima de 1 foram classificadas de acordo com as características das outorgas que apresentam. Essa classificação se deu a partir das observações e outras informações presentes no sistema de Cadastro de Recursos Hídricos (CRH) do órgão gestor. Ao todo, 4 motivos principais foram elencados, dentre eles as bacias com presença de barramentos. No entanto, esta informação não está claramente expressa na outorga, e somente pode ser verificada mediante consulta ao sistema. Para essas bacias a vazão outorgada é superior ao limite da bacia, entrando assim nas faixas de maior criticidade do ICB, mas não necessariamente é crítica pois tem sua vazão regularizada pelo barramento. Também foram identificadas, em uma pequena quantidade, outorgas realizadas de forma alternada no mesmo corpo hídrico, onde um usuário possui mais de um ponto de captação, mas o uso não é simultâneo nos pontos. Dessa forma, quando somados, na análise desse trabalho, os usos ultrapassam o limite da bacia, mas de forma alternada não. Essa dinâmica também não é tão clara no dado das outorgas, que não traz o dado desse tipo de relação entre dois usos, só sendo possível tal identificação através da consulta ao sistema CRH.

Outro motivo é a utilização de até 80% da vazão de referência para o lançamento de efluentes de empreendimentos de saneamento. Este seria um caso excepcional, de outorgas regulares que estão na faixa do indicador de $1,0 < ICB \leq 1,6$. E por fim, a última classificação é atribuída aos casos em que há um conjunto de razões que resultam em vazões outorgadas superiores a outorgável.

Compreendidas as características, para as bacias relacionadas apenas aos lançamentos de efluentes, tem-se dois motivos que podem ser verificados na Figura 5. Das bacias críticas, 37% possuíam outorgas para lançamento de efluentes que faziam a utilização de 80% da vazão de referência. Essas outorgas, classificadas por utilizar 80% da Q95%, não necessariamente se mantiveram na faixa $1,0 < ICB \leq 1,6$ uma vez que podem ter sido concedidas. Pelo fato de que as vazões de referência utilizadas no órgão podem ter variações com relação ao utilizado nesse trabalho, essas bacias aqui apresentadas podem ocupar outras faixas do indicador de comprometimento.

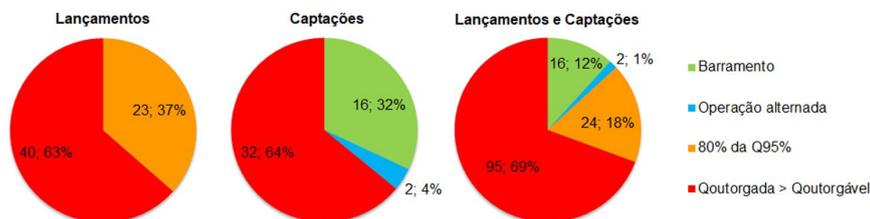


Figura 5 - Características identificadas nas bacias críticas considerando lançamentos, captações e as duas tipologias em conjunto.

Ainda na Figura 5, para as bacias críticas que envolvem apenas outorgas de captações, são 2 bacias que apresentam a dinâmica de usos alternados, correspondendo a 4%. Já as bacias que apresentavam ICB's maiores do que 1, pelo fato de possuírem outorgas de captações em barramentos, são 16 (32%), e as demais bacias, ocorre o fato da demanda ter ultrapassado a disponibilidade.

E para a análise, como é realizada pelo órgão, com a junção das duas tipologias de outorga (Figura 5), tem-se as mesmas 16 bacias com barramento (12%), as mesmas 2 com operação alternada, 24 (18%) que se utilizam de 80% da vazão de referência e o restante com a vazão outorgada superior à outorgável na bacia.

A relação entre a área das bacias e o ICB

A disponibilidade está diretamente relacionada à área de drenagem bem como a soma das demandas é maior em bacias maiores. A Figura 6 apresenta a relação entre as áreas das bacias de contribuição a montante dos pontos de outorgas e o ICB. Verifica-se uma tendência de que quanto menor a área, maior é o ICB, e, portanto, mais críticas são as bacias, muitas vezes superando a vazão de referência. Para o cenário considerando apenas as outorgas de captação (Figura 6a) 72% das bacias apresentam $ICB < 1$ e para bacias maiores do que 200 km² o limite da vazão outorgável não é ultrapassado. Avaliando apenas o lançamento de efluentes (Figura 6b), para as áreas maiores que 400

km² o indicador da bacia não ultrapassa o limite de ICB = 1, de modo que todas estas bacias estão todas do limite da vazão outorgável.

A Figura 6c une as duas tipologias de outorga na análise de criticidade, em cujo cenário as bacias com área superior a 200 km² permanecem com ICB <1. Da mesma forma, os indicadores de comprometimento mais elevados (ICB >> 1) concentram-se nas bacias com áreas de drenagem menor, inferiores as 200 km². Stinghen (2021) comparou também o ICB utilizando a regionalização de vazões obtida por meio do Regionaliza 2014 (Saboia & Lopardo, 2015) que é indicado principalmente para as áreas de drenagem superiores a 100 km², e inferiores a 5000 km² (Kaviski et al., 2002). De modo geral, a regionalização fornece vazões inferiores às obtidas por meio do Plano de Bacias, consequentemente, produzindo valores de ICB geralmente superiores, e, portanto, maior criticidade. Há neste contexto, apesar de resultados consistentes para fins de gestão e conclusões gerais equivalentes, uma oportunidade para avaliar as incertezas advindas da obtenção das vazões de referência.

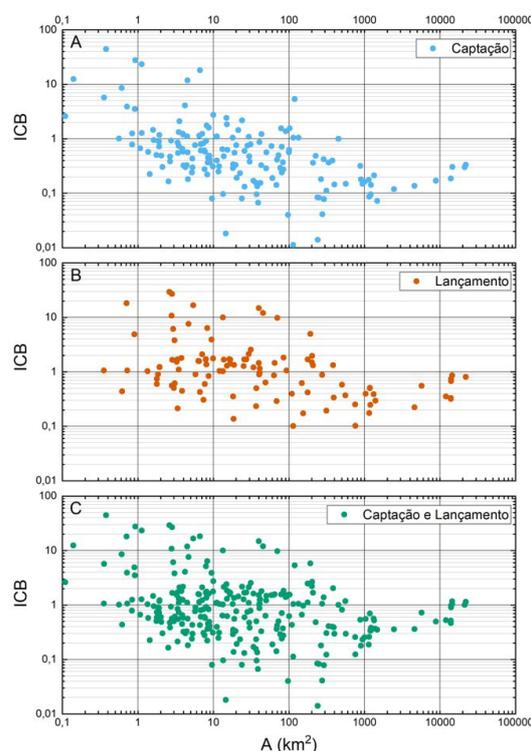


Figura 6 – A) Relação entre o ICB e a área da bacia para a outorgas de captação. B) Relação entre o ICB e a área da bacia para outorgas de lançamento de efluentes. C) Relação entre o ICB e a área da bacia para as duas tipologias de outorgas de lançamento de efluentes e captações.

Distribuição espacial do indicador de comprometimento

A Figura 7 representa espacialmente o indicador considerando apenas os lançamentos de efluentes. As bacias de maior criticidade, algumas ultrapassando até os limites máximos com $2 < ICB$, estão localizadas nas regiões de cabeceiras, com áreas de drenagem menores. Os maiores níveis de criticidade são observados nas regiões noroeste, nas proximidades dos municípios de Londrina, Cambé e Rolândia, e sudeste, em Ponta Grossa, Castro e Carambé. Essas são as regiões de maior concentração populacional na bacia do Rio Tibagi, onde existem as maiores demandas saneamento da bacia. Esse resultado se equipara ao apresentado no Plano de Bacia do Rio Tibagi, que em seus cenários sobre os balanços hídricos quantitativo e qualitativo, verifica que as regiões com maiores riscos estão concentradas nas aglomerações urbanas, nos municípios de Ponta Grossa e Londrina (Paraná, 2013).

No decorrer da bacia, conforme o aumento da disponibilidade hídrica, visualizam-se alguns pontos em amarelo e amarelo claro, em um nível sob controle e satisfatório, inferior ao limite de 0,8 do ICB. Entretanto, ao chegar na metade da bacia no limite dos municípios de Ortigueira e Telêmaco Borba, no próprio rio Tibagi, a soma dos usos reflete um nível de criticidade um pouco maior, em nível subcrítico, e permanece até quase a foz, onde retorna ao nível satisfatório da bacia do Rio Tibagi como um todo.

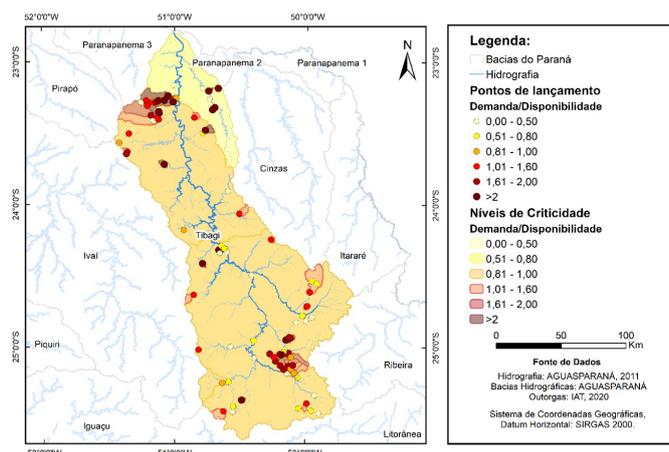


Figura 7 – Mapa com as áreas críticas relacionadas ao lançamento de efluentes, e base nas vazões de referência do Plano da Bacia do Rio Tibagi.

A respeito das captações a Figura 8 reproduz os níveis de comprometimento das bacias geradas para cada ponto de outorga. Prontamente, verifica-se que a modalidade de outorga de captação, isoladamente, exerce uma pressão menor comparada aos lançamentos de efluentes, apresentando uma quantidade inferior, e de menor porte, das bacias em situação crítica. As bacias com maior grau de comprometimento do indicador, também se situam nas regiões noroeste e sudeste da bacia, onde estão os grandes polos industriais nos municípios de Londrina, Cambé, Ibiporã, Rolândia e Ponta Grossa. As duas regiões em conjunto concentram cerca de 50% da população total, e têm os maiores consumos de água para abastecimento público da bacia (Paraná, 2009).

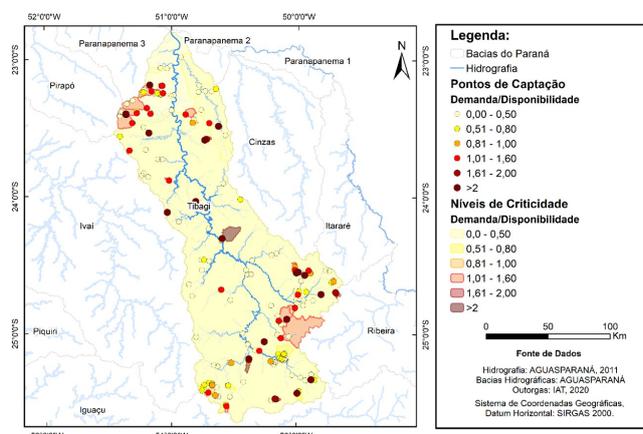


Figura 8 – Mapa com as áreas críticas relacionadas às captações superficiais, e base nas vazões de referência do Plano da Bacia do Rio Tibagi.

Como anteriormente apresentado na Figura 6, de maneira geral as captações têm seus níveis maiores de criticidade nas bacias com áreas de drenagem inferiores a 200 km². Ao longo da bacia, com o aumento da área de contribuição a montante de cada ponto, o indicador permanece nas condições satisfatórias e sob controle, sem grandes áreas em situação de criticidade. Mesmo sabendo que em cerca de 30% das bacias críticas, com ICB acima de 1, a criticidade está atrelada a existência de barramento no corpo hídrico, a presença dos níveis mais altos do indicador não indicam necessariamente que a outorga foi concedida incorretamente, mas serve como direcionamento de olhar mais atencioso para essas áreas, uma vez que elas têm suas dinâmicas naturais alteradas. O indicador chama a atenção para que a análise individualizada das outorgas na bacia seja tratada com o cuidado necessário.

Fazendo a união das duas tipologias de outorga (Figura 9), representando o que é adotado hoje no balanço entre as demandas e disponibilidade hídrica pelo órgão gestor, o cenário se intensifica ainda mais. Com os dados de vazão de referência do Plano de Bacia, temos um comprometimento quase geral de mais de 50% da Q95%. Apenas no último quarto da bacia, aproximadamente, o

indicador retorna ao nível satisfatório de comprometimento. As bacias de cabeceiras, com a junção dos usos para captações e lançamentos de efluentes, tornam-se em sua maioria, na região sudeste críticas e região noroeste supercríticas ultrapassando os limites de 100% da Q95%. No segundo quarto da bacia, existe uma região de maior controle, onde o ICB volta aos níveis de $0 < \text{ICB} < 0,5$ e $0,5 < \text{ICB} < 0,8$, mas atinge níveis críticos entre $1,0 < \text{ICB} < 1,6$ na região central.

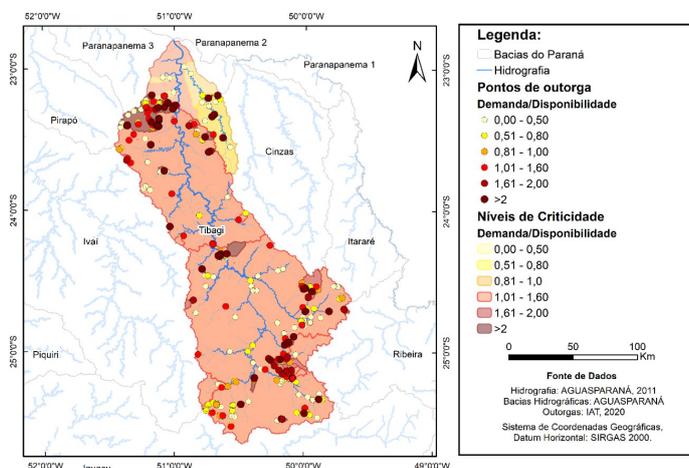


Figura 9 – Mapa com as áreas críticas relacionadas as captações e lançamentos de efluentes, e base nas vazões de referência do Plano da Bacia do Rio Tibagi

Aspectos que interferem no indicador de comprometimento das bacias

Há aspectos que são favoráveis (positivos) e desfavoráveis (punitivos) do Indicador de Comprometimento de Bacia, no sentido em que diminuem ou aumentam o valor do ICB, respectivamente. O uso de vazões de referência superestimadas aumentam a disponibilidade hídrica, consequentemente diminuindo o valor do ICB e potencialmente, mascarando a criticidade. Stinghen (2021) comparou o ICB utilizando outra técnica de regionalização de vazões para definição da vazão de referência, evidenciando esta sensibilidade. Todavia, destacaram que apesar das incertezas na definição da vazão de referência para fins de gestão, o ICB aplicado à bacia do Rio Tibagi ofereceu um diagnóstico equivalente.

Alguns resultados observados causam séria preocupação, no entanto, destaca-se que este estudo, na forma como foi concebido, não considerou o processo de autodepuração dos corpos hídricos, seguindo o que hoje é estipulado no manual de outorgas e aplicado sistematicamente na gestão dos recursos hídricos. Este procedimento considera a vazão de diluição dos efluentes desde a cabeceira até a foz da bacia. Sob esta perspectiva, os resultados são conservadores, uma vez que consideram a mesma vazão para a diluição de efluentes do início da bacia até a sua foz. Nahon, Kishi e Fernandes (2009), Pinheiro et al. (2013) e Zandonadi, Mendonça e Reis (2015) destacam como incorporar o processo de autodepuração nos rios busca aproximar a realidade na gestão de outorgas de lançamento de efluentes e no processo de gestão. Em especial, Zandonadi, Mendonça e Reis (2015), avaliaram diferentes metodologias para estimativa da vazão de diluição uma vez que não há uniformidade de critérios no processo de outorga de lançamentos no Brasil. Calmon et al. (2014) destacam que não incluir o fenômeno de autodepuração conduz a uma análise conservadora, por outro lado, deve-se incluir estimativas de cargas domésticas em função do atendimento de coleta e tratamento de esgoto.

Por fim, entende-se que o diferencial desta pesquisa em relação a outros estudos que propuseram avaliar o estresse hídrico, como Durães et al. (2015) e Silva et al. (2022), foi a capacidade de tratar cada ponto de outorga, de captação ou lançamento, como uma bacia hidrográfica, permitindo avaliar os indicadores com maior resolução especial.

CONCLUSÕES

O indicador proposto denominado Indicador de Comprometimento de Bacia, como ferramenta, apresenta com simplicidade os níveis de criticidade e permite a visualização de forma direcionada dos problemas e excepcionalidades das bacias. O ICB, pode determinar as prioridades da gestão, áreas de maior cautela e indicar as regiões com condições satisfatórias nas bacias. O diagnóstico realizado com

os dados de outorga e os níveis de criticidade do ICB ao longo da Bacia do Rio Tibagi, revelou as diferentes situações e excepcionalidades encontradas nas bacias e apontou as características potenciais de enquadrar uma grande área como crítica. Além disso, também estabelece procedimentos de avaliação que podem ser adotados nessas áreas, e estendidos a todo o estado, e discute as limitações que ainda existem nos dados, na gestão e na avaliação integrada dos usos.

A aplicação do ICB pode ser de grande relevância para o planejamento, e a tomada de ações a priori, antes dos problemas efetivamente acontecerem. O indicador atua como ferramenta de diagnóstico e pode ser utilizado na elaboração de prognósticos e cenários, direcionando olhares às bacias de maior complexidade, e que merecem uma atenção maior para evitar que se tornem críticas no futuro.

O diagnóstico das bacias críticas, a partir da aplicação do indicador, mostrou que os lançamentos de efluentes tem um peso maior para a criticidade das bacias, do que as captações. Entretanto, a criticidade provocada pelos lançamentos é acumulada ao longo de toda a bacia, e não considera o processo de autodepuração e diluição dos efluentes, ao passo que esses efluentes percorrem a bacia e a vazão para a diluição se mantém irreduzível da cabeceira até a foz. Essa é uma dificuldade real também encontrada pelo órgão gestor de recursos hídricos, que ainda não dispõe de ferramentas e de metodologias mais avançadas que representem um balanço de demanda e disponibilidade hídrica mais realista, e que faça uma abordagem macro e integrada entre as tipologias de outorga.

Situação parecida ocorre para o caso de captações em barramentos, em que os dados de outorga de captação não contêm tal informação, e tornam super elevados os níveis de criticidade do indicador em bacias específicas, mas sem considerar que a vazão do corpo hídrico é regularizada pelo barramento. A menos que a análise seja individualizada como é realizada no órgão gestor de recursos hídricos e com as informações internas ao sistema que indicam a característica desses usos. Ainda assim, o indicador acabou por destacar esse tipo de intervenção no corpo hídrico e pode direcionar a análise individual das bacias que apresentam barramentos e que devem passar por um tratamento um pouco diferente dentro do órgão.

Por fim, o diagnóstico abre também a discussão de valor e de sensibilidade dos dados de vazão específica a serem utilizados nas análises de outorga e bacias críticas, uma vez que esse é o componente principal para o estabelecimento da disponibilidade hídrica, e que atualmente não possui uma metodologia predeterminada pelo órgão gestor. O intuito desse trabalho não foi realizar uma análise de incertezas quanto às vazões utilizadas para a determinação da disponibilidade hídrica, no entanto, é necessária a diminuição das incertezas com relação a disponibilidade hídrica, em especial nas bacias de pequeno porte. Identifica-se a oportunidade de um aprimoramento na definição dos critérios de escolha das vazões de referência e desenvolvimento de ferramentas mais consistentes de suporte a decisão.

REFERÊNCIAS

- Agência Nacional de Águas – ANA. (2012). *Nota Técnica Conjunta n° 002/2012/SPR/SRE – ANA*. Brasília.
- Agência Nacional de Águas – ANA. (2019). *Plano Nacional de Segurança Hídrica* (116 p.). Brasília: ANA.
- Andrade, L. A. Z., Teixeira, A. L. F., Brasil, M. A., Dubois, G. S. J., & Ayrimoraes Soares, S. R. (2013). *Análise do estágio da gestão de recursos hídricos em bacias de especial interesse*. In *Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*.
- Brasil. (1997). Lei nº 9.433 de 8 de janeiro de 1997. Institui 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. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília.
- Brasil. Agência Nacional de Águas – ANA. (2013). Portaria nº 62, de 26 de março de 2013, declara de especial interesse para a gestão de recursos hídricos, segundo o balanço hídrico quali-quantitativo, os trechos identificados em corpos hídricos de domínio da União listados. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília.
- Calmon, A. P. S., Souza, J. C., Reis, J. D., & Mendonça, A. S. F. (2014). Subsídios para o enquadramento dos cursos de água da bacia hidrográfica do rio Itapemirim considerando aportes de esgotos sanitários. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 19(1), 255-270.

- Capodeferro, M. W., Kelman, J., & Azevedo, J. P. S. (2019). *A introdução de mercados de água como instrumento de alocação de recursos hídricos: o contexto brasileiro*. In *Anais do XXIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*.
- Conselho Estadual de Recursos Hídricos do Paraná – CERH/PR. (2020, 5 de outubro). Resolução CERH nº 09, de 29 de setembro de 2020, estabelece diretrizes e critérios gerais para a definição de áreas críticas quanto ao uso de águas superficiais e subterrâneas de domínio do Estado do Paraná. *Diário Oficial do Estado do Paraná*, Curitiba.
- Durães, M. F., Mello, C. R., & Beskow, S. (2015). Estresse hidrológico: aplicação às bacias dos rios Paraopeba e Sapucaí, Minas Gerais. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 20(2), 352-359. <http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v20n2.p352-359>
- European Environment Agency – EEA. (2018). *Water use and environmental pressures*. Recuperado em 17 de agosto de 2022, de <https://www.eea.europa.eu/themes/water/european-waters/water-use-and-environmental-pressures/water-use-and-environmental-pressures>
- Faro, G. T. C. D., Garcia, J. I. B., Oliveira, C. D. P. M., & Ramos, M. R. S. (2019). Application of indices for water resource systems stress assessment. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 24, e7. <http://dx.doi.org/10.1590/2318-0331.241920180106>
- GitHub. (2022). *Mestrado Camila Marin Stinghe*. Recuperado em 17 de agosto de 2022, de https://github.com/joaohuf/Mestrado_Camila_Marin_Stinghen
- Kaviski, E., Rohn, M. C., & Mazer, W. (2002). *Projeto HG171: consistência e regionalização de dados hidrológicos: relatório técnico nº 3 - atualização do método de regionalização do Projeto HG-77 (parte 2 – Método de Regionalização)*.
- Loucks, D. P., & van Beek, E. (2005). *Water resources systems planning and management: an introduction to methods, models and applications*. UNESCO.
- Nahon, I. M., Kishi, R. T., & Fernandes, C. V. S. (2009). Desenvolvimento de um sistema de apoio à análise de outorga de lançamento de efluentes-Estudo de Caso: Bacia do Alto Iguaçu. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 14(2), 47-58.
- Paraná. (2009). *Diagnóstico do plano da bacia hidrográfica do rio Tibagi*. Recuperado em 17 de agosto de 2022, de http://www.iat.pr.gov.br/sites/aguaterra/arquivos_restritos/files/documento/2020-05/tibagi-diagnostico_bhtversao_final.pdf
- Paraná. (2013). *Plano da bacia do rio Tibagi: relatório técnico final. Produto 09 - finalização do plano da bacia do rio Tibagi*. Recuperado em 17 de agosto de 2022, de http://www.iat.pr.gov.br/sites/aguaterra/arquivos_restritos/files/documento/2020-05/p-09-_relatorio_tecnico_final_-_revisao_0.pdf
- Paraná. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos – SEMA. (2018, 30 de novembro). Resolução SEMA nº 44, de 28 de novembro de 2018, diretrizes e critérios gerais para a definição de áreas críticas quanto ao uso de águas superficiais e subterrâneas de domínio do Estado do Paraná. *Diário Oficial do Estado do Paraná*, Curitiba.
- Pedro-Monzonís, M., Solera, A., Ferrer, J., Estrela, T., & Paredes-Arquiola, J. (2015). A review of water scarcity and drought indexes in water resources planning and management. *Journal of Hydrology*, 527, 482-493. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.05.003>
- Pinheiro, R. B., Montenegro, S., Silva, S., Medeiros, Y. D., & Aureliano, J. T. (2013). Outorga para lançamento de efluentes: uma metodologia de apoio à gestão de recursos hídricos. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 18(4), 55-65. <http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v18n4.p55-65>
- Rio Grande do Sul. (2014, 28 de março). Resolução CRH nº 141 de 21 de março de 2014, institui o Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Rio Grande do Sul - PERH/RS. *Diário Oficial do Estado do Rio Grande do Sul*, Porto Alegre.
- Saboia, J. P. J., & Lopardo, N. (2015). Software para cálculo de regionalização de parâmetros hidrológicos em bacias do estado do Paraná. In *Anais do XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*.
- Silva, A. C. D., Ferreira, E. D. C., Cabral, J. J. D. S. P., & Azevedo, J. R. G. D. (2022). Determination of hydrological stress in a river basin in northeastern Brazil. *RBRH*, 27, e2. <http://dx.doi.org/10.1590/2318-0331.272220210118>
- Stinghen, C. M., & Mannich, M. (2019). Diagnóstico de outorgas de captação e lançamento de efluentes no Paraná e impactos dos usos insignificantes. *Revista de Gestão de Água da América Latina*, 16(1), e10. <http://dx.doi.org/10.21168/reg.v16e10>

- Stinghen, C. M. (2021). *Gestão de áreas críticas quanto ao uso dos recursos hídricos e o estudo de caso na bacia do rio Tibagi* (Dissertação de mestrado). Universidade Federal do Paraná.
- Stinghen, C. M., & Mannich, M. (2022). Panorama da gestão de bacias críticas no Brasil. *Revista de Gestão de Água da América Latina*, 19(1), e13. <http://dx.doi.org/10.21168/rega.v19e13>
- Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental – SUDERHSA. (2006). *Manual técnico de outorgas. Revisão 01*. Curitiba: DEOF.
- Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental – SUDERHSA. (2007). *Portaria N^o 019/2007, estabelece as normas e procedimentos administrativos para a análise técnica de requerimentos de Outorga Prévia (OP) e de Outorga de Direito de Uso de Recursos Hídricos (OD) para empreendimentos de saneamento básico e dá outras providências*. Curitiba: SUDERHSA.
- Zandonadi, L. U., Mendonça, A. S. F., & Reis, J. A. T. (2015). Outorga de lançamento de efluentes em rios-estimativas de vazões de diluição. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 20(1), 179-191. <http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v20n1.p179-191>

Contribuições dos autores:

Camila Marin Stinghen: redação e revisão do manuscrito. Investigação. Análise formal. Elaboração gráfica e visual.

João Marcos Carvalho: processamento e obtenção de dados, análise preliminar de resultados.

Michael Mannich: proposição da pesquisa. Proposição metodológica. Análise formal. Elaboração gráfica e visual. Orientação. Redação e revisão do manuscrito.