

SAÚDE E AMBIENTE

V.9 • N.1 • 2022 - Fluxo Contínuo

ISSN Digital: 2316-3798

ISSN Impresso: 2316-3313

DOI: 10.17564/2316-3798.2022v9n1p348-364



AVALIAÇÃO DA PROPOSTA DE ENQUADRAMENTO POR MEIO DO ICE EM RESERVATÓRIOS DA BACIA DO IPOJUCA, PERNAMBUCO, BRASIL

EVALUATION OF THE FRAMEWORK PROPOSAL THROUGH THE INDEX OF COMPLIANCE WITH FRAMEWORK IN RESERVOIRS OF THE IPOJUCA BASIN, PERNAMBUCO, BRAZIL

EVALUACIÓN DEL MARCO PROPUESTO A TRAVÉS DEL ICE EN EMBALSES DE LA CUENCA DE IPOJUCA, PERNAMBUCO, BRASIL

Fernanda Sobreira Silva¹

Gabriel Vasco²

Ioná Ma. Beltrão Rameh Barbosa³

Bianca Silva Tavares⁴

Aida Araújo Ferreira⁵

RESUMO

Este artigo apresenta uma avaliação da proposta do enquadramento dos reservatórios do Agreste pernambucano Pão de Açúcar, Pedro Moura Júnior (Belo Jardim), Engenheiro Severino Guerra (Bituri) e Bitá (pertencente à Região Metropolitana do Recife) na bacia hidrográfica do rio Ipojuca, em Pernambuco, por meio do Índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE), que avalia o quanto as variáveis analisadas estão acima do permitido pela legislação, de acordo com a classe de enquadramento do trecho. Este estudo foi realizado em função do relatório final da Proposta de Enquadramento da bacia do rio Ipojuca (PEI), desenvolvido para a Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC) em 2019. A metodologia constituiu-se na consulta à PEI para identificação aos enquadramentos propostos referente aos trechos em que os reservatórios se encontram, conforme levantamento dos dados de monitoramento sistemático da água realizado pela APAC, no período de 2011 a 2019, consulta à Resolução CONAMA nº 357 de 2005 e cálculo do ICE. Observou-se que os reservatórios localizados no Agreste apresentaram um resultado satisfatório, ou seja, mais próximos de atendimento ao enquadramento apontado na PEI, porém indicando que há uma tendência à degradação de qualidade da água, quando analisado a variação anual do ICE. Por outro lado, identificou-se que o reservatório Bitá apresentou o enquadramento mais restritivo e maior grau de poluição, resultando no valor de ICE mais baixo entre os reservatórios estudados, o que indica maior distância no alcance dos objetivos do enquadramento apontado na PEI.

PALAVRAS-CHAVE

Índice. Conformidade. Enquadramento. Qualidade das Águas.

ABSTRACT

This article presents an evaluation of the proposed framework for the Agreste reservoirs of Pernambuco Pão de Açúcar, Pedro Moura Júnior (Belo Jardim), Engenheiro Severino Guerra (Bituri) and Bitá (belonging to the Metropolitan Region of Recife) in the Ipojuca river basin, in Pernambuco, through the FCI (Framework Conformity Index), which assesses how much the analyzed variables are above what is permitted by legislation, according to the segment's classification class. This study was carried out based on the final report of the Proposal for the Framework of the Ipojuca River Basin (PEI), developed for the Pernambuco Water and Climate Agency (APAC) in 2019. The methodology consisted of consulting the PEI to identify the frameworks proposed referring to the stretches in which the reservoirs are located, according to a survey of systematic water monitoring data carried out by APAC, from 2011 to 2019, consultation of CONAMA Resolution No. 357 of 2005 and calculation of the FCI. It was observed that the reservoirs located in the Agreste presented a satisfactory result, that is, closer to meeting the framework indicated in the PEI, but indicating that there is a tendency to degrade water quality, when analyzing the annual variation of the FCI. On the other hand, it was identified that the Bitá reservoir presented the most restrictive framework and the highest degree of pollution, resulting in the lowest FCI value among the studied reservoirs, which indicates greater distance in achieving the objectives of the framework indicated in the PEI.

KEYWORDS

Index. Conformity. Framework. Water Quality.

RESUMEN

Este artículo presenta una evaluación del marco propuesto para los embalses Agreste de Pernambuco Pão de Açúcar, Pedro Moura Júnior (Belo Jardim), Engenheiro Severino Guerra (Bituri) y Bitá (perteneciente a la Región Metropolitana de Recife) en la cuenca del río Ipojuca, en Pernambuco, a través del ICE (Índice de Conformidad Marco), que evalúa cuánto las variables analizadas están por encima de lo permitido por la legislación, según la clase de clasificación del segmento. Este estudio se realizó con base en el informe final de la Propuesta de Marco de la Cuenca del Río Ipojuca (PEI),

desarrollado para la Agencia de Agua y Clima de Pernambuco (APAC) en 2019. La metodología consistió en consultar al PEI para identificar los marcos propuso referirnos a los tramos en los que se ubican los embalses, según un levantamiento de datos de monitoreo hídrico sistemático realizado por APAC, de 2011 a 2019, consulta de la Resolución CONAMA N° 357 de 2005 y cálculo del ICE. Se observó que los embalses ubicados en el Agreste presentaron un resultado satisfactorio, es decir, más cerca de cumplir con el marco señalado en el PEI, pero indicando que existe una tendencia a degradar la calidad del agua, al analizar la variación anual del ICE. Por otro lado, se identificó que el embalse de Bitá presentó el marco más restrictivo y el mayor grado de contaminación, resultando en el valor de ICE más bajo entre los embalses estudiados, lo que indica mayor distancia en el logro de los objetivos del marco señalados en el PEI.

PALABRAS CLAVE

Índice; Conformidad; Estructura; Calidad del agua.

1 INTRODUÇÃO

A qualidade da água, segundo Von Sperling (2014), é resultante de fenômenos naturais e atuação do homem por meio de atividades poluidoras. Bastos e colaboradores (2018) citam que inúmeras atividades poluidoras sejam comerciais, domésticos e industriais podem afetar de maneira direta ou indireta a qualidade da água, conseqüentemente comprometem as bacias hidrográficas e os benefícios coletivos no uso comum.

Em 1997, tendo em vista a necessidade de mecanismos para controle do estado qualitativo dos recursos hídricos, foi promulgada a Lei Federal nº 9.433/1997, a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) (BRASIL, 1997), que estabeleceu uma série de princípios e instrumentos para gestão das águas, dentre eles encontra-se o enquadramento de corpos d'água em classes de acordo com o uso preponderante (BITENCOURT *et al.*, 2019). Em 2008 o Conselho Nacional de Recursos Hídricos publicou a Resolução nº 91, que dispõe sobre os procedimentos gerais para o enquadramento dos corpos de água (CNRH, 2008).

Segundo a Resolução, a elaboração da proposta de enquadramento deve visar o alcance necessário da disponibilidade de água em padrões de qualidade compatíveis com seus usos. Portanto, o enquadramento, segundo a Agência Nacional das Águas (ANA, 2012), é um dos instrumentos de planejamento e deve ter como referência não apenas a condição atual, mas também a qualidade em que o corpo hídrico deve possuir para atender os usos desejados da sociedade.

Para isso, diversos índices de qualidade da água vêm sendo utilizados para fornecer dados que contribuem para o monitoramento de parâmetros, destacando-se o índice de conformidade ao enquadramento (ICE), do Conselho Canadense de Ministros do Meio Ambiente (CCME - *The Canadian*

Council of Ministries of the Environment). Desde 1997, tem sido amplamente utilizado para avaliar as condições dos corpos hídricos em todo o mundo (ISLAM *et al.*, 2016; ALMEIDA; OLIVEIRA, 2018; BILGIN, 2018; OLIVEIRA *et al.*, 2018; MENBERU *et al.*, 2021). Segundo Barbosa e colaboradores (2019), o ICE compara os dados de monitoramento com os padrões determinados pela legislação, permitindo assim, verificar o atendimento da qualidade da água ao enquadramento, além de proporcionar um melhor controle para os padrões estabelecidos (AMARO; PORTO, 2009).

Dessa forma, o ICE fornece uma base consistente para avaliar as condições de qualidade da água (CCME, 2003). Para isso, determina-se um valor que sintetize as informações oriundas das variáveis de qualidade observadas, medindo a distância entre a condição atual do corpo d'água e a meta de qualidade estabelecida pelo enquadramento (OLIVEIRA *et al.*, 2018). Ainda de acordo com Oliveira e colaboradores (2018), o estado de Pernambuco apresenta irregularidade das chuvas e a existência de rios perenes e intermitentes que dependem da pluviometria. Esses fatores são agravantes que comprometem a qualidade e o atendimento dos usos que a sociedade demanda para aquele corpo hídrico.

Atualmente o estado de Pernambuco é dividido em 29 bacias hidrográficas, tendo destaque a bacia hidrográfica do rio Ipojuca devido sua importante localização e atividades desenvolvidas (CPRH, 2021). Em 2019 foi aprovada a Proposta de Enquadramento dos corpos d'água da bacia hidrográfica do rio Ipojuca (PEI). No ano seguinte, o Comitê da Bacia Hidrográfica do rio Ipojuca (CBH Ipojuca), por meio da resolução nº 01/2019 aprovou o enquadramento proposto pela PEI, além do plano de efetivação, sendo encaminhada ao Conselho Estadual de Recursos Hídricos para homologação, conforme Resolução do CNRH 91/2008.

Diante do exposto, este trabalho tem como objetivo avaliar a proposta do enquadramento dos reservatórios Pão de Açúcar, Pedro Moura Júnior (Belo Jardim), Engenheiro Severino Guerra (Bituri) e Bitá na bacia hidrográfica do rio Ipojuca, em Pernambuco, por meio do ICE, em função do enquadramento proposto pelo relatório final da Proposta de Enquadramento da bacia do rio Ipojuca, desenvolvido para a Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC) em 2019.

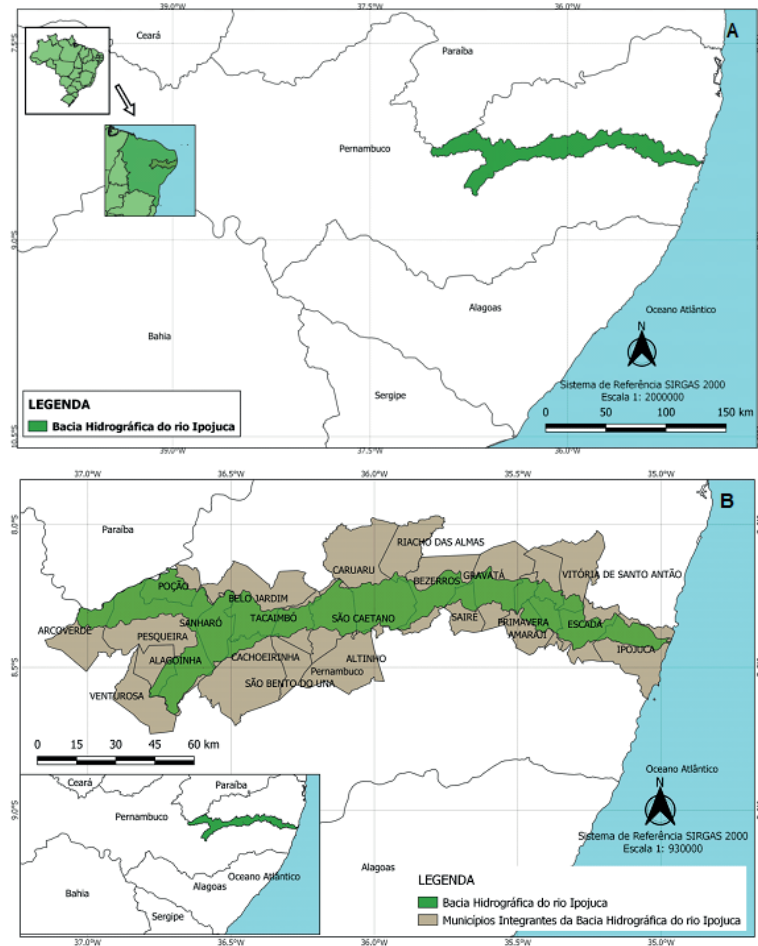
2 MÉTODO

2.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Foram selecionados para este estudo quatro reservatórios da bacia hidrográfica do rio Ipojuca, sendo três deles, os maiores reservatórios da bacia, com capacidade superior a 10.000.000 m³, Pão de Açúcar, Eng. Severino Guerra (Bituri), Pedro Moura Júnior (Belo Jardim), localizados no Agreste pernambucano, e o reservatório Bitá, localizado no município de Ipojuca, litoral do estado de Pernambuco (Figura 1).

B

Figura 1 – A) Bacia Hidrográfica do rio Ipojuca; B) Reservatórios Pão de Açúcar, Eng. Severino Guerra, Pedro Moura Júnior, Bituri e Bitá na bacia Hidrográfica do rio Ipojuca, Pernambuco



Fonte: Dados da pesquisa.

O reservatório de Pão de Açúcar encontra-se localizado no município de Pesqueira, se destina ao abastecimento das cidades de Pesqueira e Sanharó, e atende as demandas de irrigação. Foi construído com a finalidade de regular o sistema de perenização do rio, todavia, sua finalidade foi modificada para ser utilizada como manancial de abastecimento (PERNAMBUCO, 2010). O Pedro Moura Júnior situa-se a 4 km a Sudeste do município de Belo Jardim. Sua principal finalidade é o abastecimento humano do sistema adutor Bitury, que supre inúmeras cidades do Agreste (SILVA, 2019). O reservatório Eng. Severino Guerra localiza-se no mesmo município, também suprimindo as necessidades de abastecimento público da região (CORDEIRO-ARAÚJO *et al.*, 2010).

O reservatório Bita localizado no interior da Estação Ecológica Bita e Utinga a noroeste do território do Complexo Industrial Governador Eraldo Gueiros (Suape). Auxilia no abastecimento do Complexo Portuário de Suape desde a década de 1980, além de abastecer o distrito de Nossa Senhora do Ó (Ipojuca) e as vilas de Suape, Gaibú e Nazaré (ARAÚJO, 2016).

2.2 LEVANTAMENTO DE DADOS

Os dados utilizados na pesquisa foram extraídos do Relatório Final (RF) da Proposta de Enquadramento da bacia do rio Ipojuca (PEI), desenvolvido para a Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC, 2019). No relatório da PEI foram estabelecidos classe de enquadramento para trechos dos rios em que se encontram os reservatórios na condição atual e para as metas intermediárias e finais, como mostra na Tabela 1.

Tabela 1 – Classes de enquadramento propostas pelo Proposta de Enquadramento dos corpos d’água da bacia hidrográfica do rio Ipojuca (PEI), Pernambuco

Trecho	Reservatório	Extensão do trecho (km)	Condição atual	Enquadramento	
				Meta Intermediária	Meta Final
03	Pão de Açúcar	14,5	Classe 4	Sem enquadramento	Sem enquadramento
06	Pedro Moura Júnior (Belo Jardim)	30,3	Classe 4	Classe 3	Classe 3
14	Eng. Severino Guerra (Bituri)	7,9	Classe 4	Classe 3	Classe 2
56	Bitá (trecho na Unidade de conservação)	8	Classe 1	Classe 1	Classe especial

Fonte: Adaptado de APAC (2019).

O trecho que compreende o reservatório Pão de Açúcar (trecho homogêneo 03) abrange desde o rio Ipojuca nas terras indígenas dos Xukurús até a confluência do Riacho Poçoão e tem cerca de 14,5km, não possui proposta para seu enquadramento (metas intermediária e final), segundo consta no relatório o enquadramento intermediário e final depende de deliberação do Conselho Nacional de Recursos Hídricos. O trecho que compreende o reservatório Pedro Moura Júnior (trecho homogêneo 06), com 30,3km de extensão, apresenta os usos preponderantes em longo prazo como sendo abastecimento humano, pesca, irrigação e dessedentação animal. Sua condição atual foi enquadrada como classe 4 e para as metas intermediária e final a proposta de enquadramento é classe 3.

O reservatório Engenheiro Severino Guerra, abrange um trecho de 7,9 km de extensão e é denominado como trecho homogêneo 14, possui seus usos preponderantes em médio prazo análogo ao reservatório Pedro Moura Júnior e sua meta final é de classe 2. Por fim, o reservatório Bitá, por se encontrar dentro da Unidade de Conservação de Proteção Integral, em médio prazo possui o enquadramento classe 1 e a longo prazo classe especial, sendo seus usos preservação do equilíbrio natural e comunidades aquáticas, abastecimento humano.

Em seguida, foram selecionados parâmetros de qualidade de água para determinação do ICE obtidos do monitoramento sistemático da água realizado pela APAC (Tabela 2).

Tabela 2 – Parâmetros selecionados para composição do cálculo do ICE dos reservatórios da bacia hidrográfica do rio Ipojuca, Pernambuco

Parâmetros monitorados	Res. Pão de Açúcar	Res. Pedro Moura Jr	Res. Eng. Severino Guerra	Res. Bitá
Cianobactérias		X	X	
Clorofila a		X	X	X
Coliformes Termotolerantes	X	X	X	X
DBO		X	X	X
Fósforo Total	X	X	X	X
Nitrato			X	X
Nitrito			X	X
Oxigênio Dissolvido	X	X	X	X
pH	X	X	X	X
Sólidos Totais				X
Turbidez		X	X	X

Fonte: Dados da pesquisa.

Os parâmetros escolhidos para cada reservatório, visualizados na Tabela 2, consistiram naqueles em que houve monitoramento e que possuíam limites estabelecidos na Resolução Conselho Nacional do Meio Ambiente 357/2005 para a classe de enquadramento proposta na PEI na condição atual e para as metas intermediária e final (CONAMA, 2005). Sendo importante salientar que o reservatório Pão de Açúcar possui menos parâmetros avaliados devido à escassez de dados de monitoramento, sendo justificado pela sua expressiva diminuição do seu volume útil nos anos em questão, devido a baixa precipitação no período.

Dessa forma, os corpos lânticos possuem uma vulnerabilidade quanto à degradação da qualidade de suas águas podendo destacar a variabilidade climática. Dentre muitos estudos que apontam o fa-

tor volume, a pesquisa realizada por Lima e colaboradores (2020) concluiu que o reservatório Pereira de Miranda, localizado no Ceará, sofreu uma deterioração da qualidade da água com a redução do volume no reservatório. Assim, visando possíveis efeitos dos volumes dos reservatórios nos valores encontrados do ICE, foram coletados dados históricos do volume por meio do Sistema de Acompanhamento de Reservatórios (SAR), disponibilizado pela ANA entre os anos de 2011 e 2019.

2.3 APLICAÇÃO DO ÍNDICE DE CONFORMIDADE AO ENQUADRAMENTO

O Índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE) desenvolvido pelo CCME verifica condição de conformidade da situação do corpo hídrico ao seu enquadramento segundo os usos preponderantes e os impactos causados pela desconformidade são compostos por três eixos: abrangência (F_1), frequência (F_2) e amplitude (F_3), como apresenta as equações a seguir:

Fator 1 (F_1) – Abrangência/Espaço – A porcentagem de variáveis que não atendem aos seus objetivos pelo menos uma vez durante o período de estudo, em relação ao número total de variáveis medidas.

$$F_1 = \left(\frac{\text{Número de variáveis que falharam}}{\text{Número total de variáveis}} \right) \times 100 \quad (1)$$

Fator 2 (F_2) – Frequência – a porcentagem de testes individuais que não cumpre os objetivos.

$$F_2 = \left(\frac{\text{Número de testes que falharam}}{\text{Número total de testes}} \right) \times 100 \quad (2)$$

Fator 3 (F_3) – Amplitude – este fato é calculado em três etapas que representa a quantidade pela qual o valor testado falhou, portanto, verifica a diferença entre o valor do parâmetro medido e o limite da classe, em conformidade com o objetivo pretendido da qualidade da água (OLIVEIRA *et al.*, 2018).

Na etapa 1 calcula-se o valor das variáveis:

$$\text{variação} = \left(\frac{\text{Valor testado que falhou}}{\text{Objetivo}} \right) - 1 \quad (3)$$

Em seguida, calcula-se a soma normalizada de variáveis como:

$$snv = \frac{\sum_{i=1}^n \text{variações}}{\text{número total de testes}} \quad (4)$$

Por fim, após a normalização pode-se calcular o fator F3:

$$F_3 = \left(\frac{snv}{0,01 \times snv + 0,01} \right) \quad (5)$$

Dessa forma, o valor do ICE será obtido pela equação a seguir:

$$ICE = 100 - \left(\frac{\sqrt{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}}{1,732} \right) \quad (6)$$

Os objetivos especificados nas equações são com base na classe de enquadramento proposto ao trecho, verificando o limite estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005.

Os valores do ICE são classificados em cinco categorias em que se assume valor entre 0 e 100, como apresenta na Tabela 3:

Tabela 3 – Categorias de qualidade da água aplicadas aos reservatórios da bacia hidrográfica do rio Ipojuca, Pernambuco, após o cálculo do Índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE)

EXCELENTE (95-100)	A qualidade da água é protegida, ausência de ameaça ou impacto virtual
BOM (80-94)	A qualidade da água é protegida, apresenta somente um grau pequeno de ameaça ou impacto
MEDIANO (65-79)	A qualidade da água é geralmente protegida, mas ameaçada ocasionalmente ou danificada
MARGINAL (45-64)	A qualidade da água é frequentemente ameaçada ou danificada
RUIM (0-44)	A qualidade da água quase sempre é ameaçada ou danificada

Fonte: Adaptado do CCME (2003).

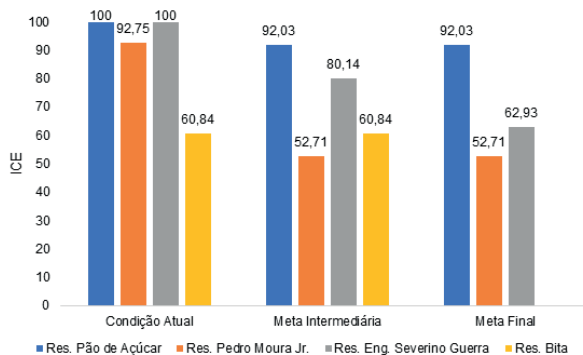
Portanto, quanto mais próximo de 100, mais o ponto de monitoramento estará de acordo com o enquadramento do trecho do corpo hídrico, em contrapartida, valores mais baixos, demonstram a vulnerabilidade e a distância entre a condição atual e a meta estabelecida pelo enquadramento para aquele rio. Para o cálculo do ICE utilizou-se os parâmetros de monitoramento obtidos do banco de dados do monitoramento sistemático da APAC e calculado o ICE para o enquadramento proposto para a condição atual e metas intermediária e final.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados do ICE para os reservatórios Pão de Açúcar, Pedro Moura Júnior, Engenheiro Severino Guerra e Bitá são apresentados na Figura 2 e permitem avaliar a situação dos reservatórios quanto à classe de enquadramento proposta em três momentos: condição atual, meta intermediária e final, de 2011 a 2019.

Os menores valores de ICE são pontos que necessitam de maior fiscalização e ações para que possam atender aos limites estabelecidos na PEI do rio Ipojuca. É importante salientar que não foi obtido resultado do ICE para a meta final do reservatório Bitá devido ao enquadramento proposto pela PEI ser classe especial, para a qual não há limites estabelecidos na Resolução nº 357/2005.

Figura 2 – Índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE) para condição atual e metas intermediária e final entre 2011 e 2019, dos reservatórios da bacia hidrográfica do rio Ipojuca, Pernambuco



Fonte: Dados da pesquisa.

Na Tabela 4 é apresentado um panorama geral onde se observa a classificação da água apontada pela PEI no trecho em que o reservatório está inserido e a classificação obtida em função dos dados de salinidade do monitoramento sistemático obtido da APAC, além dos dados de enquadramento reportados na PEI e ICE calculado.

Tabela 4 – Panorama geral dos reservatórios da bacia hidrográfica do rio Ipojuca, Pernambuco

Reservatórios	Tipo de água		Enquadramento PEI		ICE	
	PEI	Dados da APAC	Meta intermediária	Meta final	Meta intermediária	Meta final
Pão de Açúcar	Doce	Salobra	SE	SE	92,03	92,03
Pedro Moura Jr.	Doce	Salobra	Classe 3	Classe 3	52,71	52,71
Eng. Severino Guerra	Doce	Doce	Classe 3	Classe 2	80,13	62,93
Bitá	Doce	Doce	Classe 1	Classe Especial	60,84	-

APAC: Agência Pernambucana de Águas e Clima; PEI: Proposta de Enquadramento dos corpos d'água da bacia hidrográfica do rio Ipojuca; ICE: Índice de Conformidade ao Enquadramento; SE: Sem Enquadramento
Fonte: Dados da pesquisa.

Observa-se uma divergência entre a classificação do tipo de água para os reservatórios Pão de Açúcar e Pedro Moura Jr. De acordo com a Tabela 4, verificou-se divergência entre o tipo de água que consta no relatório final (RF) da PEI para o trecho do rio em que o reservatório está inserido e o tipo de água obtido em função dos dados de salinidade disponibilizados pela APAC. Vale salientar que essa divergên-

cia existe devido ao fato da PEI considerar o trecho em que o reservatório está inserido e os dados de monitoramento da qualidade da água corresponderem às amostras coletadas no próprio reservatório.

observa-se que, analisando os dados de salinidade do monitoramento sistemático da qualidade de água do reservatório Pão de Açúcar foram coletadas 31 amostras de água nesse mesmo período e todas apresentaram o valor de salinidade superior a 0,5 e inferior a 30, portanto caracterizadas como águas salobras, segundo definido no art. 2, da resolução CONAMA 357/2005.

Todavia, para o ICE, foi considerado o enquadramento da PEI, ou seja, água doce e enquadramento na classe 4, para a condição atual. Para as metas intermediária e final, o trecho no qual está inserido o reservatório Pão de Açúcar apresentou-se sem enquadramento (Tabela 4). Entretanto, para efeito deste estudo e ser possível calcular o ICE, considerou-se o que diz a legislação quando não há enquadramento: classe 2 para as águas doces, exceto se as condições de qualidade atuais forem superiores, o que determinará na aplicação da classe mais rigorosa.

Ainda de acordo com a Figura 2, pode-se constatar que o valor de 100 obtido do ICE para o Pão de Açúcar, na condição atual, ocorre quando não há nenhum parâmetro em desacordo com os limites propostos na Resolução nº 357/2005. Para as metas intermediária e final foi de 92,03, sendo classificada como “excelente”, portanto, seu enquadramento está próximo a atender os limites estabelecidos para a classe 1, já que a PEI não aponta nenhuma classe de enquadramento para esse trecho.

Análogo ao reservatório Pão de Açúcar, no reservatório Pedro Moura Júnior encontrou-se divergência entre a classificação do tipo de água obtida na PEI para o trecho de rio no qual o reservatório está inserido e a obtida a partir dos dados do monitoramento sistemático da qualidade da água do reservatório. Observou-se que as águas do reservatório Pedro Moura Júnior são definidas como águas salobras, baseando-se no valor de salinidade observado no mesmo período (2011 a 2019). Neste intervalo de tempo, foram coletadas 33 amostras de água, todas apresentaram o valor da salinidade maior que 0,5 e inferior a 30. Pelo panorama observado na Tabela 4, verificou-se que as águas do reservatório Pedro Moura Júnior foram enquadradas pela PEI como classe 3 e classificada como água doce, tanto para meta intermediária, como também para a meta final.

Os resultados para a condição atual foi de 92,75 (classe 4) (Tabela 1), portanto, próximo de atingir o objetivo de atender ao enquadramento desta classe. Entretanto, para as metas intermediária e final o resultado obtido foi de 52,71, sendo classificado como “Marginal” e sendo necessário diversos investimentos na bacia hidrográfica para que a qualidade da água dos corpos hídricos apresente melhores resultados.

O trecho em que o reservatório Engenheiro Severino Guerra está inserido foi classificado como de água doce na PEI, cuja confirmação foi obtida com a análise dos disponíveis de qualidade de água no período de 2011 a 2019, os quais apresentaram 33 amostras em cada ano, sendo todas com valor de salinidade inferior a 0,5. Conforme apresentado no Tabela 1, na condição atual é enquadrado, segundo a PEI, como classe 4, enquanto na meta intermediária é classe 3 e meta final classe 2, e suas águas são destinadas ao abastecimento para consumo humano, irrigação, dessedentação animal, pesca e recreação.

O resultado obtido do ICE para o reservatório foi de respectivamente 100, 80,14 e 62,93 (Figura 2), portanto, de acordo com valor encontrado do ICE, a classe 4 satisfaz a condição atual do reservatório, se apresentando na categoria “Excelente”. Na meta intermediária, o reservatório foi classificado como “Bom”, conforme Tabela 4 e, deste modo, as águas do reservatório estão próximas a atender as

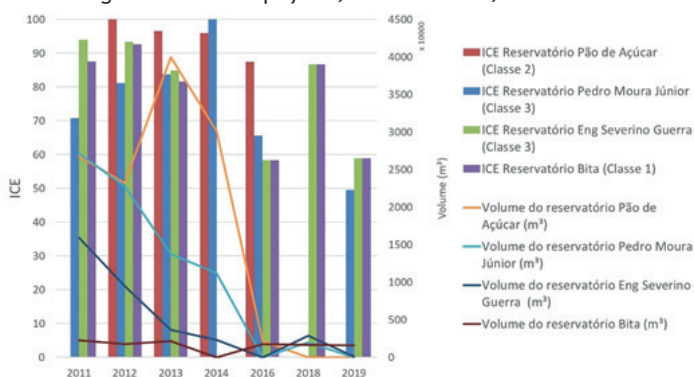
metas do enquadramento, apresentando um comportamento, em conformidade aos parâmetros estabelecidos para o trecho do rio em que está inserido. A meta final foi classificada como “Marginal”, portanto, bem distantes de atender a classe proposta, classe 2, necessitando de inúmeros investimentos para que atenda a este objetivo.

O trecho em que o reservatório Bita está inserido foi classificado como água doce na PEI, o que coincide com a classificação obtida em função dos dados de qualidade de água, pois apresentaram valor de salinidade inferior a 0,5 em 33 amostras coletadas no próprio reservatório no período de 2011 a 2019.

Dentre os reservatórios estudados, o Bita foi o que apresentou o enquadramento mais restritivo, por localiza-se no interior de uma Unidade de Conservação de Proteção Integral. O enquadramento proposto foi classe 1 na condição atual e para a meta intermediária, enquanto que na meta final foi enquadrado como classe especial. Os resultados obtidos do ICE apresentaram o valor de 60,84, tanto na condição atual como na meta intermediária, sendo, portanto, classificado como “Marginal”, e mais distante de atender as metas do enquadramento.

Na Figura 3 estão apresentadas a variação temporal do ICE para a meta intermediária e dos volumes dos reservatórios em estudo entre os anos de 2011 e 2019. Os volumes foram obtidos por meio do Sistema de Acompanhamento de Reservatórios (SAR), que consiste em um sistema operacional que reúne dados dos reservatórios do Brasil, disponibilizado pela ANA.

Figura 3 – Variação temporal do Índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE) e do volume, dos reservatórios da bacia hidrográfica do rio Ipojuca, Pernambuco, entre os anos de 2011 e 2019



Fonte: Dados da pesquisa.

Vale ressaltar que, para os anos de 2015 e 2017 não foram obtidos dados históricos do monitoramento da qualidade da água para os reservatórios estudados, o que fez com que não fosse possível o cálculo do ICE para estes anos.

Observa-se ainda na Figura 3 que o volume dos reservatórios foi um fator de grande influência nos valores do ICE, que pode ser reflexo do baixo volume das águas do reservatório nesse período, pois à medida que diminui a incidência de chuvas há uma piora na qualidade de água do reservatório e,

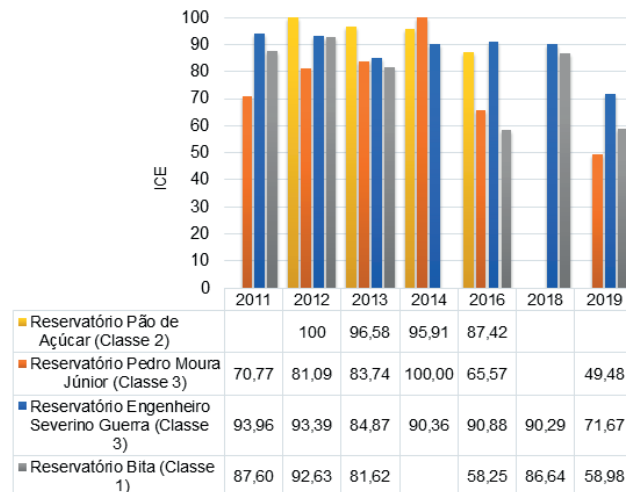
consequentemente, o valor do ICE tende a diminuir. No trabalho realizado por Oliveira e colaboradores (2018), constatou-se que para o reservatório Engenheiro Severino Guerra, à medida que o volume aumenta pode ocorrer uma ação diluidora da chuva aliado aos fatores morfométricos da bacia.

Em destaque o reservatório Bita (Figura 3) que apresentou uma melhora no valor encontrado do ICE no ano de 2018, apesar da não observância de aumento de volume, no entanto, em 2019, observou-se um maior percentual de inconformidade (ICE menor), o que pode ser justificado pela influência do aglomerado urbano.

Nesse contexto, destaca-se a demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e a clorofila A com elevados valores e, além disso, o oxigênio dissolvido (OD), que no ano de 2016 apresentou um valor oito vezes menor que o limite mínimo aceitável para classe de enquadramento proposta, como parâmetros que contribuíram significativamente para uma piora do ICE neste reservatório. Sendo necessário, portanto, um controle mais rigoroso das fontes de poluição e um maior comprometimento do órgão gestor em investir em programas e projetos que ajudem o corpo hídrico a atingir a meta almejada.

Na Figura 4 pode-se observar os valores da variação do ICE para a meta intermediária para cada ano.

Figura 4 – Variação temporal do Índice de Conformidade ao Enquadramento nos reservatórios da bacia hidrográfica do rio Ipojuca, Pernambuco



Fonte: Dados da pesquisa.

Para o reservatório Pão de Açúcar não foi possível calcular os valores do ICE para os anos de 2011, 2015, 2017 a 2019 por falta de dados de qualidade de água, sendo o reservatório que apresentou menor conjunto de dados. Todavia, os valores do ICE em geral se mantiveram na classificação como “bom”, portanto, encontram-se próximo a atender a classe 1, apesar disso, observa-se uma queda nos valores do ICE demonstrando uma tendência de degradação da qualidade da água. Os parâmetros que apresentaram desconformidades foi o oxigênio dissolvido, fósforo total e coliformes termotolerantes, que podem indicar influência de lançamento de efluentes e atividade agrícola na região.

O reservatório Pedro Moura Júnior apresentou os resultados não satisfatórios nos anos de 2016 e 2019, sendo este último classificado como marginal, desta forma mais distante de atender as metas do enquadramento proposto que foi de classe 3 pela PEI. Os parâmetros que apresentaram maior desconformidade com os limites estabelecidos pela Resolução nº 357/2005 foram fósforo total, cianobactérias e clorofila A. Observou-se também que no ano de 2014 o ICE apresentou um valor de 100, pois nenhum parâmetro estava em desacordo com os limites da classe proposta.

Para o reservatório Engenheiro Severino Guerra, análogo aos reservatórios já citados, não possui valores do ICE nos anos de 2015 e 2017, por falta de dados de qualidade da água. Além disso, constatou-se que no ano de 2019 apresentou o resultado mais distante do desejável, sendo classificado como “mediano”, sendo, portanto, uma preocupação devido a sua importância no abastecimento da região em que se encontra. Segundo Oliveira e colaboradores (2018) no reservatório Engenheiro Severino Guerra, nota-se a presença de atividades potencialmente poluidoras como áreas agrícolas e alguns núcleos urbanos, que podem impactar significativamente na qualidade de suas águas.

Para o reservatório Bitá, observou-se que nos anos de 2016 e 2019 foram encontrados os resultados mais desfavoráveis (58,25 e 58,98 respectivamente), principalmente por ser o reservatório com classe proposta mais restritiva por se encontrar no interior da Estação Ecológica Bitá e Utinga.

No entanto, com exceção dos anos citados (2016 e 2019), todos os anos apresentaram resultados satisfatórios próximos de alcançar o objetivo do enquadramento proposto. E semelhante aos reservatórios anteriores, por ausência de dados de qualidade da água, não foi possível obter os valores do ICE para os anos de 2014, 2015 e 2017.

4 CONCLUSÃO

O ICE foi eficaz em apontar a maior ou menor distância no atendimento da Proposta de Enquadramento da bacia do rio Ipojuca (PEI), estabelecendo dentre os reservatórios estudados aqueles que necessitam de maiores investimentos públicos para alcance das metas propostas. Vale ressaltar que houve divergência na classificação das águas do reservatório Pão de Açúcar e Pedro Moura Júnior obtida em função dos dados de salinidade do monitoramento sistemático da qualidade da água e apontada na PEI, tendo em vista que este considera o trecho em que o reservatório está inserido e não os dados de qualidade do próprio reservatório. Entretanto, esta condição não ocasionou nenhuma interferência na avaliação da proposta de enquadramento por meio do ICE apresentada neste estudo.

Outros pontos a destacar são: a influência do volume dos reservatórios na qualidade das águas e a piora da mesma ao longo dos anos, indicando a falta de intervenções que visam melhorar a qualidade da água nos trechos em estudo.

A implementação do enquadramento provoca um forte impacto e possíveis mudanças na gestão de recursos hídricos de uma bacia hidrográfica evidenciando a extrema necessidade de existir maior fiscalização dos corpos hídricos acerca da qualidade da água e regularidade no monitoramento para que assim exista um controle mais rigoroso dos usos múltiplos das águas.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, G. S.; OLIVEIRA, I. B. Application of the index WQI-CCME with data aggregation per monitoring campaign and per section of the river: case study—Joanes River, Brazil. **Environ Monit Assess**, v. 190, a. 195, 2018.
- AMARO, C. A.; PORTO, M. F. A. Proposta de um índice para avaliação da qualidade dos corpos hídricos ao enquadramento. In: XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. **Anais [...]**, Campo Grande, MS. 2009.
- ANA. Agência Nacional de Águas. **Panorama da Qualidade das águas superficiais do Brasil**. Brasília: 2012.
- APAC. Agência Pernambucana de Águas e Clima. **Proposta de enquadramento dos corpos d'água da Bacia Hidrográfica do Rio Ipojuca - Relatório Final**. Recife: APAC. 2019.
- ARAÚJO, M. P. DE. **A implantação da unidade de conservação estação ecológica Bita e Utinga da refinaria Abreu e Lima, no Porto de Suape-PE**. 2016. 121 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2016.
- BARBOSA, A. G. *et al.* Avaliação da sazonalidade da qualidade da água do açude da Macela em Itabaiana/SE. **Scientia cum Industria**, v. 7, n. 2, p. 24-31, 2019.
- BASTOS, S. Q. *et al.* Evidências entre a qualidade das bacias hidrográficas e as características dos municípios de Minas Gerais. **Reve Econ Sociol Rural**, v. 56, n. 1, p. 143-162, 2018.
- BILGIN, A. Evaluation of surface water quality by using Canadian Council of Ministers of the Environment Water Quality Index (CCME WQI) method and discriminant analysis method: a case study Coruh River Basin. **Environ Monit Assess**, v. 190, a. 554, 2018.
- BITENCOURT, C. *et al.* Panorama do enquadramento no Brasil: Uma reflexão crítica. **Rev Gest Água Am Latina**, v. 16, n. 1, p. 9-9, 2019.
- BRASIL. Lei nº 9.433 de 8 de janeiro de 1997. Institui a política nacional de recursos hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**. Seção 1. 09/01/1997. p. 470, 1997.
- CCME. Canadian Council of Ministers of the Environment. **Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life**. Winnipeg: CCME. 2003.

CNRH. Conselho Nacional de Recursos Hídricos. Resolução nº 91, de 5 de novembro de 2008. **Diário Oficial**, v. 2008, n. 053, p. 58-63, 2008.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005* (Retificada). **Conselho Nacional do Meio Ambiente**, n. 204, p. 36, 2005.

CORDEIRO-ARAÚJO, M. K. *et al.* Dinâmica fitoplanctônica relacionada às condições ambientais em reservatório de abastecimento público do semiárido brasileiro. **Rev Bras Ciên Agr**, v. 5, n. 4, p. 592-599, 2010.

CPRH. Agência estadual de Meio Ambiente. **Bacias Hidrográficas**. 2021. Disponível em: <http://www2.cprh.pe.gov.br/monitoramento-ambiental/qualidade-da-agua/bacias-hidrograficas/>. Acesso em: 08 abr 2022

ISLAM, N. *et al.* Assessment of water quality in distribution networks through the lens of disinfection by-product rules. **Water SA**, v. 42, n. 2, p. 337-349, 2016.

LIMA, G. R. R. *et al.* O que comunicam os índices de qualidade de água e de estado trófico em um reservatório do semiárido brasileiro? **Rev. Geociênc**, v. 39, n. 1, p. 181-190, 2020.

MEMBERU, Z. *et al.* Evaluation of water quality and eutrophication status of Hawassa Lake based on different water quality indices. **Appl Water Sci**, v. 11, n. 3, p. 1-10, 2021.

OLIVEIRA, I. S. *et al.* Índice de Conformidade ao Enquadramento nos Reservatórios Jucazinho, Bituri, Botafogo e Pirapama, em Pernambuco, Brasil. **Rev Bras Geograf Física**, v. 11, n. 4, p. 1575-1584, 2018.

PERNAMBUCO. Plano Hidroambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Ipojuca. Tomo IV: Resumo Executivo. **Projetos Técnicos**, p. 1-92, 2010.

SILVA, B. M. **Modelagem hidrológica e hidrodinâmica para avaliação de inundações na zona urbana de Caruaru, PE**. 2019. 108 f. Dissertação (Mestrado) – CTG, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife. 2019.

VON SPERLING, M. **Introdução a qualidade de água e tratamento de esgoto**. V. 1. 2. ed, Belo horizonre: DESA - UFMG, 2014.

Recebido em: 5 de Setembro de 2022

Avaliado em: 9 de Outubro de 2022

Aceito em: 6 de Novembro de 2022



A autenticidade desse artigo pode ser conferida no site <https://periodicos.set.edu.br>

1 Especialista em Sustentabilidade Urbana, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco, Recife, PE; Engenheira Sanitarista e Ambiental. ORCID 0000-0001-6512-933X. E-mail: fernandasobreira@gmail.com

2 Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco, Recife, PE; Químico. ORCID 0000-0001-6026-3724. E-mail: gvasco23@gmail.com

3 Doutora em Engenharia Civil. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco, Recife, PE; Engenheira Civil. ORCID 0000-0002-5795-1398. E-mail: ionarameh@recife.ifpe.edu.br

4 Doutora em Engenharia Agrícola, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco, Barreiros, PE; Engenheira Agrônoma. ORCID 0000-0002-9071-0676. E-mail: bianca.tavares@barreiros.ifpe.edu.br

5 Doutora em Ciência da Computação, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco, Recife, PE; Cientista da Computação. ORCID 000-0002-0322-6801. E-mail: aidaferreira@recife.ifpe.edu.br

Copyright (c) 2022 Revista Interfaces Científicas - Saúde e Ambiente



Este trabalho está licenciado sob uma licença Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.

