



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA RURAL
**CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA
AMBIENTAL**



**FOLHA DE APROVAÇÃO DE PROJETO FINAL
DE CURSO**

Trabalho defendido por **Pedro Henrique Ribeiro de Assis** às 14h30 do dia 25 de Setembro de 2024, em defesa oral presencial, nas dependências da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como requisito para conclusão do curso de Bacharelado em Engenharia Ambiental da Universidade Federal Rural de Pernambuco, intitulado “**Aplicação do índice de conformidade ao enquadramento – ICE em trecho da bacia do rio Ipojuca localizada em Pernambuco, Brasil.**”, orientado pela Profa. Rosângela Gomes Tavares (UFRPE/DTR) e co-orientado pelo Eng. José Luis Said Cometti e aprovado pela seguinte banca examinadora.

Prof. Thiago Cabral
Nepomuceno
UFRPE/DTR

Prof. Alex Souza Moraes
UFRPE/DEQ

APLICAÇÃO DO ÍNDICE DE CONFORMIDADE AO ENQUADRAMENTO – ICE EM TRECHO DA BACIA RIO IPOJUCA LOCALIZADA EM PERNAMBUCO, BRASIL

Application Of The Guideline Compliance Index (Ice) In A Section Of The Ipojuca
River Basin Located In Pernambuco

Pedro Henrique Ribeiro de Assis

RESUMO

O desenvolvimento das regiões urbanas e industriais ocasionaram significativos impactos na qualidade das águas doces, devido ao lançamento sem tratamento adequado de efluentes e despejo de resíduos. A consolidação de um enquadramento dos corpos hídricos é essencial para nortear o monitoramento de potenciais empreendimentos poluidores. No entanto, isto é limitado a metodologias que identifiquem a condição atual dos corpos d'água. O Índice de Conformidade ao Enquadramento – ICE realiza a caracterização da condição da qualidade de água conforme metas estabelecidas por legislação vigente. Para este estudo foi avaliado a conformidade com base nos limites estabelecidos para Classe 2 pela resolução Conama 357 de 2005. O presente trabalho realizou a aplicação do ICE em trecho da Bacia do Rio Ipojuca no estado de Pernambuco a fim comparativo com o procedimento da Agência Estadual de Meio Ambiente de Pernambuco – CPRH. Os dados no período de 2018 a 2023 para os pontos do rio Ipojuca selecionados provieram da CPRH e os indicadores escolhidos foram contrastados com base na resolução Conama 357 para o cálculo do ICE. Nenhuma estação está em conformidade com os padrões estipulados pela Classe 2 da Conama 357. Com base nos resultados obtidos todas as estações obtiveram médias do ICE em todo período apontando para uma condição de qualidade da água estando quase sempre em não conformidade. A estação IP-49 foi a que apresentou pior valor de ICE. As metodologias revelaram-se harmônicas em suas avaliações, baseando-se na média do ICE de cada estação durante o período de estudo e nas classificações predominantes determinadas anualmente pela CPRH.

Palavras-chave: qualidade; corpo hídrico; metodologias.

ABSTRACT

The development of urban and industrial regions has caused significant impacts on freshwater quality due to the discharge of untreated effluents and waste mismanagement. The establishment of a water body classification framework is essential for guiding the monitoring of potential polluting enterprises. However, this is often limited by methodologies that only assess the current condition of water bodies. The Guideline Compliance Index (ICE) characterizes the water quality conditions according to the regulatory targets set by current legislation. This study evaluated compliance based on the limits established for Class 2 by Conama Resolution 357 of 2005. The present work applied the ICE in a section of the Ipojuca River Basin in the state of Pernambuco, with a comparative analysis against the procedure used by the Pernambuco State Environmental Agency (CPRH). Data from 2018 to 2023 for selected points along the Ipojuca River were obtained from CPRH, and the chosen indicators were compared according to Conama Resolution 357 for the calculation of the ICE. None of the stations were in compliance with the standards stipulated for Class 2 by Conama 357. Based on the results obtained, all stations presented average ICE values throughout the period, indicating that water quality was almost always non-compliant. Station IP-49 exhibited the worst ICE value. The methodologies proved to be consistent in their assessments, based on the average ICE values of each station during the study period and the classifications predominantly determined annually by CPRH.

Keywords: quality; water body; methodology.

INTRODUÇÃO

Com o crescimento das atividades antrópicas que realizam a ocupação territorial do solo, diversos indicadores naturais apresentaram consequências negativas em suas propriedades, inclusive a qualidade das águas doces (REIS et al., 2016). Um dos fatores que contribuem para este cenário é a infraestrutura deficitária dos municípios mediante a coleta, tratamento e destinação final dos seus resíduos e efluentes (Oliveira et al., 2018).

A lei Federal nº 9.433 (Brasil, 1997) que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, estabelece o enquadramento dos corpos d'água, segundo os seus compatíveis usos preponderantes, como um instrumento desta norma. De acordo com o Relatório conjuntura de Recursos Hídricos do Brasil (ANA, 2021), o enquadramento dos corpos hídricos é essencial para assegurar a qualidade das águas no território nacional, a efetivação deste pode reduzir significativamente os custos ao combate à poluição hídrica.

Outro marco legal de suma importância para gestão dos recursos hídricos quanto à qualidade da água no Brasil é a Resolução Conama nº 357 (Brasil, 2005) que trata “sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes”. A condição da água pode ser classificada de acordo com a salinidade em três tipologias: doces, salobras e salgadas. As águas doces apresentam cinco classes de usos preponderantes (especial, 1, 2, 3 e 4), as salobras em quatro classes (especial, 1, 2 e 3) e as salinas também em quatro classes (especial, 1, 2 e 3).

O cenário frequente de lançamento de efluentes e poluição difusa advindas do uso e ocupação do solo nos perímetros das bacias hidrográficas ocasionam expressivos agravos na qualidade das águas (Okumura et al., 2020), sendo necessário o enquadramento unificado com o monitoramento dos corpos hídricos como uma ferramenta valiosa para assegurar a qualidade da água com seu uso preponderante (Barbosa; Santos; Michelan, 2019).

Apesar de sua relevância, o enquadramento não é devidamente aplicado no Brasil, em decorrência das dificuldades metodológicas para consolidação do enquadramento (Bitencourt; Fernandes; Gallego, 2019). Principalmente no que concerne ao diagnóstico da situação atual do corpo hídrico, o enquadramento apresenta muitas variáveis relevantes de qualidade da água e pode ser estruturado de distintas maneiras no tempo e no espaço (Faria, 2022).

No Brasil, até o ano de 2020, apenas 13 unidades federativas apresentaram atos normativos que enquadravam total ou parcialmente seus corpos d'água. Neste mesmo ano foram aprovados, na instância dos conselhos estaduais, regulamentações referentes ao enquadramento dos mananciais

hídricos das bacias do Recôncavo Sul e do Rio de Contas, pelo Conselho Estadual de Recursos Hídricos da Bahia (CONERH/BA), e dos rios Itapemirim, Novo, Jucu e São Mateus, pelo Conselho Estadual de Recursos Hídricos do Espírito Santo (CERH/ES) (ANA, 2021).

Considerando este contexto, surge o Índice de Conformidade de Enquadramento (ICE), originado em 1997 no Canadá. Seus parâmetros são apresentados pela diretriz canadense de qualidade da água - “Canadian Water Quality Guidelines”. O ICE foi desenvolvido pelos especialistas em recursos hídricos da Subcomissão Técnica de Qualidade da Água do Canadá, a “Canadian Council of Ministers of the Environment” (Silva, 2017).

O ICE fornece um meio conveniente de resumir dados complexos de qualidade da água e facilitar sua comunicação ao público em geral. Também vale ressaltar que o mesmo relaciona dados de monitoramento com padrões determinados pelas legislações vigentes. Desse modo, a aplicação do ICE permite a verificação do atendimento da qualidade da água ao enquadramento (CCME, 2017).

A Agência Estadual de Meio Ambiente de Pernambuco – CPRH realiza o monitoramento ambiental da qualidade da água das bacias hidrográficas do Estado. Atualmente, a CPRH junto com a Agência Pernambucana de Águas e Clima - APAC, conta com 138 estações de amostragem, sendo 54 de reservatórios e 84 pontos de rios, destacando-se nestes a Bacia do Rio Ipojuca (CPRH, 2020). A classificação das condições das bacias hidrográficas é nomeada em consonância com a Conama 357 (Brasil, 2005).

Assim, o objetivo deste escrito é realizar a aplicação do ICE em um trecho selecionado da Bacia do Rio Ipojuca em comparação com a metodologia da CPRH para avaliação e discussão de ambas as técnicas referentes à condição atual deste mesmo corpo hídrico.

METODOLOGIA

Caracterização de área de estudo

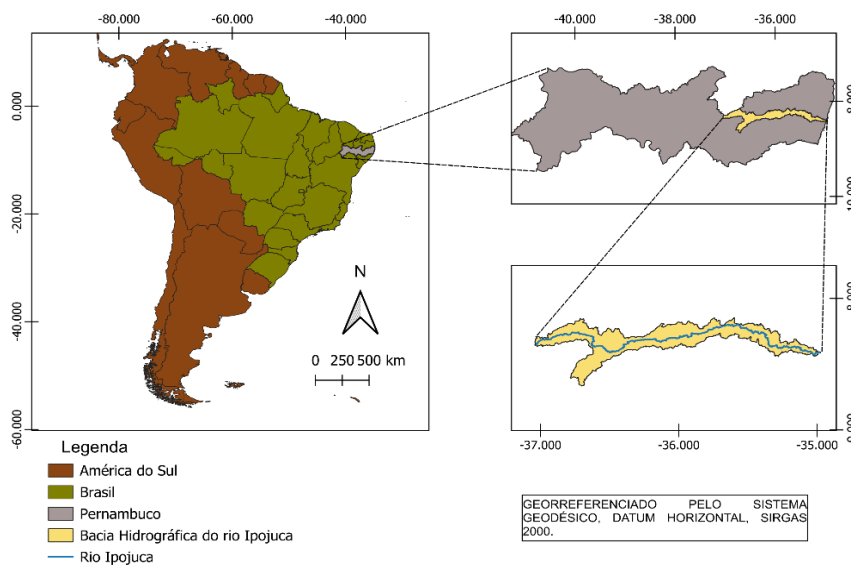
A Bacia do Rio Ipojuca abrange uma área de drenagem total de 3.514,35 km², englobando diversos municípios, como Alagoinha, Altinho, Amaraji, Arcoverde, Belo Jardim, Bezerros, Caruaru, Cachoeirinha, Chã Grande, Escada, Gravatá, Ipojuca, Pesqueira, Poção, Pombos, Primavera, Riacho das Almas, Sairé, Sanharó, São Bento do Una, São Caetano, Tacaimbó, Venturosa e Vitória de Santo Antão. Com uma população total de 568.630 habitantes, sendo 461.620 habitantes na área urbana e 107.010 habitantes na área rural (CPRH, 2019).

Os principais constituintes da bacia incluem o Riacho Ângelo Novo, Riacho da Onça, Riacho Mocós pela margem esquerda e Riacho do Mel, Riacho Papagaio pela margem direita. Além

disso, a bacia abriga vários reservatórios importantes, como Pão de Açúcar, Engenheiro Severino Guerra (Bitury), Manuíno, Taquara, Pintada, Belo Jardim, Brejão, Menino Cipó, Serra dos Cavalos, G. de Azevedo, Caroá Poção, Jenipapo, Boa Vista e São Caetano (Medeiros, 2020).

O rio Ipojuca é considerado o principal corpo hídrico da bacia, totalmente localizada em território pernambucano e situado entre os paralelos $8^{\circ} 09' 50''$ e $8^{\circ} 40' 20''$ de latitude sul, e os meridianos $34^{\circ} 57' 52''$ e $37^{\circ} 02' 48''$ de longitude a oeste de Greenwich, tendo cerca de 320 km de extensão. O regime fluvial é perene a jusante dos arredores da cidade de Caruaru, entretanto o manancial é majoritariamente intermitente. O rio Ipojuca perpassa algumas sedes municipais, sendo destaque: Bezerros, Caruaru, Escada, Chã Grande, Gravatá, Ipojuca, Primavera, São Caetano e Tacaimbó (Pernambuco, 2024). A figura 1 evidencia a localização da bacia hidrográfica do rio Ipojuca.

Figura 1 – Localização da bacia hidrográfica do rio Ipojuca, Pernambuco, Brasil



Fonte: Autor (2024)

Quanto ao uso do solo, a bacia apresenta uma diversidade de atividades, incluindo ocupação urbana e industrial, terras cultivadas com cana-de-açúcar, policultura, pecuária, além de territórios de Mata Atlântica e Manguezal. Há também áreas protegidas, como o Parque Ecológico João Vasconcelos Sobrinho, a Esec Bitá Utinga, a Área de Relevante Interesse Ecológico (ARIE) Ipojuca Merepe e a Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) Serra do Contento (Silva; França; Medeiros, 2019).

O uso da água na bacia é variado, sendo utilizada para abastecimento público, recepção de efluentes domésticos, agroindustriais e industriais. Quanto às atividades industriais, a bacia

apresenta uma gama diversificada de setores, incluindo produtos alimentícios, minerais não-metálicos, indústria sucroalcooleira, química, têxtil, metalúrgica, vestuário, couros, bebidas, farmacêutica, entre outros (CPRH, 2019).

De acordo com Sobral et al. (2005), as principais fontes poluidoras da bacia do rio Ipojuca são os lançamentos de efluentes industriais, despejo de esgoto doméstico não tratado e o descarte de resíduos sólidos nos leitos dos rios. O trabalho de Silva et al. (2011) reiterou que o esgoto doméstico e os efluentes industriais sem tratamento juntamente com os rejeitos urbanos e industriais são as principais fontes de degradação ambiental da bacia. Segundo Pernambuco (2020), os matadouros e os distritos agroindustriais do segmento sucroalcooleiro são os principais poluidores, devido à alta carga de seus efluentes.

O rio Ipojuca além de ser zona de lançamento de rejeitos domésticos, também é utilizado para despejo de efluentes provenientes de matadouros regularizados e clandestinos, vinhaça e água de lavagem de cana. Os limiares destas cargas poluidoras são oriundos dos empreendimentos situados nos municípios periféricos ao leito do rio (Pernambuco, 2010).

Em relação ao saneamento básico, no eixo de esgotamento sanitário, a bacia do rio Ipojuca em sua localidade urbana conta com: 22% da população apresentando rede coletora e tratamento para o esgoto gerado; 6% da população possui tratamento individual; e 72% da população urbana não possui coleta nem tratamento (Pernambuco, 2019). De acordo com o Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico (SINISA, 2023), os municípios, com dados disponíveis, que o rio Ipojuca percorre exibem informações de indicadores de esgoto conforme tabela 1 abaixo, referente ao atendimento, coleta e tratamento.

Tabela 1 – Atendimento, coleta e tratamento de esgoto em municípios que rio Ipojuca corta

Município	População Total (Hab)	Atendimento Total (%)	Coleta De Esgoto (%)	Tratamento Em Relação Ao Volume Coletado (%)	Esgoto Tratado (%)
Arcoverde	77.742	4,91	3,81	100	3,81
Belo Jardim	79.507	30,69	30,21	50	15,10
Caruaru	377.911	54,88	40,87	100	40,87
Chã Grande	20.546	65,22	41,40	33,33	13,80
Gravatá	86.516	21,64	12,89	100	12,89
Ipojuca	98.932	20,69	3,55	100	3,55
Pesqueira	62.610	78,55	100	0	0
Poção	10.500	99,99	100	0	0
São Bento do Una	49.370	98,48	100	0	0
Tacaimbó	13.738	42,03	51,69	100	51,69

Vitória de Santo Antão	134.084	28,76	27,50	100	27,50
------------------------	---------	-------	-------	-----	-------

Fonte: SINISA (2023)

Levantamento de dados

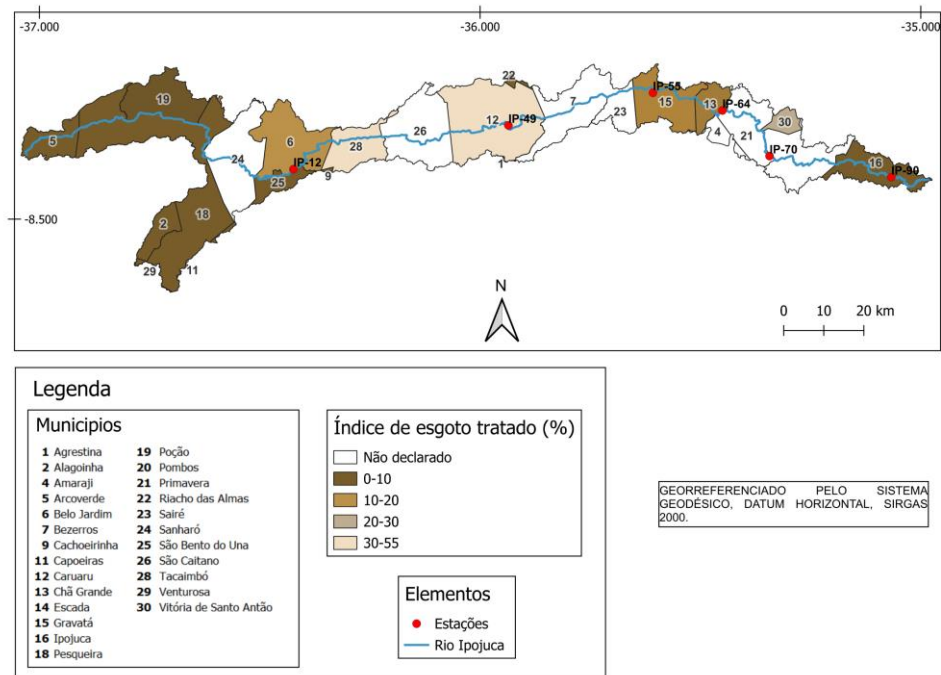
Os dados de qualidade da água das estações de monitoramento do rio Ipojuca utilizados para cálculo do ICE foram fornecidos pela Agência Estadual de Meio Ambiente de Pernambuco. As estações selecionadas juntamente com localização e corpo d'água respectivo constam no quadro 1. O período de estudo foi do ano de 2018 até 2023. A geolocalização das estações selecionadas juntamente com a indicação dos índices tratamento de esgoto em relação ao volume total de água consumida das cidades da bacia estão na figura 2.

Quadro 1 – Estações escolhidas para aplicação do ICE

Estação	Corpo d'água	Local
IP – 12	Rio Ipojuca	Na ponte da PE-180, que liga Belo Jardim de São Bento do Una.
IP – 49	Rio Ipojuca	A jusante da cidade de Caruaru, na Vila do Cedro (COAHB III), na cidade de Caruaru.
IP – 55	Rio Ipojuca	Na ponte da BR-232, a montante de Gravatá, no município de Gravatá.
IP – 64	Rio Ipojuca	Na ponte à jusante da cidade de Chã Grande, no município de Chã Grande.
IP – 70	Rio Ipojuca	Na ponte à jusante da Usina União Indústria, no município de Primavera.
IP – 90	Rio Ipojuca	Na ponte PE-60 à jusante da Usina Ipojuca, no município de Ipojuca.

Fonte: CPRH (2019)

Figura 2 – Estações selecionadas da bacia do rio Ipojuca



Fonte: Autor (2024)

Os parâmetros escolhidos para análise do índice de conformidade ao enquadramento foram: coliformes termotolerantes, nitrito, nitrato, demanda bioquímica de oxigênio, oxigênio dissolvido, pH, sólidos dissolvidos totais e turbidez. A seleção destes indicadores foi realizada em decorrência de seus limites estarem estipulados na Resolução Conama 357 (Brasil, 2005), visto a necessidade de padrões legais pré-estabelecidos para aplicação do ICE e, assim, a verificação do atendimento da qualidade da água ao enquadramento. Outro fator determinante foi a frequência dos dados disponíveis.

Metodologia da Agência Estadual de Meio Ambiente de Pernambuco – CPRH

A CPRH subdivide e monitora oito bacias hidrográficas que apresentam um quantitativo de rios, são estas: Goiana, Grupo de pequenos rios litorâneos (GL – 1), Capibaribe, Grupo de pequenos rios litorâneos (GL – 2), Ipojuca, Grupo de pequenos rios litorâneos (GL – 3), Sirinhaém, Una e São Francisco.

O monitoramento de cada rio é realizado por indicadores que traduzem a situação do corpo hídrico ou podem influenciar nos resultados, como se houve chuva nas últimas 24 horas naquela região; se há visualmente a presença de óleos, graxas, vegetação, poluição por esgoto ou resíduos sólidos; temperatura da água e do ar; pH; condutividade elétrica; cloreto; demanda bioquímica de oxigênio (DBO); oxigênio dissolvido (OD); coliformes termotolerantes; salinidade; cor; turbidez; nitrato; nitrito; sólidos dissolvidos; fósforo solúvel; entre outros parâmetros.

No Estado de Pernambuco não há o enquadramento de fato de seus mananciais hídricos e sim classificação da condição atual das águas naquele referente tempo e espaço. Assim, a CPRH segue o Art. 42 da Resolução Conama 357 (Brasil, 2005), no qual contém a citação “Enquanto não forem aprovados os respectivos enquadramentos, as águas doces serão consideradas Classe 2, as salinas e salobras classe 1”. Este norte legal também é citado na Resolução nº 91 Conselho Nacional De Recursos Hídricos (CNRH, 2008) que dispõe sobre procedimentos gerais para o enquadramento dos corpos de água superficiais e subterrâneos.

A classificação das condições de qualidade e os respectivos usos das águas doces no Estado seguem rotulações circunstanciais. A caracterização da condição no trecho de rio ou reservatório em questão é dada segundo sua propriedade mais comprometida naquela coleta. A qualificação dos corpos hídricos em Pernambuco é especificada no quadro 2.

Quadro 2 - Qualificação das águas doces segundo seus usos preponderantes

Classe	Usos preponderantes	Qualificação
Especial	Águas destinadas ao abastecimento para consumo humano, com desinfecção e à preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas.	Não comprometida
1	Águas destinadas ao abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado; à proteção das comunidades aquáticas; à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho; à irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e sejam	Não comprometida

	ingeridas cruas sem remoção de película e à proteção das comunidades aquáticas em terras indígenas.	
2	Águas destinadas ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional; à proteção das comunidades aquáticas; à recreação de contato primário tais como natação, esqui aquático e mergulho; à irrigação de hortaliças e plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; à aquicultura e à atividade de pesca.	Pouco comprometida
3	Águas destinadas ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado; à irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras; à pesca amadora; à recreação de contato secundário; e à dessedentação de animais.	Moderadamente comprometida

4	Águas destinadas à navegação e à harmonia paisagística.	Poluída
---	---	---------

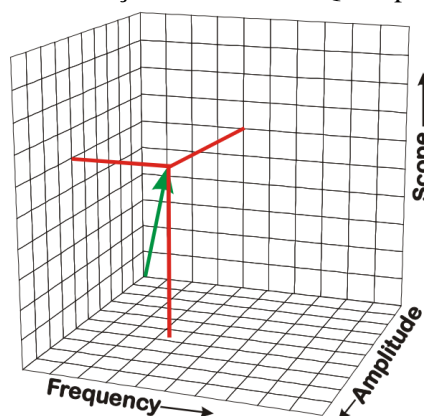
Fonte: CPRH (2020)

Índice de Conformidade do Enquadramento - ICE

O ICE é traduzido através do índice CCME WQI, este é uma estrutura matemática para avaliar as condições da qualidade da água de um determinado trecho de um corpo hídrico em relação aos padrões de qualidade vigentes em legislações sem depender do julgamento dos pesquisadores para atribuir essa caracterização. O CCME WQI também é considerado flexível em relação ao tipo e número de variáveis de qualidade da água a serem testadas, ao período de aplicação e ao tipo de corpo d'água (córrego, trecho de rio, lago, etc.) que será empregado (Oke; Sangodoyin; Omodele, 2017). Entretanto, o número de parâmetros recomendados para aplicação do CCME WQI, a fim de obter um resultado satisfatório para o diagnóstico do corpo hídrico, é entre oito e vinte (CCME, 2017).

O CCME WQI apresenta uma representação gráfica e tem composição por três fatores. Abaixo (Figura 3) é possível visualizar os fatores que resultam no CCME WQI no plano cartesiano.

Figura 3 – Demonstração do CCME WQI no plano cartesiano



Fonte: CCME (2017)

(1) Escopo: representa o valor em porcentagem do número de parâmetros que não atendem seus respectivos padrões ao menos uma vez, tendo como base o número de parâmetros totais medidos, conforme a equação 1.

Equação (1)

$$F_1 = \left(\frac{N^{\circ} \text{ de parâmetros em não conformidade}}{N^{\circ} \text{ total de parâmetros}} \right) \cdot 100$$

(2) Frequência: representa o valor em porcentagem da quantidade de vezes que os resultados dos parâmetros estiveram em desconformidade em relação ao número total de observações dos parâmetros medidos, como exibe a equação 2.

Equação (2)

$$F_2 = \left(\frac{N^{\circ} \text{ dos valores dos parâmetros em não conformidade}}{N^{\circ} \text{ total dos valores de parâmetros}} \right)$$

(3) Amplitude: representa a quantidade pela qual os resultados dos parâmetros falharam, ou seja, a diferença entre o valor observado e o valor desejado de acordo com o objetivo de qualidade da água. A amplitude é dimensionada em três etapas:

(3.1) O número de vezes em que a concentração individual excede o limite pré-determinado em legislação (equação 3a) ou menor, quando o objetivo é um mínimo estabelecido (equação 3b).

Equação (3a)

$$\text{variação} = \left(\frac{\text{valor testado que falhou}}{\text{Objetivo}} \right) - 1 \quad \text{Quando o valor ultrapassa o limite estabelecido}$$

Equação (3b)

$$\text{variação} = \left(\frac{\text{objetivo}}{\text{valor testado que falhou}} \right) - 1 \quad \text{Quando o valor do teste não deve ser abaixo do objetivo}$$

(3.2) O número total dos valores dos resultados dos parâmetros que apresenta ‘não conformidade’ é calculado somando-se as variações individuais de seus objetivos e dividido pelo número total de testes. Esta variável é denominada ‘soma normalizada das variações’ (snv), é apresentada na equação 4:

Equação (4)

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

(3.3) O valor de F3 é obtido pela snv dos objetivos, que são padronizados entre 0 e 100, como evidencia a equação 5.

Equação (5)

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

Por fim, o valor do índice CCME WQI é alcançado através da fórmula abaixo, sendo o fator 1,732 aplicado de forma a normalizar o resultado, devido ao fato de cada um dos três fatores individuais pode chegar a 100.

Equação (6)

$$CCME.WQI = 100 - \left(\frac{\sqrt{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}}{1,732} \right)$$

O ICE é baseado nos resultados da qualidade da água fornecidos pelo CCME WQI. As categorizações (Quadro 3) funcionam da seguinte maneira:

Quadro 3 – Categorização dos valores do ICE

NÍVEL DE QUALIDADE	FAIXA DE VALORES DO ICE	DESCRIÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA
EXCELENTE	100 - 95	A qualidade da água é protegida com uma ausência virtual de ameaça ou prejuízo; condições muito próximas aos níveis naturais ou primitivos.
BOM	94 - 80	A qualidade da água é protegida apenas com um grau menor de ameaça ou prejuízo; as condições raramente se afastam dos níveis naturais ou desejáveis.
RAZOÁVEL	79-65	A qualidade da água é geralmente protegida, mas ocasionalmente ameaçada ou prejudicada; as condições às vezes se afastam dos níveis naturais ou desejáveis.
MARGINAL	64-45	A qualidade da água é frequentemente ameaçada ou prejudicada.
RUIM	44-0	A qualidade da água está quase sempre em não conformidade.

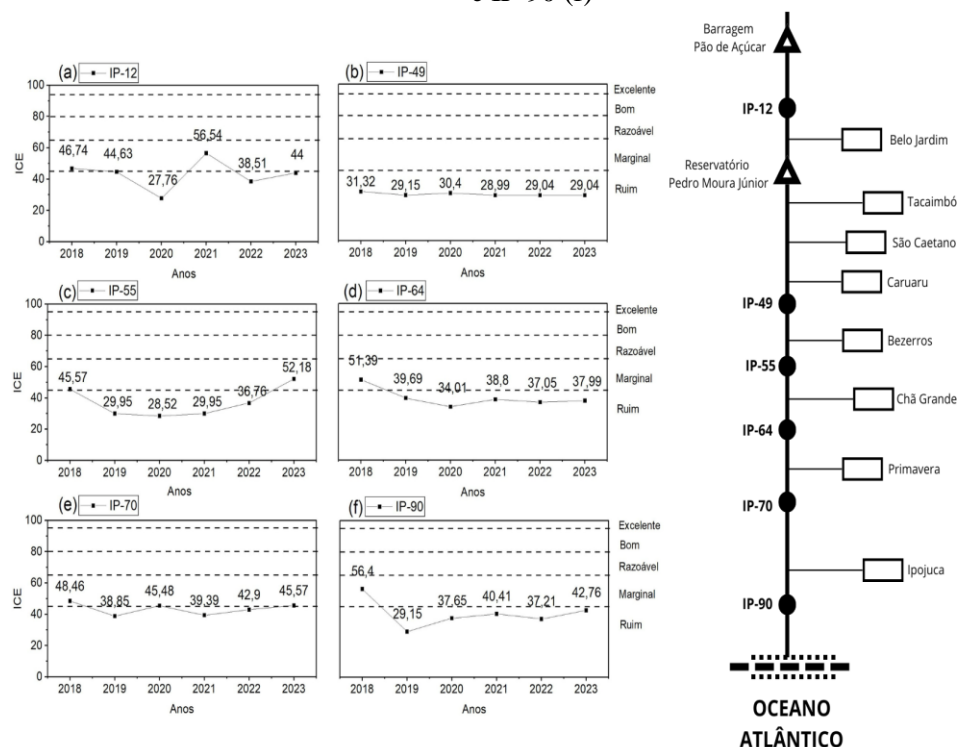
Fonte: Adaptado do CCME (2017)

A bacia do rio Ipojuca não há um enquadramento consolidado, ou seja, legalmente é considerada como um corpo hídrico de classe 2. Assim a aplicação do ICE para os parâmetros da qualidade da água escolhidos foram com limites comparativos referentes a classe 2 da Resolução Conama 357 (Brasil, 2005).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A apresentação do ICE para cada estação foi baseada em dois valores determinantes: a observação dos resultados do ICE anuais isolados, que compreende o período de 2018 a 2023, e a realização do cálculo de média destes valores anuais para as estações. A figura 4 apresenta o comportamento dos valores de ICE anuais para as seis estações analisadas neste estudo, juntamente com um corte do diagrama unifilar do rio.

Figura 4 – Variação de ICE anual para estação IP-12 (a), IP-49 (b), IP-55 (c), IP-64 (d), IP-60 (e) e IP-90 (f)



Fonte: Autor (2024)

A estação de monitoramento IP-12 durante o período de dados avaliados apresentou o média de ICE igual a 43,03, ou seja, uma qualidade de água categorizada como “ruim”, conforme Quadro 3. À luz da categorização da CPRH a condição da qualidade do rio Ipojuca neste ponto de coleta foi predominantemente “poluído” (Quadro 2). O comportamento anual dos valores do ICE nesta estação é identificado na figura 4 (a).

É possível observar na figura 4 (a) que no ano de 2018 para 2019, houve o declínio da

classificação “marginal” (Quadro 3) para “ruim” (Quadro 3), ou seja, a qualidade da água que já estava sendo constantemente prejudicada foi para quase sempre apresentando situação de inconformidade. O melhor valor anual encontrado é no ano de 2021, mesmo que não houvesse alteração na faixa “marginal” deste ponto de coleta. Isolando os anos de 2018 e 2021, a CPRH tituló a estação IP-12 em condição “poluída” (Quadro 2), evidenciando uma disparidade entre os dois métodos, pois o ICE indicou “marginal” na estação enquanto a CPRH determinou como “poluída” (Quadro 2). Os resultados seriam equitativos se houvesse: “marginal” (terceira classe do ICE) e “moderadamente comprometido” (terceira classe da CPRH) ou “ruim” (quarta classe ICE) e “poluída” (quarta classe CPRH).

Entretanto, caso considerado como base a média anual do ICE no período estudado (2018-2023) é possível detectar na estação IP-12 congruência entre os métodos da CPRH e o ICE, pois ambos definiram este ponto em suas piores rotulações. O ICE validou que a qualidade da água está quase sempre em não conformidade com a Resolução Conama n° 357 (BRASIL, 2005), (Quadro 3) e a CPRH definindo que o uso preponderante, conforme condição da água, deve ser unicamente para navegação e harmonia paisagística (Quadro 2).

Em relação aos indicadores que influenciaram a determinação da condição da água da estação IP-12 como “ruim” (Quadro 3) os que se destacaram foram os parâmetros de sólidos dissolvidos totais e o de oxigênio dissolvido que mais apresentaram desconformidades nos testes, sendo 18 e 17 violações respectivamente, conforme a tabela 2 expõe. Esses quantitativos de desconformidades interferem diretamente no fator frequência - F2 (equação 2).

É válido mencionar que os valores das quantidades de desconformidades nos testes correspondentes ao quantitativo 0 simbolizam que de todos os testes de medições do parâmetro nenhum apresentou desconformidade. Como é o exemplo do nitrato na estação IP-12 (tabela 2).

A média de todos os valores que não atenderam as exigências estabelecidas pela Resolução Conama n° 357 (Brasil, 2005) foram de 1802,2 mg/L para sólidos dissolvidos totais e 2,16 para o oxigênio dissolvido (tabela 2). As extrapolações desses valores inferem no fator amplitude – F3 (equação 5).

Tabela 2 – Comportamento na estação IP-12 das desconformidades nos parâmetros analisados

Parâmetros	Quantidade de Desconformidades Nos Testes	Média dos Resultados Desconformes	Limite Estipulado pela Conama 357 para Classe 2 (Brasil, 2005)
Coliformes Termo. (Nmp/L)	12	4150	1000

Nitrato (mg/L N)	0	0	10
DBO (mg/L)	13	6,74	5
Nitrito (mg/L N)	0	0	1
OD (mg/L)	17	2,16	5
pH	0	0	6 A 9
SDT (mg/L)	18	1802,2	500
Turbidez (NTU)	1	200	100

Fonte: Autor (2024)

Diante deste contexto surge o questionamento das possíveis fontes poluidoras para este cenário de qualidade da água. O indicador de sólidos dissolvidos totais pode ser oriundo de fontes naturais ou antrópicas, como processos erosivos do solo ou lançamento de efluentes domésticos respectivamente. Sedimentos urbanos transportados pela chuva, advindos de construções e varrição, também podem ser citados (Amorim et al., 2016). Em regiões que ocorrem atividades agropecuárias, o carreamento para o leito do rio pode também ocasionar uma significativa alteração nos valores de sólidos dissolvidos totais. (Nunes et al., 2015).

O parâmetro de oxigênio dissolvido é fundamental para manutenção de vida aquática, sendo essencial para autodepuração de qualquer corpo hídrico (CETESB, 2024). A redução deste parâmetro na água pode ser associada a alta concentração de matéria orgânica biodegradável no meio, pois existe proliferação de bactérias consumidoras de oxigênio na água. Este material orgânico pode ser advindo pelo lançamento de esgoto bruto (Nozaki et al., 2014).

Dessa forma é possível conjecturar que as inconformidades nos sólidos dissolvidos totais e no oxigênio dissolvido, parâmetros determinantes para uma condição da água taxada como “ruim” (Quadro 3) pelo ICE na estação IP-12, podem ser originadas de lançamento de efluente bruto no rio Ipojuca. Devido ao fato da estação está no intermédio de Belo Jardim e São Bento do Una, e estes municípios surpreendentemente exibem apenas 15,1% e 0% (Tabela 1) respectivamente do tratamento do total de esgoto gerado.

A estação IP-49 exibiu média de ICE nos anos avaliados de 29,67. Valor concernente ao ítem “ruim” (Quadro 3). Entretanto, a demanda bioquímica de oxigênio, sólidos dissolvidos totais e coliformes termotolerantes também apresentaram violações frequentes em seus quantitativos. A CPRH determinou esta estação em condição de “poluído” (Quadro 2). A figura 4 (b) mostra os valores do ICE conforme os anos de estudo.

Através da observação do gráfico é visto que não houve oscilações na classificação em nenhum ano, ou seja, em todo o período de estudo houve a permanência da faixa “ruim” (Quadro 3) na estação IP-49. Logo, a metodologia da CPRH e o ICE estão em consonância entre si, tanto

em classificação anual individual quanto na média da estação obtida em todo o período.

O indicador que teve maior frequência de desconformidade foi o oxigênio dissolvido, exibindo 22 descumprimentos em sua totalidade, conforme a tabela 3. A demanda bioquímica de oxigênio e os coliformes termo tolerantes apresentaram um quantitativo de 21 e 20 respectivamente. Todos estes resultados contribuíram para alteração do fator frequência - F2 (equação 2) em cálculo do ICE.

A influência na amplitude – F3 (equação 5), pode ser observada nas médias dos valores de cada parâmetro. O oxigênio dissolvido expondo apenas 0,05 mg/L, a demanda bioquímica de oxigênio com 55,3 mg/L e os coliformes termo tolerantes 160.000 nmp/L, de acordo com a tabela 3.

Tabela 3 – Comportamento na estação IP-49 das desconformidades nos parâmetros analisados

Parâmetros	Quantidade de desconformidades nos testes	Média dos resultados desconformes	Limite estipulado pela Conama 357 para classe 2 (Brasil, 2005)
Coliformes Termo. (Nmp/L)	20	160000	1000
Nitrato (mg/L N)	0	0	10
DBO (mg/L)	21	55,3	5
Nitrito (mg/L N)	0	0	1
OD (mg/L)	22	0,05	5
pH	0	0	6 a 9
SDT (mg/L)	21	1052,4	500
Turbidez (NTU)	0	0	100

Fonte: Autor (2024)

A estação IP-49 está situada a jusante do município de Caruaru. Localidade característica de presença de atividade industrial, principalmente se destacando por ser um dos maiores polos de confecção têxtil do Agreste Pernambucano (Santos, 2023). De acordo com Mousavi et al. (2019) um dos maiores agentes poluidores no efluente têxtil é o corante. Esta indústria utiliza cerca de 10.000 corantes distintos que quando lançados sem um tratamento adequado em um corpo hídrico estimula o processo de eutrofização e, conseqüentemente, o consumo do oxigênio dissolvido disponível naquele ambiente (Roy et al., 2018).

O despejo de matéria orgânica acarreta um aumento na demanda bioquímica de oxigênio no meio, consolidando uma situação de poluição em um corpo hídrico (ANA, 2024). Os coliformes termotolerantes são microrganismos capazes de fermentar lactose entre 44-45 °C e são indicadores indiretos de contaminação recente por fezes de humanos, mamíferos em geral e pássaros (Von

Sperling, 2014).

A cidade de Caruaru também apresenta um centro urbano consideravelmente desenvolvido com um quantitativo de 377.911 habitantes e apenas 40,87% (Tabela 1) do esgoto da cidade é coletado, apesar de 100% do coletado receber tratamento, 59,13% são descartados no meio ambiente, prioritariamente nos corpos hídricos, sem nenhum tipo de tratamento. Logo, é possível associar que a qualidade da água rotulada como “ruim” (Quadro 3) pelo ICE e “poluída” (Quadro 2) pela CPRH é advinda de lançamento de efluente industrial e/ou doméstico no rio Ipojuca. Visto que os parâmetros de oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio e coliformes termotolerantes serem os que mais apresentaram frequência de desconformidade, o que corrobora para esta dedução.

Além desta estação exibir valores alarmantemente baixos de oxigênio dissolvidos e altíssimos de demanda bioquímica de oxigênio comparados ao que a legislação estabelece. Apresentando média das desconformidades de oxigênio dissolvido correspondente a 0,05 mg/L e da demanda bioquímica de oxigênio de 55,3 mg/L, como mostra a tabela 3. Essa discrepância é notada quando visto que a Resolução Conama 357 (BRASIL, 2005) estipula um limite mínimo de 5 mg/L para o oxigênio dissolvido e um máximo de 5 mg/L para a demanda bioquímica de oxigênio (tabela 3). A realidade deste cenário é compreendida como resultado do descarte de esgoto bruto a montante do ponto IP-49.

É pertinente mencionar da mesma forma que a estação IP-49 foi a que obteve valores do ICE mais baixos em relação às outras nos anos avaliados. Este resultado é coerente perante aos distúrbios de cargas poluidoras que este ponto está exposto. O trabalho de Ribeiro (2020) também validou esta hipótese, pois o mesmo realizou uma análise de evolução espaço temporal na qualidade da água na bacia hidrográfica do rio Ipojuca, por meio dos dados do monitoramento realizado pela CPRH e a APAC no período de 2009 e 2018. Um dos índices utilizados pela autora foi o IQA. A estação IP-49 foi a que obteve piores resultados do IQA. Este fato foi justificado exatamente devido à grande ocupação urbana e intensa atividade industrial da região. Situação associada justamente a um alto volume de esgotos domésticos e industriais lançados diretamente no rio Ipojuca, favorecendo a degradação deste corpo hídrico.

A estação IP-55 atingiu média de ICE no intervalo determinado de 37,15, ou seja, localizada na qualificação do “ruim” (Quadro 3). A CPRH classificou esta estação no mesmo período como “poluída” (Quadro 2). Os valores do ICE no decorrer dos anos de 2018 a 2023 estão inseridos na figura 4 (c).

Em análise de gráfico da figura 4 (c) é compreendido que os anos de 2023 e 2018 foram os melhores deste ponto de coleta. No qual houve o declínio em 2019 para faixa “ruim” (Quadro 3) e um aperfeiçoamento do ano de 2022 para o de 2023 alcançando o melhor valor de ICE na estação IP-55.

Nos anos de 2018 e 2023 ocorreu distinção entre o resultado classificatório do ICE e da CPRH, em razão de nestes anos o ICE apontar para uma condição da qualidade da água como “marginal” (Quadro 3) enquanto a CPRH designa estes anos como “poluídos” (Quadro 2). Entretanto, ao visualizar a média dos valores de todo o período do ICE, há concordância entre ambas as metodologias para qualificação do estado do rio Ipojuca na estação.

O indicador com maior frequência de delito aos padrões estabelecidos pela resolução Conama n° 357 (BRASIL, 2005) foi o de sólidos dissolvidos totais com 20 repetições em seus valores, como mostra a tabela 4. A média dos valores desconformes está situado 1.112 mg/L. O oxigênio dissolvido apresentou 18 violações em seus resultados, exibindo média de 3,55 mg/L, conforme a tabela 4.

Tabela 4 – Comportamento na estação IP-55 das desconformidades nos parâmetros analisados

Parâmetros	Quantidade de desconformidades nos testes	Média dos resultados desconformes	Limite estipulado pela Conama 357 para classe 2 (Brasil, 2005)
Coliformes Termo. (Nmp/L)	15	16000	1000
Nitrato (mg/L N)	1	1.650	10
DBO (mg/L)	16	12,7	5
Nitrito (mg/L N)	0	0	1
OD (mg/L)	18	3,55	5
pH	0	0	6 a 9
SDT (mg/L)	20	1112	500
Turbidez (NTU)	0	0	100

Fonte: Autor (2024)

A estação IP-55 está a montante do município de Gravatá e a jusante de Bezerros. A cidade de Bezerros não apresenta dados pelo SINISA. No entanto, a Agência Nacional de Águas (ANA, 2017) divulgou em seu “Atlas Esgotos” que do total de esgoto gerado na região cerca de 78,9% é coletado, mas criticamente não passa por tratamento adequado, ao mesmo tempo que 17,0% não é coletado e nem tratado e 4,1% são destinados aos sistemas individuais, que compreendem o lançamento de esgotos sem tratamento, a utilização de fossa rudimentar e a utilização de fossa séptica e sumidouro. A localidade também apresenta empreendimentos de alto potencial poluidor, como abatedouros, incubadoras, além, de ser uma zona homogênea de pecuária de corte (CPRH,

2019).

Com isso, é plausível conjecturar que a condição da qualidade da água ser predominantemente titulada como “ruim” (Quadro 3) pelo ICE é procedente de descargas de esgotos e efluentes industriais sem tratamento adequado. Além do carregamento, devido a zona de pecuária de corte, de sedimentos com cargas orgânicas expressivas. Isto é ratificado com o parâmetro de sólidos dissolvidos totais em constante inconformidade e também o oxigênio dissolvido, ocupando o segundo lugar em indicador mais violado para a estação IP-55.

A estação IP-64 exibiu média de ICE para os respectivos anos de 39,82, representado na condição “ruim” (Quadro 3). A classificação da CPRH atribuída para este ponto é “poluída” (Quadro 2). O comportamento gráfico para esta estação está na figura 4 (d).

No exame do gráfico na figura 4 (d) é perceptível que a maioria dos anos estão situados na faixa “ruim” (Quadro 3), exceto o período de 2018 que consta como “marginal” (Quadro 3) após declinar em 2019. As qualificações do ICE e da CPRH estão em consonância para média de todo período e também na generalidade dos anos isolados, com exceção de 2018 que estava em zona “marginal” (Quadro 3) pelo ICE e “poluída” (Quadro 2) pela CPRH.

O parâmetro encontrado em maior frequência de desconformidade foi o de coliformes termotolerantes, apresentando um quantitativo de 18 violações. Na segunda colocação de repetição foi os sólidos dissolvidos totais. A média destes resultados foram de 24000 nmp/L e 872,6 mg/L respectivamente, como está exposto na tabela 5.

Tabela 5 – Comportamento na estação IP-64 das desconformidades nos parâmetros analisados

Parâmetros	Quantidade de desconformidades nos testes	Média dos resultados desconformes	Limite estipulado pela Conama 357 para classe 2 (Brasil, 2005)
Coliformes Termo. (Nmp/L)	18	24000	1000
Nitrato (mg/L N)	0	0	10
DBO (mg/L)	8	10,55	5
Nitrito (mg/L N)	0	0	1
OD (mg/L)	10	2,45	5
pH	0	0	6 a 9
SDT (mg/L)	16	872,6	500
Turbidez (NTU)	0	0	100

Fonte: Autor (2024)

A estação IP-64 está a jusante da cidade de Chã Grande que apresenta uma população total de aproximadamente 20.546 habitantes e apenas 13,8 % (Tabela 1) do esgoto produzido recebe o

tratamento adequado, ou seja, 86,2% seguem para o meio ambiente sem nenhum tratamento. Assim, é admissível que, com base na baixíssima taxa de tratamento de esgoto para a cidade e inconformidade frequente nos coliformes termotolerantes, a fonte de poluição mais expressiva neste ponto é originada por lançamento de esgoto bruto no rio Ipojuca.

A estação IP-70 apresentou média nos seis anos de análise do ICE equivalente a 43,44, ou seja, qualificada neste período em condição “ruim” (Quadro 3). A predominância da classificação da CPRH nesta estação é a condição da água como “poluída” (Quadro 2). Os resultados dos anos isolados constam na figura 4 (e).

Em visualização da figura 4 (e) é visto que a estação IP-70 foi a que mais apresentou variabilidade em seus dados. Esta esteve nos anos de 2018, 2020 e 2023 na zona “marginal” (Quadro 3) e 2019, 2021 e 2022 na faixa de estado “ruim” (Quadro 3). Logo, este ponto de coleta é o que consta com melhor conformidade de seus parâmetros, levando em consideração a sua superioridade em permanência na faixa “marginal” (Quadro 3) e, conseqüentemente, na média do ICE no período analisado.

Na comparação dos resultados da média de todos os anos do ICE e a hegemonia da determinação da CPRH neste mesmo período, nota-se que as técnicas estão em consenso. Entretanto, ao examinar os anos individualmente existem divergências entre as mesmas. A CPRH em 2018 e 2023 realizou quatro coletas em cada ano, dentre as quais, três foram consideradas “poluídas” (Quadro 2) e uma como “moderadamente comprometida” (Quadro 2). Em 2020 todas as coletas foram taxadas de “poluídas” (Quadro 2).

De acordo com a tabela 6, o parâmetro que mais esteve em desconformidade foi o de coliformes termotolerantes, exibindo frequência de 20 testes violados. A média desses valores apresentou resultado de 73000 nmp/L.

Tabela 6 – Comportamento na estação IP-70 das desconformidades nos parâmetros analisados

Parâmetros	Quantidade de desconformidades nos testes	Média dos resultados desconformes	Limite estipulado pela Conama 357 para classe 2 (Brasil, 2005)
Coliformes Termo. (Nmp/L)	20	73000	1000
Nitrato (mg/L N)	0	0	10
DBO (mg/L)	7	15,4	5
Nitrito (mg/L N)	0	0	1
OD (mg/L)	6	2,15	5
pH	1	5,1	6 a 9
SDT (mg/L)	0	0	500
Turbidez (NTU)	2	139	100

Fonte: Autor (2024)

A estação IP-70 está a jusante da Usina União (CPRH, 2019) e situada no município de Primavera. Não há informações de coleta e tratamento de esgoto da cidade no SINISA, dificultando especulações da fonte poluidora no rio Ipojuca nas imediações deste ponto. No entanto, é possível afirmar que a contaminação é advinda de esgoto doméstico, devido ao fato do indicador determinante para uma média de ICE nesta estação de 43,44 ser o de coliformes termotolerantes.

O ponto IP-90 expôs média de ICE em todo o período de 40,59, ou seja, uma condição de propriedades qualitativas da água “ruim” (Quadro 3). A CPRH determinou esta estação como majoritariamente “poluída” (Quadro 2). A figura 4 (f) evidencia o desempenho desta estação no decorrer dos anos.

Em observação de figura 4 (f) é perceptível que a estação permaneceu predominantemente na faixa “ruim” (Quadro 3), exceto no ano de 2018 enquanto constou na “marginal” (Quadro 3). É pertinente avaliar que a estação IP-90 no ano de 2018 foi a que mais aproximou ambas as metodologias em termos da determinação da qualidade da água para um ano isolado. A CPRH efetuou quatro coletas em 2018, sendo classificadas duas como “poluídas” (Quadro 2) uma como “pouco comprometida” (Quadro 2) e outra “moderadamente comprometida” (Quadro 2). Assim como as outras estações, a média do ICE nos seis anos de estudo esteve em equivalência com as qualificações mais ordinárias estipuladas pela CPRH.

Em observação de tabela 7, é possível identificar que o indicador que esteve mais frequentemente em desconformidade foi o de coliformes termotolerantes com 18 inadequações em seus testes. A média destes valores foi de 54000 nmp/L.

Tabela 7 – Comportamento na estação IP-90 das desconformidades nos parâmetros analisados

Parâmetros	Quantidade de desconformidades nos testes	Média dos resultados desconformes	Limite estipulado pela Conama 357 para classe 2 (Brasil, 2005)
Coliformes Termo. (Nmp/L)	18	54000	1000
Nitrato (mg/L N)	0	0	10
DBO (mg/L)	10	24,25	5
Nitrito (mg/L N)	0	0	1
OD (mg/L)	12	1,1	5
pH	2	5,9	6 a 9
SDT (mg/L)	1	770	500
Turbidez (NTU)	2	237,5	100

Fonte: Autor (2024)

No que tange a fonte de poluição é possível deduzir, assim como grande maioria das estações, que ocorreu devido ao lançamento de esgoto doméstico. Devido ao fato desta estação está situada na cidade de Ipojuca, que realiza apenas 20,69% (Tabela 1) do tratamento de esgoto. O que é corroborado também pelo indicador de coliformes termotolerantes ser o mais frequentemente violado e também pelos seus valores estarem expressivamente maiores do limite estipulado pela Conama 357 (Brasil, 2005).

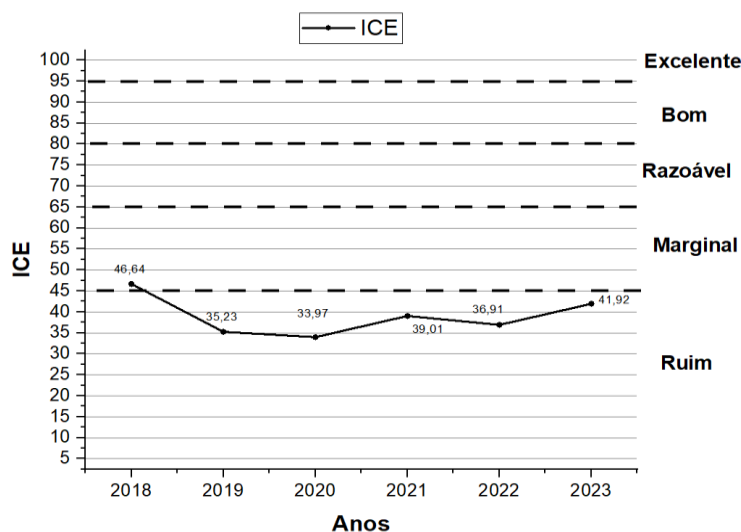
Ao observar o panorama de todas as estações selecionadas é constatado que a maior fonte de carga poluidora no rio é advinda de descargas com expressivas concentrações de matéria orgânica, alterando indicadores como oxigênio dissolvido, presença de coliformes termotolerantes, sólidos dissolvidos totais e demanda bioquímica de oxigênio. A autora Ribeiro (2020) afirmou que o esgoto doméstico representa mais da metade do aporte de carga orgânica lançada na bacia do rio Ipojuca, sendo um dos fatores determinantes para degradação dos corpos hídricos pertencentes a esta, em seguida pelos resíduos da atividade agroindustrial.

É válido mencionar que a medida que há a aproximação do litoral da Região Metropolitana do Recife - RMR o parâmetro de coliformes termotolerantes se torna líder em frequência de desconformidade. Esta situação ocorreu nas estações IP-64, IP-70 e IP-90. Enquanto mais próximo da nascente do rio Ipojuca um dos indicadores que mais se destacou é o de sólidos dissolvidos totais.

Em relação ao comparativo das metodologias do ICE e da CPRH foi identificado semelhanças e divergências em seus resultados. No entanto o ICE apresentou mais vantagem em sua aplicação, dado ao fato de ser mais objetivo e preciso. Devido a seu cálculo levar em consideração todos os parâmetros relacionados entre si, além de avaliar em sua qualificação o escopo (equação 1), a frequência (equação 2) e a amplitude (equação 5) das desconformidades. Enquanto a CPRH define a condição da água de maneira generalista.

No que tange às médias gerais do ICE de todas as estações por ano, é visto que o melhor valor de ICE em um ano foi encontrado em 2018 com resultado equivalente a 46,64, ou seja, em faixa “marginal” (Quadro 3). Enquanto o pior foi observado em 2020 com 33,97. Esta análise é exibida na figura 5.

Figura 5 – Gráfico constando resultados de média de ICE de todas as estações em relação ao ano



Fonte: Autor (2024)

A interpretação do comportamento da média do ICE de todas as estações para cada ano exposto na figura 5 é dependente de estudos para aprofundamento. É necessário visualizar a relação temporal para este período da pluviometria e do desenvolvimento urbano e industrial. A investigação da qualidade dos tratamentos dos efluentes domésticos e industriais também é essencial.

A atuação da pluviometria no ICE é característica para cada área de estudo. No trabalho de Oliveira, Panta, Barbosa e Silva (2018) o ICE foi aplicado nos reservatórios de Jucazinho, Bituri, Botafogo e Pirapama, em Pernambuco, constatado que o regime pluviométrico pode interferir tanto positivamente quanto negativamente, como agente diluidor ou transportador de poluentes. O escrito de Barbosa, Santos e Michelan (2019) que empregou o ICE em um açude localizado em Itabaiana no estado de Sergipe, mostrou que alguns parâmetros não apresentaram influência direta da sazonalidade temporal enquanto outros já são mais sensíveis.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pode-se considerar que as estações de coleta selecionadas para este trabalho, com base nos indicadores escolhidos para aplicação do ICE, não estão em conformidade com a Classe 2 estipulada pela resolução Conama 357. Todas as médias calculadas para cada estação no período referente ao ano de 2018 a 2023 constaram como “ruim”, ou seja, estão em circunstâncias em que a qualidade da água está quase sempre em não conformidade. As estações IP-12, IP-55, IP-64, IP-70 e IP-90 em seus resultados apresentaram algumas de suas qualificações anuais em estado “marginal”.

Conclui-se que as metodologias se mostraram congruentes em suas avaliações de cada estação, tendo como sustentação a média total do ICE no período de estudo (2018 – 2023) e as classificações majoritárias estipuladas pela CPRH anuais. Na observação do comportamento das estações nos anos isolados houveram divergências situacionais da qualidade da água. Em termos de aplicação de metodologias o ICE se mostrou mais preciso e objetivo nos resultados.

A conjectura para principal fonte poluidora nas estações foi o efluente doméstico, devido ao paralelo do déficit de tratamento de esgoto das cidades e também aos indicadores que exibiram maiores assiduidades em desconformidades. Além de haver legitimação da literatura. Foi verificado também que nas estações mais próximas ao litoral o indicador mais violado foi o coliforme termotolerante.

É pertinente mencionar que para uma consolidação e ampliação dos resultados obtidos no trabalho é necessário um aprofundamento nas investigações. A realização de um levantamento de dados primários nas estações é uma alternativa, como zoneamento ambiental destas, caracterização sedimentológica e identificação de grau de eficiência dos tratamentos de efluentes domésticos da área. Além de comparativos com outros procedimentos, como o IQA, e também tratamentos estatísticos nos dados brutos.

REFERÊNCIAS

AMARO, C. A., PORTO, M. F. A. Proposta de um índice para avaliação de conformidade da qualidade dos corpos hídricos ao enquadramento (Doctoral dissertation, Universidade de São Paulo). 2009.

AMORIM, D. G.; CAVALCANTE, P. R. S.; SOARES, L. S.; AMORIM, P. E. C. Enquadramento e avaliação do índice de qualidade da água dos igarapés Rabo de Porco e Precuá, localizados na área da Refinaria Premium I, município de Bacabeira (MA). Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 22, n. 02, p. 251-259, 2016.

ANA - Agência Nacional de Águas. Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2021: relatório pleno. Brasília: ANA, 2021.

ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Demanda bioquímica de oxigênio (DBO). Disponível em: <https://qualidadedaagua.ana.gov.br/dbo.html>. Acesso em: 9 set. 2024.

ANA - Agência Nacional de Águas. Ministério das Cidades. ATLAS ESGOTOS: DESPOLUIÇÃO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS. Brasília: ANA, 2017. Disponível em: <https://arquivos.ana.gov.br/imprensa/publicacoes/ATLASESGOTOSDespoluicaoBacias>

Hidrograficas-ResumoExecutivo_livro.pdf>

BARBOSA, Alan; SANTOS, Kelly; MICHELAN, Denise. Avaliação da Sazonalidade da Qualidade da Água do Açude da Macela em Itabaiana/SE. *Scientia cum Industria*. 7. 2019. 24-31. 10.18226/23185279. V7iss3p24.

BASSO, L. A.; MOREIRA, L. G. R.; PIZZATO, F. A influência da precipitação na concentração e carga de sólidos em cursos d'água urbanos: o caso do arroio Dilúvio, Porto Alegre-RS. *Geosul*, v. 26, n. 52, p. 145-163, 2012.

BITENCOURT, C. C. A.; FERNANDES, C. V. S.; GALLEGO, C. E. C. Panorama do enquadramento no Brasil: Uma reflexão crítica. *Revista de Gestão de Água da América Latina*, v. 16, e9, 2019. <https://dx.doi.org/10.21168/reg.v16e9>.

BRASIL. Resolução n. 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. 2018.

BRASIL. Lei n. 9.433, de 08 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.

BRITES, A. P. Z., PORTO, M. D. A., FERNANDES, C. Enquadramento dos corpos d'água: uma nova visão. *SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS*, 18. 2009.

CCME - Canadian Council of Ministers of the Environment. CCME Water Quality Index Update Technical Report and User's Manual. Canadian Environmental Quality Guidelines. Technical Subcommittee, Gatineau, 2017.

CNRH - Conselho Nacional De Recursos Hídricos. Resolução N° 91, de 05 de novembro de 2008. Dispõe sobre procedimentos gerais para o enquadramento dos corpos de água superficiais e subterrâneos.

CPRH – Agência Estadual de Meio Ambiente de Pernambuco. Monitoramento ambiental da qualidade das bacias hidrográficas, 2020. Bacias Hidrográficas. Disponível em: <http://www2.cprh.pe.gov.br/monitoramento-ambiental/qualidade-da-agua/bacias-hidrograficas/>.

CPRH - Agência Estadual de Meio Ambiente de Pernambuco. Relatório de monitoramento de bacias hidrográficas do Estado de Pernambuco em 2019, 2020.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Oxigênio Dissolvido e Mortandade de peixes. Alterações físicas e químicas, 2024. Disponível em: [https://cetesb.sp.gov.br/mortandade-peixes/alteracoes-fisicas-e-quimicas/oxigenio-dissolvido/#:~:text=Oxig%C3%A3o%20Dissolvido%20\(OD\)%20%C3%A9%20um,esta%C3%A7%C3%B5es%20de%20tratamento%20de%20esgotos](https://cetesb.sp.gov.br/mortandade-peixes/alteracoes-fisicas-e-quimicas/oxigenio-dissolvido/#:~:text=Oxig%C3%A3o%20Dissolvido%20(OD)%20%C3%A9%20um,esta%C3%A7%C3%B5es%20de%20tratamento%20de%20esgotos).

FARIA, P. O. O enquadramento das águas doces superficiais no Brasil: desafios e potencialidades para a gestão da qualidade hídrica. 2022.

OKE, A. O.; SANGODOYIN, A. Y.; OMODELE, T. Classification of river water quality in Ogun and Ona River Basins, Nigeria using CCME framework: Implications for sustainable environmental management. *Cogent Environmental Science*, 3(1). 2017. 1295696.

OKUMURA, A. T. R. et al. Determinação da qualidade da água de um rio tropical sob a perspectiva do uso. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 13, n. 04, p. 1835-1850, 2020.

OLIVEIRA, I. S.; PANTA, L. M.; BARBOSA, I. M. B. R.; SILVA, S. R. Índice de Conformidade ao Enquadramento nos Reservatórios Jucazinho, Bituri, Botafogo e Pirapama, em Pernambuco, Brasil (Guideline Compliance Index in Reservoirs Jucazinho, Bituri, Botafogo and Pirapama, in Pernambuco, Brazil). *Revista Brasileira de Geografia Física*. 2018; 11(4): 1575-84.

PERNAMBUCO – Agência Pernambucana de Águas e Clima. Atualização do plano estadual de recursos hídricos de Pernambuco – PERH/PE: Produto 4. Recife, PE, 2020. 352 p.

PERNAMBUCO - Agência Pernambucana de Águas e Clima. Bacia do Rio Ipojuca, 2024. Bacias Hidrográficas. Disponível em: <https://www.apac.pe.gov.br/bacias-hidrograficas>

PERNAMBUCO - Agência Pernambucana de Águas e Clima. Proposta de enquadramento dos cursos de água da bacia hidrográfica do rio Ipojuca: RP8 – Relatório da Proposta de Enquadramento dos Corpos de Água. Recife, PE, 2019. 61 p.

PERNAMBUCO - Secretaria de Recursos Hídricos. Plano hidroambiental da bacia hidrográfica do rio Ipojuca: Tomo I - Diagnóstico Hidroambiental. Recife, PE, 2010. 339 p. V. 1.

PEREIRA, L.C.C; MONTEIRO, M.C; GUIMARÃES D.O; MATOS J.B; COSTA R.M. Seasonal effects of wastewater to the water quality of Caeté River estuary, Brazilian, Amazon. *An. Acad. Bras. Ciênc.* 2010;82(2):467-478.

REIS, D. D.; SANTIAGO, A.; NASCIMENTO, L.; OLIVEIRA, E.; MARQUES, L.; ROESER, H. Influência dos fatores ambientais e antrópicos nas águas superficiais no rio Matipó, afluente do rio Doce. *Revista de Gestão de Águas da América Latina*. 2017; 14(2).

RIBEIRO EV. Avaliação da qualidade da água do Rio São Francisco no segmento entre Três Marias e Pirapora – MG: índice de contaminação. Geonomos. 2010; 20(1):49-63.

RIBEIRO, Rafaela Vieira. Evolução espaço-temporal na qualidade da água na bacia hidrográfica do Rio Ipojuca – Pernambuco, Brasil. 2020. Dissertação (Mestrado em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2020.

ROY, D. C., BISWAS, S. K., SAHA, A. K., SIKDAR, B., RAHMAN, M., ROY, A. K., TANG, S.-S. (2018). Prodhnan biodegradation of crystal violet dye by bacteria isolated from textile industry effluents. Doi:10.7717/peerj.5015

SANTOS, Fernanda Pereira dos. Indicadores de desenvolvimento sustentável pela caracterização química e tecnológica de corantes, efluentes e lodos provenientes do polo têxtil de Pernambuco. 2023. 88 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

SILVA, Marcela Teixeira Lopes. Adaptação e aplicação do índice de conformidade ao enquadramento (ICE) de cursos d'água. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia. 2017.

SILVA, Simone Rosa Da; JÚNIOR, Marcos Antonio Barbosa Da Silva; BARROS, Alessandra Maciel De Lima; ALCOFORADO, Roberta De Melo Guedes; ASFORA, Marcelo Cauás. Elaboração de proposta de referência para enquadramento dos corpos hídricos da bacia hidrográfica do rio Ipojuca, Pernambuco. XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Maceió, AL. 2011.

SINISA - Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico. Painel de Informações sobre Saneamento, 2023. Mapa de Indicadores de Esgoto. Disponível em: <http://appsnis.mdr.gov.br/indicadores-hmg/web/agua_esgoto/mapa-esgoto>

SOBRAL, Maria Do Carmo; GUNKEL, Gunter; ROHN, Hendryk; AURELIANO, Joana. Avaliação do monitoramento da qualidade da água de rios intermitentes: o caso do rio Ipojuca, Pernambuco. 2005. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/profile/Maria-Sobral-3/publication/237814980>>

SPERLING MV. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 2ª edição. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 1996.

TERRADO, M.; BORRELL, E. S. Campos Surface-water-quality indices for the analysis of data generated by automated sampling networks Trends Anal. Chem., 29 (1) (2010), pp. 40-52.

MEDEIROS, R. M.; FRANÇA, M. V. de; ARAÚJO, W. R. de. Erosivity in the Ipojuca river hydrographic basin, PE – Brazil. *Research, Society and Development*, [S. l.], v. 9, n. 7, p. e931974892, 2020.

MOUSAVI, S., SHAHRAKI, F., ALIABADI, M., HAJI, A., DEUBER, F., ADLHART, C. (2019). Nanofiber immobilized CeO₂/dendrimer nanoparticles: An efficient photocatalyst in the visible and the UV. *Applied Surface Science*, 479, 608–618.

NOZAKI, C. T.; MARCONDES, M. A.; LOPES, F. A.; SANTOS, K. F.; COSTA LARIZZATTI, P. S. Comportamento temporal do oxigênio dissolvido e pH nos rios e córregos urbanos. *Atas de Saúde Ambiental-ASA* (ISSN 2357-7614), v. 2, n. 1, p. 29-44, 2014.

NUNES, R. I.; SOUZA, W. W. D.; SANTOS, P. R. F. D. Análise dos Parâmetros Físicos: Sólidos Totais, Sólidos Sedimentáveis, Sólidos Totais Dissolvidos e Sólidos Suspensos nas Águas do Vale do Açu. *Blucher Chemistry Proceedings*, v. 3, n. 1, p. 1-8, 2015.

SILVA, C. J.; FRANÇA, M. V. de; MEDEIROS, R. M.; HOLANDA, R. M. O índice de aridez e sua tendência a desertificação na bacia do rio Ipojuca-PE. *Journal of Environmental Analysis and Progress*, [S. l.], v. 4, n. 1, p. 021-030, 2019. DOI: 10.24221/jeap.4.1.2019.1875.021-030. Disponível em: <https://journals.ufrpe.br/index.php/JEAP/article/view/1875>

VON SPERLING, M. *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. 4a. ed. Belo Horizonte: UFMG, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2014.