

## IV-127 – ÍNDICE DE QUALIDADE DE ÁGUA NA BACIA DO COREAÚ, CEARÁ – ANÁLISE DE GARANTIA FUZZY

### Marina Santiago Maciel<sup>(1)</sup>

Graduanda em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal do Ceará.

### Prof. Dr. Fernando José Araújo da Silva<sup>(2)</sup>

Engenheiro Civil pela Universidade de Fortaleza (1991). Mestre em Engenharia pela Universidade Federal da Paraíba (1994). Doutor em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Ceará (2010). Prof. Adjunto, Engenharia Civil, UFC/Fortaleza.

### Maira Gadelha Alves Brandão<sup>(3)</sup>

Graduação em Química pela Universidade Estadual do Ceará (2007). Gerente de Análise e Monitoramento Ambiental na Superintendência Estadual do Meio Ambiente (SEMACE).

### Janelane Coelho da Rocha<sup>(4)</sup>

Graduação em Tecnologia em Saneamento Ambiental pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia-Limoeiro do Norte (2010). Especialista em Engenharia Ambiental e Saneamento Ambiental pela Faculdade Integrada do Ceará - FIC. Gestora Ambiental na Superintendência Estadual do Meio Ambiente - SEMACE.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua José Vilar, 1550 - Meireles - Fortaleza - Ceará - CEP: 60125-000 - Brasil - Tel: +55 (85) 98798 1697 - e-mail: [marinasmaciel@gmail.com](mailto:marinasmaciel@gmail.com)

### RESUMO

A análise e monitoramento da qualidade da água e controle de parâmetros em diversas regiões é uma importante ferramenta para um planejamento adequado da gestão das águas. A Bacia do Coreaú localiza-se na região noroeste do estado do Ceará em uma região de clima semiárido e alta pluviometria, onde as atividades humanas impactam de forma significativa. Desde 2009, a SEMACE (Superintendência do Meio Ambiente do Estado Ceará) realiza levantamentos dos parâmetros físicos, químicos e biológicos de qualidade da água nas 11 bacias do estado do Ceará com o objetivo de monitorar, diagnosticar as condições atuais e manter o padrão de qualidade das águas para os seus diversos usos. O seguinte estudo avalia a variação no índice de qualidade da água (IQA) na Bacia do Coreaú, com o auxílio da teoria dos conjuntos difusos (*Fuzzy*), a partir das análises dos parâmetros de qualidade em quatro pontos distintos na extensão da Bacia, entre os meses de fevereiro e novembro, aplicando dois diferentes protocolos de cálculo. As duas interpretações dos resultados expostas permitem realizar um comparativo da qualidade da água no decorrer dos últimos 3 anos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Qualidade da Água, Análise de Garantia *Fuzzy*, Índice de Qualidade de Água (IQA).

### INTRODUÇÃO

A água é um recurso vital a todas as formas de vida e imprescindível aos seres humanos, para desempenharem suas atividades diárias. A gestão eficiente e eficaz dos recursos hídricos torna-se fundamental para manutenção de sua qualidade. A escassez hídrica é um problema vivido em diversas regiões do Brasil, mas principalmente na região que compreende o trópico semiárido. Sob estado de escassez as diversas atividades humanas impactam mais intensamente o recurso água. Rebouças (1997) ressalta que a degradação da qualidade da água é mais intensa em regiões áridas e semiáridas, por conta da associação das condições climáticas e termopluriométricas com as atividades de exploração dos recursos naturais. Isto contribui para a deterioração, pela redução da biodiversidade, erosão do solo e desertificação.

Um instrumento importante para avaliação e controle da qualidade da água é o IQA (Índice de Qualidade da Água). O índice utiliza um conjunto de parâmetros que sugerem a qualidade da água em determinado local a partir de uma ordem de grandeza única. Funciona como um importante instrumento auxiliar para se estabelecer metas de melhoria na qualidade da água. Assim, possibilita a análise dos progressos e retrocessos, com potencial identificação de suas origens e causas. O IQA visa a resumir as variantes analisadas em um número, possibilitando analisar a evolução da qualidade da água no tempo e no espaço, facilitando, dessa forma, a interpretação de extensas listas de variáveis ou indicadores (BOYACIOGLU, 2010).

Com base no contexto acima, o poder público no Estado do Ceará vem empreendendo esforços para obter diagnósticos sobre a qualidade da água em seu domínio. O Ceará conta com 12 bacias hidrográficas, que apesar de monitoradas desde 2009, tem limitações de frequência e requer uma análise mais crítica. Um passo inicial é a determinação do IQA.

Uma vez que os dados são limitados é recomendável empregar a aritmética difusa, como visto em Araújo, Sales e Souza (2013). Estes autores utilizaram o conceito de risco *fuzzy* ( $\tilde{R}_F$ ), que deriva da ideia de função marginal de um número difuso em torno de um número real ou de outro número difuso. Interpretou-se o funcionamento do todo em relação a uma medida que opera como regra auxiliar (*i.e.* valores de referência).

Diante do exposto, o objetivo principal deste trabalho é realizar um estudo com o auxílio da teoria dos conjuntos difusos (*Fuzzy*), usando dois diferentes protocolos de cálculo, da variação no Índice de Qualidade da Água (IQA) em quatro diferentes pontos escolhidos na dimensão da Bacia do rio Coreaú. Duas interpretações dos resultados serão expostas e comparadas.

## ÁREA DE ESTUDO

A bacia hidrográfica do rio Coreaú, Ceará, localiza-se entre as coordenadas 41°26'-40°12' oeste e 2°47'-3°56' sul. Ocupa uma área de 10.633,67 km<sup>2</sup>, abrangendo integralmente a área de 10 municípios e, parcialmente, a de outros 14. A bacia do Coreaú está situada na porção noroeste do Estado do Ceará, limitada ao sul e a oeste pelo Estado do Piauí, a sudoeste pela Bacia do Poti-Longá, a leste pela Bacia do Acaraú, e ao norte pelo Oceano Atlântico. Abrange cerca de 7,2% do território cearense, com população presente estimada em 882.500 habitantes com base em CEARÁ (2010).

No que diz respeito à qualidade das águas superficiais, os 9 reservatórios presentes na Bacia do Coreaú e monitorados pela Cogerh são classificados como mesotróficos. Essa classificação diz respeito ao enriquecimento por nutrientes das águas e seu efeito, associado ao crescimento excessivo das algas ou ao aumento da quantidade de macrófitas aquáticas. De acordo com as eventuais análises realizadas, os reservatórios não apresentam restrição ao consumo humano, apresentando concentrações de cloreto inferiores à 250mg/L, limite estabelecido pelo Ministério da Saúde.

A demanda hídrica humana para esta Bacia corresponde a 15.717.034 m<sup>3</sup>/ano e a 4,15%, da demanda para o Estado do Ceará (SRH, 2005); os estudos realizados referem-se apenas às demandas urbanas, tendo em vista que as rurais são atendidas, em geral, por reservatórios com capacidade inferior a 10 milhões de metros cúbicos ou por poços, o mesmo ocorrendo para a demanda animal.

Na área de saneamento básico, os dados disponíveis apresentam um percentual de domicílios com abastecimento de água variando de 59,9% em Granja, a 100,00% em Jijoca de Jericoacoara. Os dados mostram-se alarmantes quanto ao percentual de residências com instalação sanitária ligada à rede de esgotamento, pois metade dos municípios não apresentam instalações e os outros apresentam cobertura abaixo de 37,7%. (CADERNO REGIONAL DA BACIA DO COREAÚ, 2009)

Possui clima tropical quente semiárido, com temperatura média de 26,7° C (22,0° a 33,3° C). A precipitação média anual é de 1113mm (±434mm), com chuvas concentradas de janeiro a abril. A bacia do Coreaú possui um alto rendimento hidrológico, por sua pluviometria bem mais elevada, e comparada às demais bacias do Ceará. Cerca de 41% da área da bacia está em litologia cristalina, e o restante (59%) de composição sedimentar. A vegetação predominante é de floresta subcaducifólia espinhosa ou mata seca. A economia baseia-se na agricultura (algodão arbóreo e herbáceo, milho, feijão e mandioca) e pecuária (bovino, suíno e avícola).

## METODOLOGIA

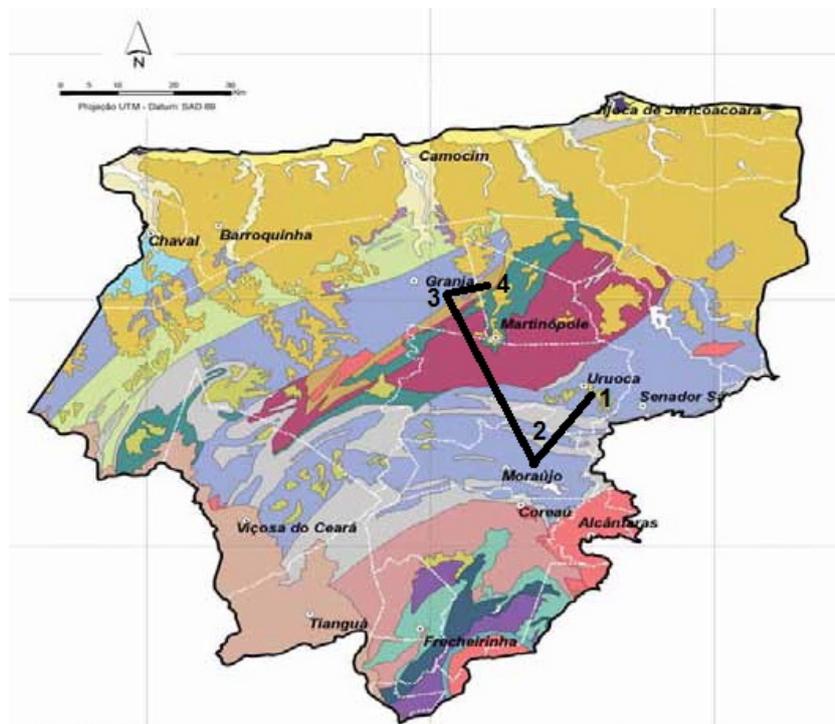
O estudo sobre IQA na bacia do Coreaú foram considerados 4 (quatro) pontos de coleta, conforme o Quadro 1. Os pontos de monitoramento foram selecionados com base na intensidade do impacto de poluição na água. Realizaram-se coletas nos meses de fevereiro, maio, agosto e novembro e encaminharam-se as amostras para

análise nos laboratórios da Superintendência Estadual do Meio Ambiente (SEMACE). A Figura 1 apresenta um diagrama unifilar dos 4 (quatro) pontos de coleta para melhor visualização.

O estudo teve enfoque baseado no trabalho de da Silva et al. (2015). Assim, foram empregados 3 (três) modelos para cômputo do IQA. Inicialmente foi calculado o IQA adaptado do *National Sanitation Foundation* (NSF), aqui denominado  $M_{OD1}$ . Para o  $M_{OD1}$  os parâmetros considerados foram: pH, turbidez, oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), fósforo, nitrogênio e coliformes termotolerantes. No caso dos demais modelos, denominados  $M_{OD2}$  e  $M_{OD3}$  foram empregadas duas abordagens: uma com 3 (três) parâmetros ( $M_{OD2}$ ) e outra com 6 (seis) ( $M_{OD3}$ ). No caso do  $M_{OD2}$  os parâmetros empregados foram: OD, coliformes termotolerantes e turbidez. No caso do  $M_{OD3}$  os parâmetros foram: pH, turbidez, oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), condutividade elétrica e coliformes termotolerantes.

**Quadro 1: Pontos de monitoramento na bacia do rio Coreaú, Ceará (2013 a 2016).**

Município	Designação	Descrição	Localização (UTM)
Uruoca	Ponto 1	Rodovia CE311, no Distrito de Campanário, sob a ponte	0306039-9627820
Moraújo	Ponto 2	Saída para o Distrito de Santa Luzia, ponte rústica	0312818-9616880
Granja	Ponto 3	Ao lado do Clube Arrudão, sede municipal	0297577-9655200
Granja	Ponto 4	Rodovia CE085, na entrada da sede municipal	0297620-9654008



**Figura 1: Diagrama Unifilar dos pontos de monitoramento na Bacia do rio Coreaú.**

O estudo de garantia *fuzzy* considerou a possibilidade de estado apresentado pelo IQA em relação a valores de um IQA mínimo desejado. A garantia *fuzzy* foi calculada com base em número *fuzzy* triangular (NFT), do tipo:  $\tilde{A} = [a, b, c]$  representa a variação do IQA. O número real na Figura 1(a) é o limite normativo (N).

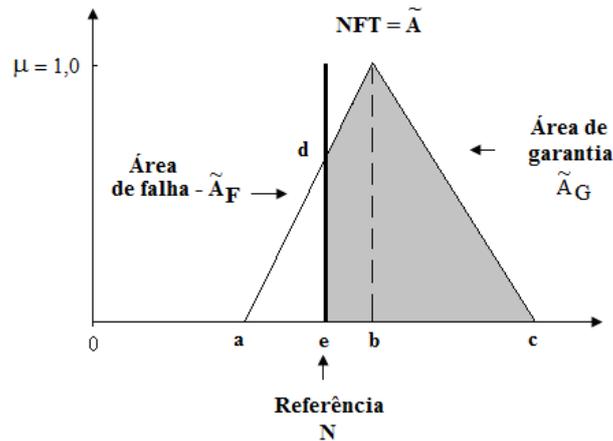


Figura 2: Garantia fuzzy ( $G_F$ ), com base em número real.

$$\tilde{A}_G = \tilde{A} - N \quad \text{Eq. (2)}$$

$$\tilde{G} = \frac{\tilde{A}_G}{\tilde{A}} \quad \text{Eq. (3)}$$

Em que: a, b e c são valores mínimo médio e máximo IQA no ponto de monitoramento.  $\tilde{G}$  é a garantia fuzzy;  $\tilde{A}_G$  é a área de garantia e N é o valor de IQA de referência.

Foi adotado inicialmente um valor de N igual a 60 (interpretação, critério CETESB). Calculou-se a possibilidade difusa de garantia e falha ( $> 60$  e  $< 60$ ). Outro limite foi o valor de 80 para N, com base no critério do IGAM. Segue na tabela abaixo as faixas de interpretação, resumida em da Silva et al. (2015):

Tabela 1: Intervalos descritores do IQA - interpretação.

Estado	IGAM	Estado	CETESB
Excelente	$90 < \text{IQA} \leq 100$	Ótima	$80 \leq \text{IQA} \leq 100$
Bom	$70 < \text{IQA} \leq 90$	Boa	$52 \leq \text{IQA} < 80$
Médio	$50 < \text{IQA} \leq 70$	Aceitável	$37 \leq \text{IQA} < 52$
Ruim	$25 < \text{IQA} \leq 50$	Ruim	$20 \leq \text{IQA} < 37$
Muito Ruim	$0 < \text{IQA} \leq 25$	Péssima	$0 \leq \text{IQA} < 20$

Tendo em vista a subjetividade no resultado do IQA, constata-se que não existe um modelo ideal de cálculo que seja o mais adequado. Cada modelo fornece um resultado específico baseado nas escolhas dos parâmetros, nos pesos adotados para cada um deles e nos pontos de monitoramento escolhidos. A interpretação dos diversos modelos adaptados de cálculo de IQA é particular e variável.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este estudo permitiu realizar uma interpretação geral dos resultados do IQA registrados entre os anos de 2013 a 2016 aplicando a análise de garantia fuzzy. No modelo de IQA  $M_{OD1}$  foi feita a redistribuição dos pesos dos parâmetros, pois nem todos os parâmetros considerados no modelo estavam disponíveis. Obtiveram-se os seguintes resultados, conforme ilustram as Tabelas 2 e 3.

**Tabela 2: Interpretação com base nas faixas da CETESB.**

2013	2014	2015	2016
<b>M<sub>OD1</sub></b>			
IQA ≥ 60: 34,78% IQA < 60: 65,22%	IQA ≥ 60: 41,03% IQA < 60: 58,97%	IQA ≥ 60: 90,12% IQA < 60: 9,88%	IQA ≥ 60: 60% IQA < 60: 40%
<b>M<sub>OD2</sub></b>			
IQA ≥ 60: 64,73% IQA < 60: 35,27%	IQA ≥ 60: 79,1% IQA < 60: 20,9%	IQA ≥ 60: 100%	IQA ≥ 60: 100%
<b>M<sub>OD3</sub></b>			
IQA ≥ 60: 70,43% IQA < 60: 29,57%	IQA ≥ 60: 87,19% IQA < 60: 12,81%	IQA ≥ 60: 100%	IQA ≥ 60: 100%

**Tabela 3: Interpretação com base nas faixas do IGAM.**

2013	2014	2015	2016
<b>M<sub>OD1</sub></b>			
IQA < 80: 100%	IQA < 80: 100%	IQA < 80: 100%	IQA < 80: 100%
<b>M<sub>OD2</sub></b>			
IQA ≥ 80: 28,34% IQA < 80: 71,66%	IQA ≥ 80: 32,27% IQA < 80: 67,73%	IQA ≥ 80: 100%	IQA ≥ 80: 89,92% IQA < 80: 10,08%
<b>M<sub>OD3</sub></b>			
IQA ≥ 80: 20,10% IQA < 80: 79,9%	IQA ≥ 80: 26,98% IQA < 80: 73,02%	IQA ≥ 80: 94,2% IQA < 80: 5,8%	IQA ≥ 80: 99,62% IQA < 80: 0,38%

Pela interpretação do IQA com base nas faixas da CETESB, aferiu-se no ano de 2013 que M<sub>OD2</sub> e M<sub>OD3</sub> tendem a ser mais sensíveis às variações dos parâmetros do que M<sub>OD1</sub>. Assim, houve uma maior probabilidade dos pontos de monitoramento da Bacia do Coreaú apresentarem valores de IQA dentro do limite considerado bom. Tal fato pode ser explicado pela escolha inicial dos parâmetros de análise, podendo alguns influenciarem positivamente ou negativamente no IQA final. A redistribuição de pesos realizada em M<sub>OD1</sub> também pode ter interferido no resultado.

Em 2014 notou-se que M<sub>OD1</sub> apresentou um aumento de 6,25% na probabilidade do IQA estar na faixa de garantia. M<sub>OD2</sub> e M<sub>OD3</sub> continuaram exibindo a maioria dos resultados de IQA na faixa de garantia.

Nos anos de 2015 e 2016, todos os modelos apresentaram quase a totalidade dos resultados acima da garantia. Supõe-se que o aumento na porcentagem de valores de IQA acima de 60 possa ter sido causada pela redução na concentração de coliformes termotolerantes nas águas da Bacia Coreaú após a execução de programas de melhoria no esgotamento sanitário da região, sendo esse o parâmetro mais relevante e de maior peso. Assim, pela interpretação da CETESB, o ano de 2015 apresentou melhor estado de qualidade da água para os dois modelos usados no estudo.

Pela interpretação do IQA com base nas faixas do IGAM, o ano de 2013 apresentou grande probabilidade das notas de IQA estarem abaixo da garantia para M<sub>OD1</sub>, M<sub>OD2</sub> e M<sub>OD3</sub>. No ano de 2014 houve uma suave melhora na porcentagem de notas de IQA acima da garantia para M<sub>OD2</sub> e M<sub>OD3</sub>, porém ainda com sua maioria abaixo da garantia.

Apenas nos anos de 2015 e 2016 as notas de IQA se apresentaram em sua maioria dentro da faixa de garantia para M<sub>OD2</sub> e M<sub>OD3</sub>. Tal fato pode ser explicado pela diferença nas faixas de qualidade adotadas nas duas interpretações, sendo a IGAM mais estrita, e, por isso, com menos valores dentro do limite aceitável. Tal rigidez contribui para o monitoramento e a manutenção da qualidade da água, com a intensificação na busca de métodos que auxiliem a melhoria da qualidade da água, enquadrando-se corretamente nos padrões estabelecidos pelo IGAM.

## CONCLUSÕES

A realização desse estudo ilustrou a importância da aplicação da análise de garantia *fuzzy* para superar a limitação no número de coletas. A abordagem na Bacia do Coreaú, possibilitou uma visualização geral no cenário do IQA nos últimos 3 anos. Os diferentes tipos de interpretações de IQA possibilitaram interpretações distintas. Na interpretação proposta pela CETESB, nota-se maior flexibilidade. Já a interpretação do IGAM aponta uma certa rigidez de qualidade. Ainda assim, o ano de 2015 foi o que exibiu melhor qualidade da água na Bacia do Coreaú pelas duas interpretações consideradas neste trabalho. Apesar das várias perspectivas de IQA serem particulares e carregarem certa carga subjetiva, sugere-se uma reformulação nas faixas de interpretação. Os limites que consideram a qualidade da água satisfatória são baixos, tal fato acaba não fornecendo um cenário tão preciso dos necessários níveis de qualidade do corpo hídrico de uma região, podendo a mesma não apresentar boas condições no quesito concentração de substâncias, mas apontar uma boa nota de IQA, contribuindo como uma forma de mascarar a real situação da bacia.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ARAÚJO, J.A.F.; SALES, R.J.M.; SOUZA, R.O. Risco de eutrofização em reservatórios de regiões semiáridas com uso da teoria dos conjuntos difusos. *REGA - Revista de Gestão de Água da América Latina* v. 10, n. 1, p. 29-39, Jan./Jun., 2013.
2. BOYACIOGLU, H. Utilization of the water quality index method as a classification tool. *Environmental Monitoring Assessment* v. 167, n. 1-4, p. 115-124, August, 2010.
3. CEARÁ. *Plano de gerenciamento das águas da bacia do Coreaú*. Estudos Básicos e Diagnóstico (Fase I). Secretaria dos Recursos Hídricos – SRH. Fortaleza, Novembro, 2010. 441 p.
4. DA SILVA, F.J.A.; SOUZA, R.O.; LIMA, M.G.S.; ARAÚJO, A.L. Proposta de IQA para o Brasil. *Anais... 28º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, Rio de Janeiro, Outubro de 2015.
5. REBOUÇAS, A.C. Água na região Nordeste: desperdício e escassez. *Estudos Avançados* v. 11, n. 29, p. 127-154, 1997.