



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE UnB DE PLANALTINA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS (PPGCA)

**FERRAMENTAS PARA AVALIAÇÃO E COMUNICAÇÃO DA  
QUALIDADE DA ÁGUA: SUBSÍDIOS PARA GESTÃO INTEGRADA  
DE RECURSOS HÍDRICOS**

**DAPHNE HELOISA DE FREITAS MUNIZ**

**TESE DE DOUTORADO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS**

Brasília-DF  
Junho de 2022



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE UnB DE PLANALTINA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS (PPGCA)

**FERRAMENTAS PARA AVALIAÇÃO E COMUNICAÇÃO DA  
QUALIDADE DA ÁGUA: SUBSÍDIOS PARA GESTÃO INTEGRADA  
DE RECURSOS HÍDRICOS**

**DAPHNE HELOISA DE FREITAS MUNIZ**

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Cyrino de Oliveira-Filho

Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade de Brasília como requisito para obtenção do título de Doutora em Ciências Ambientais. *Área de concentração:* Estrutura, dinâmica e conservação ambiental. *Linha de pesquisa:* Manejo e Conservação de Recursos Naturais

Brasília-DF  
Junho de 2022

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE UnB DE PLANALTINA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS (PPGCA)

**DAPHNE HELOISA DE FREITAS MUNIZ**

**FERRAMENTAS PARA AVALIAÇÃO E COMUNICAÇÃO DA QUALIDADE DA  
ÁGUA: SUBSÍDIOS PARA GESTÃO INTEGRADA DE RECURSOS HÍDRICOS**

Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade de Brasília como requisito para obtenção do título de Doutora em Ciências Ambientais. *Área de concentração:* Estrutura, dinâmica e conservação da ambiental. *Linha de pesquisa:* Manejo e Conservação de Recursos Naturais

Aprovada em 29/06/2022.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Eduardo Cyrino Oliveira-Filho - Presidente  
Embrapa Cerrados/Universidade de Brasília

Pofa. Dra. Nolan Ribeiro Bezerra – Titular 1 – Membro Externo  
Instituto Federal de Goiás

Prof. Dr. Patrick Thomaz de Aquino Martins – Titular 2 – Membro Externo  
Universidade Estadual de Goiás

Profa. Dra. Elaine Nolasco Ribeiro – Titular 3 – Membro Interno  
Universidade de Brasília

Prof. Dr. Luiz Felipe Salemi – Membro Suplente  
Universidade de Brasília

Ficha catalográfica elaborada automaticamente,  
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

df de Freitas Muniz, Daphne Heloisa  
Ferramentas para avaliação e comunicação da qualidade da  
água: subsídios para a Gestão Integrada de Recursos Hídricos  
/ Daphne Heloisa de Freitas Muniz; orientador Eduardo  
Cyrino Oliveira-Filho. -- Brasília, 2022.  
144 p.

Tese (Doutorado - Doutorado em Ciências Ambientais) --  
Universidade de Brasília, 2022.

1. GIRH. 2. Análise Estatística Multivariada. 3. Índice  
de Qualidade da Água. 4. Qualidade da Água. I. Oliveira  
Filho, Eduardo Cyrino, orient. II. Título.

*“A ciência desenha o rio; a poesia enche-o de água”.*  
Inspirado no poema de Teixeira de Pascoas

## AGRADECIMENTOS

Foi uma longa jornada nesses cinco anos! Em meio a uma gravidez de risco, um parto prematuro, um bebê na UTI, duas filhas adolescentes, mais tarde uma criança com hemiparesia e TEA, um câncer, coletas em campo, análises de laboratório, disciplinas, uma pandemia... Não fosse o amor, a ajuda e companheirismo dessas pessoas eu não teria conseguido.

Aos amores da minha vida, minhas filhas Lara e Lis, pela paciência nesses cinco anos. Por serem as melhores filhas que uma mãe poderia ter, por ser tão compreensivas, entenderem a minha ausência, as minhas falhas, a minha bagunça, por me ajudarem nas tarefas de casa e com a Alice. Eu amo muito vocês!

À minha mãe Wila, por todo amor e compreensão, por ter estendido a mão nos momentos difíceis, por ter cuidado das minhas filhas. Por ser essa fortaleza e inspiração.

À minha Tia Wildna, por todo apoio, pelas idas ao hospital, à UTI, pelo carinho com as minhas filhas e por registrar os melhores momentos da minha vida.

À minha amada “Girl” Thais, por não ter me deixado desistir, por ser a minha maior incentivadora, pelas palavras de sabedoria, pelo suporte no momento mais difícil da minha vida, por ser essa pessoa do coração enorme e tão generosa, que tenho a honra de chamar de irmã.

À minha família, meu pai Ivo, minha vó Toinha, meus irmãos Pedro e João, meu cunhado Victor e minhas cunhadas “Carolinas”, aos meus sobrinhos Iago, Laís, Davi, Anne e Maria Eloah, por todo amor e incentivo.

Às minha amigas de vida, Ingrid, Nayara e Taiane, mães inspiradoras, que sempre me apoiaram, me incentivaram, pelas visitas ao hospital, por estarem presentes na minha vida e na das minhas filhas, por saber que sempre poderei contar com vocês, nas alegrias e nos momentos difíceis.

À família Lima Sales: Cleverson (o melhor pai desse mundo), Alenice, Cristiane, Cristiano, Cleiton e Cleison, por me ajudarem nos cuidados e na criação da Alice durante o doutorado. Sem vocês eu não teria chegado aqui.

À minha querida amiga Juliana, que nunca me abandonou, que sempre tem uma palavra de conforto e uma boa conversa!

Às minhas amigas e companheiras de trilha: Iara, Nath, Paula, Dani e Joci. Com vocês a caminhada é mais leve e feliz. Que a gente possa trilhar e desbravar novos caminhos nesse mundo.

Aos colegas do PPGCA, em especial ao Glauber e ao Pedro, por me ajudarem na confecção do mapa dos pontos do DF, pelas caronas, pelo incentivo, por todo companheirismo, pelas trocas e conversas produtivas.

Ao amigo que o doutorado me deu, Murilo, a pessoa mais trabalhadora que conheço, pelo carinho, pela ajuda nas coletas do Araguaia, pela escuta atenta às minhas histórias de vida.

À minha amiga Clarisse, do doutorado pra vida, por todo carinho, cuidado e companheirismo, pelos mimos nas aulas de MAGBIO, pelas novas e futuras experiências que virão.

Às companheiras de doutorado Esmeralda e Fabíula, pelas conversas, pelas trocas, pela confecção do mapa do Araguaia. Boa sorte na caminhada meninas!

À coordenadora e ex-coordenadores do PPGCA, Profa Erina e Profs. Ludgero e Antônio Felipe (*in memoriam*), pelo profissionalismo e dedicação com que conduz e conduziram o Programa.

Ao Eduardo Cyrino, meu orientador, pela parceria e confiança, pela disponibilização do laboratório, recursos e materiais para as análises de campo.

Ao Luciano Adjuto, técnico de campo da Embrapa Cerrados, por dirigir tantos quilômetros nos dias de coleta, por toda a ajuda em campo e pelo companheirismo de sempre.

Aos ex-estagiários do Laboratório de Química de Água e Ecotoxicologia da Embrapa Cerrados, Gabi, Leandro e Matheus. Vocês foram os meus braços direito e esquerdo nos momentos em que tanto precisei.

Ao estatístico da Embrapa Cerrados, Juaci Malaquias, sempre disposto a ajudar e por mais uma vez me socorrer com as análises estatísticas multivariadas.

Aos proprietários rurais do Alto Rio Jardim, Buriti Vermelho, Chapadinha, Cabeceira Comprida e Córrego do Ouro, por nos concederem acesso às nascentes, rios e córregos localizados em suas propriedades.

Ao diretor, Leonardo Bergamini, e a todos os vigias da RECOR IBGE pela disposição em nos atender nos dias de coleta.

Aos vigias do Condomínio Mansões Rural Colorado e às Irmãs do Santuário da Eterna Aliança em Sobradinho, por nos concederem acesso para realização das coletas.

Ao querido Marco, por ter concedido sua casa para realização das análises de coliformes e no armazenamento das amostras coletadas em Cocalinho-MT.

À FAPDF pelo apoio financeiro para as coletas e compra de material de campo, e na participação no XIX Congresso da Associação Ibérica de Limnologia em Coimbra, Portugal e no XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos em Foz do Iguaçu, Paraná.

À criança que me deu forças para continuar no doutorado, que lutou bravamente pela vida, por ser essa criança doce e amorosa que me ensina todos os dias, minha amada Alice.

À todos vocês, MUITO OBRIGADA!

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS</b> .....	10
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	13
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	14
<b>INTRODUÇÃO GERAL</b> .....	16
Referências .....	19
<b>PARTE I - FERRAMENTAS DE AVALIAÇÃO E DIVULGAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA</b> .....	22
<b>CAPÍTULO 1 – ANÁLISE ESTATÍSTICA MULTIVARIADA PARA A PESQUISA DE QUALIDADE DA ÁGUA: UMA REVISÃO CIENCIOMÉTRICA (2001-2020)</b> .....	23
Resumo .....	23
Abstract .....	23
1. Introdução .....	24
2. Metodologia .....	26
3. Resultados e Discussão .....	27
3.1. Saídas de publicações e Categorias de assuntos da WoS .....	27
3.2. Periódicos chaves e Artigos mais citados .....	31
3.3. Países/Territórios e Tipos de recursos hídricos .....	34
3.4. Coocorrência de Palavras-chave .....	41
3.5. Análises Estatísticas Multivariadas x Qualidade da Água .....	42
3.5.1. Análise Fatorial (AF) e Análise das Componentes Principais (ACP) .....	44
3.5.2. Análise de Agrupamento Hierárquica (AAH) .....	46
3.5.3. Análise Discriminante (AD) .....	47
3.6. Limitações da AEM .....	48
4. Conclusões .....	49
5. Referências .....	51
<b>CAPÍTULO 2 - DIVULGAÇÃO DOS DADOS DE QUALIDADE DA ÁGUA SUPERFICIAL NO BRASIL: UM PANORAMA DO PROGRAMA QUALIÁGUA</b> .....	61
Resumo .....	61
Abstract .....	61
1. Introdução .....	62
2. O Modelo de Gestão dos Recursos Hídricos no Brasil .....	65
3. Programa Nacional de Avaliação da Qualidade das Águas (PNQA).....	66

3.1. Rede Nacional de Monitoramento da Qualidade de Água (RNQA) .....	67
3.2. Programa de Estímulo à Divulgação de Dados de Qualidade de Água – QUALIÁGUA.....	68
4. Indicadores de Qualidade da Água.....	69
5. Divulgação dos dados da Qualidade da Água Superficial nos Estados e no Distrito Federal.....	71
6. Considerações Finais .....	76
7. Referências .....	77
<b>PARTE II – APLICAÇÃO DAS FERRAMENTAS - ESTUDOS DE CASO .....</b>	<b>83</b>
<b>CAPÍTULO 3 - AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA E CONDIÇÕES DE BALNEABILIDADE NO MÉDIO RIO ARAGUAIA .....</b>	<b>84</b>
Resumo .....	84
Abstract .....	85
1. Introdução .....	85
2. Materiais e Métodos .....	87
2.1. Área de Estudo .....	87
2.2. Amostragem e Métodos de Análises .....	89
2.3. Índice de Qualidade da Água – IQA.....	90
2.4. Limites da Resolução CONAMA n° 274/2000.....	90
3. Resultados e Discussão .....	91
3.1. Índice de Qualidade da Água- IQA .....	94
3.2. Classificação conforme a CONAMA n° 274/2000 .....	96
4. Considerações Finais .....	99
5. Referências .....	100
<b>CAPÍTULO 4 - AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA SUPERFICIAL NO DISTRITO FEDERAL (BRASIL) ENTRE 2017 E 2019: APLICAÇÃO DE ANÁLISE ESTATÍSTICA MULTIVARIADA E ÍNDICES DE QUALIDADE DA ÁGUA.....</b>	<b>105</b>
Resumo .....	105
Abstract .....	106
1. Introdução .....	106
2. Materiais e Métodos .....	110
2.1. Área de Estudo e Pontos Amostrais .....	110
2.2. Amostragem e Métodos Analíticos.....	112
2.3. Análise Estatística Multivariada .....	113
2.4. Índices de Qualidade da Água (IQA).....	114
3. Resultados e Discussão .....	116

3.1. Estatística Descritiva.....	116
3.2. Análise Estatística Multivariada.....	121
3.2.1. Análise de Agrupamento Hierárquico (AAH) .....	121
3.2.2. Análise das Componentes Principais (ACP) e Análise Fatorial Exploratória (AFE).....	122
3.3. Índice de Qualidade da Água .....	130
3.3.1. Índice de Qualidade da Água para abastecimento ( $IQA_{CETESB}$ ).....	130
3.3.2. Índice de Qualidade da Água para Irrigação ( $IQAI_{DF}$ ).....	133
4. Conclusões .....	135
5. Referências .....	136

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

**AAH** – Análise de agrupamento Hierárquico  
**ACP** – Análise das Componentes Principais  
**AD** – Análise Discriminante  
**ADASA** – Agência Reguladora de águas, Energia e Saneamento do Distrito Federal  
**AEM** – Análise Estatística Multivariada  
**AESA** – Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba  
**AF** – Análise Fatorial  
**AFE** – Análise Fatorial Exploratória  
**AGERH** – Agência Estadual de Recursos Hídricos do Espírito Santo  
**ANA** – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico  
**APAC** – Agência Pernambucana de Águas e Clima  
**APHA** – *American Public Health Association*  
**ASTM** – *American Society for Testing and Materials*  
**AT** – Alcalinidade Total  
**Br<sup>-</sup>** – Brometo  
**Ca<sup>2+</sup>** – Cálcio  
**CAESB** – Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal  
**CE** – Condutividade Elétrica  
**CETESB** – Companhia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo  
**Cl<sup>-</sup>** – Cloreto  
**CNRH** – Conselho Nacional de Recursos Hídricos  
**CODEPLAN** – Companhia de Planejamento do Distrito Federal  
**COGERH** – Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Ceará  
**CONAMA** – Conselho Nacional do Meio Ambiente  
**COR** – Cor aparente  
**COREH** – Coordenadoria de Recursos Hídricos de Rondônia  
**COT** – Carbono Orgânico Total  
**CT** – Carbono Total  
**DBO** – Demanda Bioquímica de Oxigênio  
**DF** – Distrito Federal  
**DP** – Desvio Padrão  
**DT** – Dureza Total  
**ECOLI** – *Escherichia coli*  
**EUA** – Estados Unidos da América  
**F<sup>-</sup>** – Flúor  
**FEMARH** – Fundação de Meio Ambiente e Recursos Hídricos de Roraima  
**FEPAM** – Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luis Roessler  
**GDF** – Governo do Distrito Federal  
**GIRH** – Gestão Integrada de Recursos Hídricos  
**HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>** – Bicarbonato  
**IAT** – Instituto Água e Terra do Paraná  
**IBGE** – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
**ICB** – Índice de Condições de Balneabilidade

**IGAM** – Instituto Mineiro de Gestão das Águas  
**IGARN** – Instituto de Gestão das Águas do Rio Grande do Norte  
**IMAC** – Instituto de Meio Ambiente do Acre  
**IMASUL** – Instituto de Meio Ambiente do Mato Grosso do Sul  
**INEA** – Instituto Estadual do Ambiente do Rio de Janeiro  
**IQA** – Índice de Qualidade da Água  
**IQA<sub>CETESB</sub>** – Índice de Qualidade da Água para Abastecimento  
**IQA<sub>DF</sub>** – Índice de Qualidade da Água para Irrigação do Distrito Federal  
**ISO** – *International Organization for Standardization*  
**JCR** – *Journal Citation Reports*  
**JIF** – *Journal Impact Factor*  
**K<sup>+</sup>** – Potássio  
**KMO** – Índice de *Kaysen–Meyer–Olkin*  
**LD** – Limite de Detecção  
**Max** – Máximo  
**Mg<sup>2+</sup>** – Magnésio  
**Min** – Mínimo  
**MT** – Mato Grosso  
**Na<sup>+</sup>** – Sódio  
**NH<sub>4</sub><sup>+</sup>** – Amônio  
**NMP** – Número Mais Provável  
**NO<sub>2</sub><sup>-</sup>** – Nitrito  
**NO<sub>3</sub><sup>-</sup>** – Nitrato  
**NSF** – *National Sanitation Foundation*  
**NT** – Nitrogênio Total  
**OD** – Oxigênio Dissolvido  
**ODS** – Objetivos do Desenvolvimento Sustentável  
**pH** – Potencial hidrogeniônico  
**PNQA** – Programa Nacional de Qualidade da Água  
**PNRH** – Política Nacional de Recursos Hídricos  
**PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>** – Fosfato  
**PT** – Fósforo Total  
**QUALIÁGUA** – Programa de Estímulo à Divulgação de Dados de Qualidade de Água  
**RAS** – Razão de Adsorção de Sódio  
**RHN** – Rede Hidrometeorológica Nacional  
**RNQA** – Rede Nacional de Monitoramento da Qualidade da Água  
**RT** – Resíduo Total  
**SEDAM** – Secretaria de Estado do Desenvolvimento Ambiental de Rondônia  
**SEDURBS** – Secretaria de Estado do Desenvolvimento Urbano e Sustentabilidade  
**SEIA** – Sistema Estadual de Informações Ambientais e de Recursos Hídricos da Bahia  
**SEMA-AM** – Secretaria de Estado Do Meio Ambiente do Amazonas  
**SEMA-AP** – Secretaria de Estado do Meio Ambiente do Amapá  
**SEMACE** – Superintendência Estadual do Meio Ambiente do Ceará  
**SEMAD** – Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável de Goiás  
**SEMA-MA** – Secretaria de Meio Ambiente do Maranhão

**SEMA-MT** – Secretaria de Estado de Meio Ambiente do Mato Grosso  
**SEMAPI** – Secretaria de Estado do Meio Ambiente e das Políticas Indígenas do Acre  
**SEMAR** – Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Piauí  
**SEMARH-AL** – Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos de Alagoas  
**SEMARH-TO** – Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos de Tocantins  
**SEMAS** – Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade do Pará  
**SEMA-SC** – Secretaria Executiva do Meio Ambiente de Santa Catarina  
**SINGREH** – Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos  
**SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>** – Sulfato  
**STD** – Sólidos Totais Dissolvidos  
**TEMP** – Temperatura da Água  
**TURB** – Turbidez  
**UH** – Unidade Hidrográfica  
**UH-NATURAL** – Unidades Hidrográficas sob cobertura do solo Natural  
**UH-RURAL** – Unidades Hidrográficas sob uso do solo Rural  
**UH-URBANA** – Unidades Hidrográficas sob uso do solo Urbano  
**UNT** – Unidade Nefelométrica de Turbidez  
**USEPA** – *United States Environmental Protection Agency*  
**WoS** – *Web of Science*

## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO 1 - ANÁLISE ESTATÍSTICA MULTIVARIADA PARA A PESQUISA DE QUALIDADE DA ÁGUA: UMA REVISÃO CIENCIOMÉTRICA (2001-2020)

<b>Figura 1.</b> Relação entre o número de publicações e o ano.....	28
<b>Figura 2.</b> As quinze categorias de assuntos do <i>Web of Science</i> mais encontradas .....	30
<b>Figura 3.</b> Tendência temporal das cinco principais categorias de assuntos da <i>WoS</i> entre 2001 e 2020 .....	30
<b>Figura 4.</b> Distribuição geográfica mundial da pesquisa sobre qualidade da água utilizando métodos estatísticos multivariados entre 2001 e 2020.....	34
<b>Figura 5.</b> As doze categorias de amostras de água encontradas nas publicações.....	38
<b>Figura 6.</b> Tipos de amostras de água dos 15 Países que mais publicaram sobre o tema .....	39
<b>Figura 7.</b> Redes de associações entre palavras-chave mais encontradas nas publicações que utilizaram AEM em estudos de qualidade da água entre 2001 e 2020 .....	41

### CAPÍTULO 2 - DIVULGAÇÃO DOS DADOS DE QUALIDADE DA ÁGUA SUPERFICIAL NO BRASIL: UM PANORAMA DO PROGRAMA QUALIÁGUA

<b>Figura 1.</b> Matriz institucional do SINGREH.....	65
<b>Figura 2.</b> Pontos de monitoramento no âmbito da RNQA.....	68

### CAPÍTULO 3 - AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA E CONDIÇÕES DE BALNEABILIDADE NO MÉDIO RIO ARAGUAIA

<b>Figura 1.</b> Localização dos pontos de amostragem .....	88
<b>Figura 2.</b> <i>Boxplot</i> dos valores de IQA-CETESB em cada ponto de coleta.....	95
<b>Figura 3.</b> Número mais provável de <i>Escherichia coli</i> por 100 mL de amostra.....	97

### CAPÍTULO 4 - AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA SUPERFICIAL NO DISTRITO FEDERAL (BRASIL) ENTRE 2017 E 2019: APLICAÇÃO DE ANÁLISE ESTATÍSTICA MULTIVARIADA E ÍNDICES DE QUALIDADE DA ÁGUA

<b>Figura 1.</b> Localização dos pontos amostrais.....	111
<b>Figura 2.</b> (2a) Número ótimo de clusters pelo método <i>Gap statistic</i> . (2b) Dendograma apresentando semelhanças entre os pontos amostrais.....	121
<b>Figura 3.</b> Gráficos dos autovalores e do modelo <i>broken-stick</i> para cada componente principal.....	123
<b>Figura 4.</b> Cargas das duas primeiras componentes principais para as três matrizes de dados.....	125
<b>Figura 5.</b> <i>Boxplot</i> $IQA_{CETESB}$ dos 18 pontos de coleta.....	131
<b>Figura 6.</b> <i>Boxplot</i> $IQA_{DF}$ dos 18 pontos de coleta.....	133

## LISTA DE TABELAS

### **CAPÍTULO 1 - ANÁLISE ESTATÍSTICA MULTIVARIADA PARA A PESQUISA DE QUALIDADE DA ÁGUA: UMA REVISÃO CIENCIOMÉTRICA (2001-2020)**

<b>Tabela 1.</b> Total de publicações, porcentagem em relação ao total e fator de impacto dos 10 periódicos mais produtivos.....	31
<b>Tabela 2.</b> Os 15 artigos mais citados sobre o tema, segundo base de dados da WoS.....	32
<b>Tabela 3.</b> Os 15 Países com maior número de publicações que usaram AEM na pesquisa de qualidade da água e seu <i>índice-h</i> . .....	35
<b>Tabela 4.</b> Tipos de Amostra de Água e termos análogos ou sinônimos.....	37
<b>Tabela 5.</b> Análises estatísticas multivariadas mais empregadas nas publicações.....	43

### **CAPÍTULO 2 – DIVULGAÇÃO DOS DADOS DE QUALIDADE DA ÁGUA SUPERFICIAL NO BRASIL: UM PANORAMA DO PROGRAMA QUALIÁGUA**

<b>Tabela 1.</b> Classe, faixas, variáveis e respectivos pesos do IQA da CETESB .....	70
<b>Tabela 2.</b> Classes de trofia, faixas e valores de P-total e clorofila-a utilizados no IET.....	71
<b>Tabela 3.</b> Informações sobre a divulgação dos dados do QUALIÁGUA por Unidade da Federação.....	72

### **CAPÍTULO 3 - AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA E CONDIÇÕES DE BALNEABILIDADE NO MÉDIO RIO ARAGUAIA**

<b>Tabela 1.</b> Média, desvio padrão, valores máximo e mínimo dos parâmetros físico-químicos de qualidade da água analisados.....	91
<b>Tabela 2.</b> Resultados de IQA-CETESB dos 12 pontos de amostragem durante o período de estudo .....	94

### **CAPÍTULO 4 - AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA SUPERFICIAL NO DISTRITO FEDERAL (BRASIL) ENTRE 2017 E 2019: APLICAÇÃO DE ANÁLISE ESTATÍSTICA MULTIVARIADA E ÍNDICES DE QUALIDADE DA ÁGUA**

<b>Tabela 1.</b> Descrição dos pontos amostrais.....	111
<b>Tabela 2.</b> Variáveis analisadas, abreviações, unidades, métodos e metodologias analíticas.....	113
<b>Tabela 3.</b> Faixas, classes, variáveis e pesos do IQA <sub>CETESB</sub> e IQAI <sub>DF</sub> .....	116

<b>Tabela 4.</b> Média, mediana, desvio padrão, máximo e mínimo dos variáveis de qualidade da água dos pontos P1 a P9.....	117
<b>Tabela 5.</b> Média, mediana, desvio padrão, máximo e mínimo dos variáveis de qualidade da água dos pontos P1 a P9 (continuação).....	118
<b>Tabela 6.</b> Média, mediana, desvio padrão, máximo e mínimo dos variáveis de qualidade da água dos pontos P10 a P18.....	119
<b>Tabela 7.</b> Média, mediana, desvio padrão, máximo e mínimo dos variáveis de qualidade da água dos pontos P10 a P18 (continuação).....	120
<b>Tabela 8.</b> Variáveis de qualidade da água mais importantes para cada grupo de uso ou cobertura do solo .....	124

## INTRODUÇÃO GERAL

A água exerce um papel fundamental na economia e na manutenção da saúde humana e ambiental. Garantir o acesso à água em quantidade e qualidade desejáveis é um dos grandes desafios para as sociedades atuais (UN-Water, 2016; Connor e Coates, 2021). Fatores como desenvolvimento econômico acelerado, mudanças climáticas e crescimento populacional tem colocado este recurso tão importante na agenda de sustentabilidade global (Mehmood, 2019).

O Objetivo de Desenvolvimento Sustentável número 6 (ODS6) da Agenda 2030 das Nações Unidas para o Desenvolvimento Sustentável visa garantir a disponibilidade e a gestão sustentável da água e do saneamento para todos (UN-Water, 2016). Neste contexto, a Gestão Integrada de Recursos Hídricos (GIRH) se consolida como um importante instrumento que objetiva equilibrar as demandas da água, sem comprometer a sustentabilidade dos ecossistemas (UNEP, 2021).

O Brasil – País de dimensões continentais e abundância de recursos hídricos – possui cerca de 20% de toda a água continental global fluindo para os oceanos e aproximadamente 85% das necessidades de água doce do País são supridas por águas superficiais, como rios, lagos e reservatórios, abrigando algumas das maiores bacias hidrográficas do mundo e grandes metrópoles que vêm enfrentando crises hídricas na última década (Paiva et al., 2020; Getirana et al., 2021; He et al., 2021). Dadas as dimensões territoriais, às particularidades regionais, e o contexto climático e socioambiental diverso, torna-se um grande desafio a GIRH no Brasil (Gesualdo et al., 2021).

Dentre as bacias hidrográficas brasileiras encontra-se a do Tocantins-Araguaia, um dos maiores sistemas fluviais da América do Sul, localizada inteiramente no Brasil, constituída de importantes cursos d'água como o Rio Araguaia. O Rio, que atua na manutenção das mais importantes zonas úmidas do Brasil Central, possui uma intensa atividade balneária e turística e vem sofrendo com a degradação em grande escala ocasionadas por atividades como agronegócio, mineração e energia hidrelétrica (Latrubesse et al., 2009; Alves e Oliveira, 2016; Pelicice et al., 2021).

No contexto da GIRH em grandes metrópoles brasileiras, o Distrito Federal pode ser citado como uma região que apresentou crescimento populacional acelerado e enfrentou uma grave crise hídrica entre os anos de 2016 e 2018. Essa experiência revelou as preocupações acerca das

fragilidades da GIRH no DF que inclui a melhoria nos instrumentos de gestão, planejamento e aumento do conhecimento; e ampliação do monitoramento hidrológico, no controle da poluição e da qualidade da água (ADASA, 2012; Strauch et al., 2013; Lima et al., 2018).

Importante pilar da GIRH, o monitoramento da qualidade da água tem recebido grande relevância nos últimos anos (Damania et al., 2019). O termo “qualidade da água” pode ser entendido como uma medida de sua adequação para um uso específico (abastecimento, irrigação, recreação) baseado em suas características físicas, químicas e biológicas (Cordy, 2001). Um dos principais desafios da GIRH é gerar dados relevantes, precisos e confiáveis de qualidade da água, por meio de programas de monitoramento, para que gestores possam compreender, interpretar e utilizar essas informações em apoio às atividades de gestão (Behmel et al., 2016).

Programas de monitoramento de qualidade da água geram uma enorme quantidade de dados que muitas vezes são difíceis de serem interpretados (Chapman e Sullivan, 2022). Com isso, uma série de ferramentas tem sido desenvolvida com o intuito de avaliar os dados de qualidade dos recursos hídricos (Uddin et al., 2021).

Dentre as diversas ferramentas utilizadas na avaliação de dados de qualidade da água está a Análise Estatística Multivariada (AEM) (Fu e Wang, 2012). A AEM é aplicada em muitos campos de estudo e tem como objetivo explicar ou prever as relações entre muitas variáveis independentes e/ou dependentes que estão correlacionadas entre si (Mertler e Reinhart, 2017). A AEM pode ser aplicada com objetivos diversos na avaliação da qualidade da água, entre eles: analisar as relações entre qualidade da água, uso e cobertura do solo; avaliar semelhanças e diferenças entre períodos e pontos de amostragem; e ainda selecionar variáveis importantes para o monitoramento, reduzindo o viés e a necessidade de tempo e custo para monitorar grande número de variáveis (Shrestha e Kazama, 2007; Felipe-Soletto et al., 2015; Siepak e Sojka, 2017; Han et al., 2020).

Outra ferramenta bastante empregada na avaliação da qualidade da água são os Índices de Qualidade da Água (IQA), que tem provado ser bastante eficiente e desempenhado um importante papel na gestão dos recursos hídricos e na divulgação dos dados da qualidade da água, por expressar os resultados de forma simples e lógica para o público leigo (Dash e Kalamdhad, 2021). O IQA visa dar um único valor à qualidade da água de uma fonte, com base em um ou outro sistema que traduz

uma série de variáveis e suas concentrações presentes em uma amostra (Uddin et al., 2021). Podem ser utilizados para diversas finalidades entre elas: alocações de recursos financeiros na gestão dos recursos hídricos, classificação de alocações, aplicação de normas e legislações, análise de tendências (espaciais e temporais), informação pública e pesquisa científica para avaliar a saúde dos corpos hídricos (Abbasi e Abbasi, 2012; Gupta e Gupta, 2021).

Diante disso, os objetivos desta tese são: (1) compreender a evolução da pesquisa que utiliza AEM nos estudos de qualidade da água; (2) traçar um panorama da divulgação da qualidade da água no Brasil e (3) aplicar as ferramentas de avaliação da qualidade da água para abastecimento, irrigação e recreação em diferentes corpos hídricos superficiais. Assim, essa tese está dividida em duas partes com dois capítulos cada, descritos a seguir:

- ◆ A Parte I intitulada “Ferramentas de Avaliação e Divulgação da Qualidade da Água”, apresenta o primeiro capítulo intitulado “Análise estatística multivariada para pesquisa de qualidade da água: um estudo cienciométrico (2001-2020)”, que traz uma revisão cienciométrica de publicações de uma janela de tempo de 20 anos, que utilizaram AEM para análise de dados de qualidade da água com o objetivo de compreender a evolução da pesquisa científica e de que forma a AEM tem sido aplicada na pesquisa mundial de qualidade da água. Esse artigo foi submetido na revista *International Journal of Environmental Research and Public Health* e encontra-se em processo de revisão.

- ◆ O segundo capítulo da Parte I intitulado “Divulgação dos dados de qualidade da água superficial no Brasil: um panorama do programa QUALIÁGUA” tem o objetivo de apresentar um panorama atual da divulgação dos dados de qualidade da água superficial no Brasil, estados e no Distrito Federal para o público em geral, no âmbito do Programa, visando contribuir para a publicidade e melhoria do QUALIÁGUA. Este artigo foi submetido na *REGA - Revista de Gestão de Água da América Latina*.

- ◆ A Parte II intitulada “Aplicação das ferramentas: estudos de caso” traz o terceiro capítulo da tese com o título “Avaliação da qualidade da água e condições de balneabilidade no Médio Rio Araguaia”. O artigo tem como objetivo avaliar a qualidade da água, por meio da aplicação do IQA, e as condições de balneabilidade conforme as diretrizes estabelecidas pela legislação, no médio Rio Araguaia, região de Cocalinho-MT. Este artigo é fruto de pesquisas realizadas durante a disciplina de

doutorado “Práticas de Campo em Ciências Ambientais” e está publicado na revista *Fronteiras: Journal of Social Technological and Environmental Science* (Muniz, D.H.F.; Santana, M.L.C.; Oliveira-Filho, E.C. (2020). Avaliação da qualidade da água e condições de balneabilidade no médio Rio Araguaia. *Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental Science*, 9(2): 308-327. DOI <http://dx.doi.org/10.21664/2238-8869.2020v9i2>).

◆ O quarto e último capítulo intitulado “Avaliação da qualidade da água superficial no Distrito Federal (Brasil) entre 2017 e 2019: aplicação de análises estatísticas multivariadas e índices de qualidade da água” tem como objetivo avaliar a qualidade da água superficial de unidades hidrográficas do DF, sob diferentes usos do solo, por meio da aplicação de ferramentas como a Análise Estatística Multivariada e Índices de Qualidade da Água para abastecimento público e irrigação, visando subsidiar a GIRH no DF. Este artigo foi submetido na revista *Water Research*.

## Referências

- Abbasi, T.; Abbasi, S.A. (2012) Why Water-quality Indices. *In: ABBASI, Tasneem; ABBASI, S.A (Orgs) Water quality indices*. Reino Unido: Elsevier, p. 3-7. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-54304-2.00001-4>
- ADASA - AGÊNCIA REGULADORA DE ÁGUAS, ENERGIA E SANEAMENTO BÁSICO DO DISTRITO FEDERAL. (2012) PGIRH-DF - Plano de Gerenciamento Integrado dos Recursos Hídricos do Distrito Federal. Brasília, DF: ADASA, GDF, Ecoplan. [https://www.adasa.df.gov.br/images/storage/programas/PIRHFinal/PGIRH\\_relatorio\\_sintese\\_versa\\_ofinal.pdf](https://www.adasa.df.gov.br/images/storage/programas/PIRHFinal/PGIRH_relatorio_sintese_versa_ofinal.pdf).
- Alves, C.E.S.; Oliveira, M.F. (2106) Meu Araguaia, muitos rios no processo de apropriação do espaço. *In: SEMINÁRIO DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO, ENSINO E EXTENSÃO DO CCSEH – SEPE, 2016, Anápolis, p. 1-10*. <https://www.anais.ueg.br/index.php/sepe/article/view/7517/5003.pdf>
- Behmel, S.; Damour, M.; Ludwig, R.; Rodriguez, M.J. (2016) Water quality monitoring strategies—a review and future perspectives. *Sci Total Environ*, 2016, 571, 1312–1329. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.06.235>
- Chapman, D.V.; Sullivan, T. (2022) The role of water quality monitoring in the sustainable use of ambient waters. *One Earth*, 5(2), 132-137. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2022.01.008>
- Connor, R.; Coates, D. (2021) The state of water resources. *In: United Nations, The United Nations World Water Development Report 2021: Valuing Water*. UNESCO, Paris.
- Cordy, G.E. (2001) A primer on water quality. USGS, EUA, 2 pp. <http://pubs.usgs.gov/fs/fs-027-01/pdf/FS-027-01.pdf>

- Damania, R.; Desbureaux, S.; Rodella, A.-S.; Russ, J.; Zaveri, E. (2019). *Quality Unknown: The Invisible Water Crisis*. Washington, DC: World Bank.. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/32245>
- Dash, S.; Kalamdhad, A.S. (2021) Science mapping approach to critical reviewing of published literature on water quality indexing. *Ecol Indic* 128. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107862>
- Felipe-Sotelo, M.; Henshall-Bell, E.R.; Evans, N.D.M.; Read, D. (2015) Comparison of the chemical composition of British and Continental European bottled waters by multivariate analysis. *Journal of Food Composition and Analysis*, 39(15): 33-42, <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2014.10.014>
- Fu L, Wang YG (2012) *Statistical Tools for Analyzing Water Quality Data*. In: Voudouris, K. and Voutsas, D. *Water Quality Monitoring and Assessment*. Intechopen. Croatia <https://www.intechopen.com/books/1998>
- Gesualdo, G.C.; Sone, J.S.; Galvão, C.O.; Martins, E.S.; Montenegro, S.M.G.L.; Tomasella, J.; Mendiõdo, E.M. (2021) Unveiling water security in Brazil: current challenges and future perspectives, *Hydro Sci J*, 66(5): 759-768, <https://doi.org/10.1080/02626667.2021.1899182>
- Getirana, A.; Libonati, R., Cataldi, M. (2021) Brazil is in water crisis - it needs a drought plan. *Nature* 600, 218–220. <https://doi.org/10.1038/d41586-021-03625-w>
- Gupta, S.; Gupta, S. K. (2021) A critical review on water quality index tool: Genesis, evolution and future directions. *Ecol Infom*, 63: 101299. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2021.101299>
- Han, Q.; Tong, R.Z.; Sun, W.C.; Zhao, Y.; Yu, J.S.; Wang, G.Q.; Shrestha, S.; Jin, Y.L. (2020) Anthropogenic influences on the water quality of the Baiyangdian Lake in North China over the last decade. *Sci Total Environ*, 701: 134929.
- He, C., Liu, Z., Wu, J. *et al.* (2021) Future global urban water scarcity and potential solutions. *Nat Commun* 12, 4667. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-25026-3>
- Latrubesse, E.M.; Amsler, M.; Morais, R.P.; Aquino S. (2009). The Geomorphologic response of a large pristine alluvial river to tremendous deforestation in the South American tropics: the case of the Araguaia River. *Geomorphology* 113: 239-252. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2009.03.014>
- Lima, J.E.F.W.; Freitas, G.K.; Pinto, M.A.T.; Salles, P.S.B.A. (2018) *Gestão da crise hídrica 2016-2018: experiências do Distrito Federal*. Brasília, DF: Adasa, Caesb, Seagri, Emater-DF, 328 p. <https://www.adasa.df.gov.br/images/banners/alta.pdf>
- Mehmood H. (2019) *Bibliometrics of Water Research: A Global Snapshot*. UNU-INWEH Report Series, Issue 06. United Nations University Institute for Water, Environment and Health, Hamilton, Canada.
- Mertler, C.A.; Reinhart, R.V. (2017) *Advanced and Multivariate Statistical Methods: Practical Application and Interpretation*. 6th ed. Routledge, Taylor & Francis.
- Paiva, R.C.D.; Chaffe, P.L.B.; Anache, J.A.A.; Fontes, A.F. (2020) Advances and challenges in the water sciences in Brazil: a community synthesis of the XXIII Brazilian Water Resources Symposium. *RBRH*, v. 25, e50. <https://doi.org/10.1590/2318-0331.252020200136>
- Pelicice, F.M.; Agostinho, A.A.; Akama, A. *et al.* (2021) Large-scale Degradation of the Tocantins-Araguaia River Basin. *Environ Manag* 68, 445–452. <https://doi.org/10.1007/s00267-021-01513-7>
- Shrestha, S.; Kazama, F. (2007) Assessment of surface water quality using multivariate statistical techniques: A case study of the Fuji river basin, Japan. *Environ. Model. Softw.* 22(4): 464-475. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2006.02.001>

- Siepak, M.; Sojka M. (2017) Application of multivariate statistical approach to identify trace elements sources in surface waters: a case study of Kowalskie and Stare Miasto reservoirs, Poland. *Environ Monit Assess* 189: 364. <https://doi.org/10.1007/s10661-017-6089-x>
- Strauch, M.; Lima, J.E.F.W.; Volk, M.; Lorz, C.; Makeschin, F. (2103) The impact of Best Management Practices on simulated streamflow and sediment load in a Central Brazilian catchment. *J Environ Manag*, 127: S24-S36. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.01.014>.
- Uddin, M. G.; Nash, S.; Olbert, A. I. (2021) A review of water quality index models and their use for assessing surface water quality. *Ecol Indi*, 122: 107218. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107218>
- UNEP (2021) Progress on Integrated Water Resources Management. Tracking SDG 6 series: global indicator 6.5.1 updates and acceleration needs. <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/36690/PIWRS6.5.1.pdf>
- UN-Water (2016) Water and Sanitation Interlinkages across the 2030 Agenda for Sustainable Development, Geneva. <http://www.unwater.org/publications/water-sanitation-interlinkages-across-2030-agenda-sustainable-development.pdf/>

**PARTE I – FERRAMENTAS DE AVALIAÇÃO E DIVULGAÇÃO DA QUALIDADE  
DA ÁGUA**

## CAPÍTULO 1

### ANÁLISE ESTATÍSTICA MULTIVARIADA PARA A PESQUISA DE QUALIDADE DA ÁGUA: UMA REVISÃO CIENCIOMÉTRICA (2001-2020)

#### MULTIVARIATE STATISTICAL ANALYSIS FOR WATER QUALITY RESEARCH: A SCIENTOMETRIC REVIEW (2001-2020)

Capítulo submetido na revista “*International Journal of Environmental Research and Public Health*” (Qualis A2 Ciências Ambientais).

**RESUMO:** A pesquisa sobre a qualidade da água é um passo fundamental no apoio à manutenção da saúde ambiental e dos ecossistemas aquáticos. Os elementos envolvidos na análise da qualidade da água são multidimensionais, pois inúmeras características podem ser medidas simultaneamente. Esse caráter multidimensional estimula os pesquisadores a examinarem estatisticamente os dados gerados por meio da Análise Estatística Multivariada (AEM). O objetivo desta revisão foi explorar as pesquisas sobre qualidade da água por meio da AEM entre os anos de 2001 e 2020, presentes na base de dados *Web of Science* (WoS). Os tópicos abordados na cienciométrica foram: resultados anuais, categorias de assuntos da WoS, periódicos convencionais, publicações mais citadas, palavras-chave, tipos de amostras de água analisadas, País ou território onde o estudo foi realizado e análise estatística multivariada mais utilizada. Os resultados demonstram um aumento considerável nas pesquisas utilizando AEM em estudos de qualidade da água nos últimos vinte anos, principalmente em Países em desenvolvimento. A pesquisa apontou que os tipos de amostra de água mais estudados foram *Rio*, *Água Subterrânea* e *Lago*, sendo os Países da China, Índia e EUA os que mais conduziram estudos sobre o tema. Em ordem decrescente, Análise de Componentes Principais (ACP), Análise de Agrupamentos Hierárquicos (AAH), Análise Fatorial (AF) e Análise Discriminante (AD) foram as técnicas mais utilizadas.

**Palavras-chave:** qualidade da água, análise multivariada, recursos hídricos, cienciométrica

**ABSTRACT:** Research on water quality is a fundamental step in supporting the maintenance of environmental and human health. The elements involved in water quality analysis are multidimensional, because numerous characteristics can be measured simultaneously. This multidimensional character encourages researchers to examine statistically the data generated through Multivariate Statistical Analysis (AEM). The objective of this review was to explore the research on water quality through AEM between the years 2001 and 2020, present in the Web of Science (WoS) database. Annual results, WoS subject categories, conventional journals, most cited publications, keywords, water sample types analyzed, country or territory where the study was conducted and most used multivariate statistical analysis were topics covered. The results demonstrate a considerable

increase in research using AEM in water quality studies in the last twenty years, especially in developing countries. *River*, *Groundwater* and *Lake* were the most studied water sample types and China, India and USA were the countries that most conducted studies on the subject. In descending order, Principal Component Analysis (PCA), Hierarchical Cluster Analysis (HCA), Factor Analysis (FA) and Discriminant Analysis (DA) were the most used techniques.

**Keywords:** water quality, multivariate analysis, water resources, scientometrics

## 1. Introdução

A água tem recebido grande visibilidade e atenção na agenda de sustentabilidade global, devido à pressão cada vez maior de fatores como modelos de desenvolvimento econômico, mudanças climáticas, crescimento populacional e saúde pública (Levallois e Villanueva, 2019; Mehmood, 2019). O objetivo de desenvolvimento sustentável número 6 (ODS6) da Agenda 2030 das Nações Unidas para o Desenvolvimento Sustentável é inteiramente dedicado à água e, além de abordar grandes desafios de acesso universal ao saneamento e à água em quantidade e qualidade desejáveis, apresenta questões relacionadas à gestão dos recursos hídricos (UN-Water, 2016).

A análise, avaliação e o monitoramento da qualidade da água são importantes ferramentas da gestão dos recursos hídricos, fornecendo uma compreensão abrangente do estado da água (Moriarty et al., 2007; Cosgrove e Loucks, 2015). Embora os dados de qualidade da água em nível global permaneçam esparsos, devido principalmente à falta de monitoramento em Países menos desenvolvidos, há uma tendência no aumento desses dados, gerados por estudos que analisam a qualidade da água (Mehmood 2019; Connor e Coates, 2021).

A qualidade da água pode ser entendida como uma medida da adequação da água em relação à qualidade natural, efeitos da poluição ou uso específico baseado em atributos físicos, químicos e biológicos (Meybeck et al., 1996). Essa medida fornece evidências objetivas necessárias na tomada de decisões na gestão de recursos hídricos, sendo utilizada em programas de monitoramento da qualidade da água (Behmel et al., 2016), no alerta para problemas atuais e emergentes, na determinação do cumprimento de normas legais, proteção de usos benéficos da água, avaliação do estado ambiental, tendências temporais na qualidade da água (Haener, 2018) e avaliação dos efeitos nos ecossistemas aquáticos (Dallas e Day, 2004).

Os elementos envolvidos na medição da qualidade da água são naturalmente multidimensionais, pois muitos aspectos devem ser considerados. Além disso, a presença de fatores externos antrópicos, geológicos, meteorológicos e hidrológicos contribui para a variação espacial e temporal da qualidade da água (He, 2016). Essa natureza multidimensional estimula os pesquisadores a examinar estatisticamente os dados gerados. A seleção dos métodos estatísticos mais apropriados é fundamental para obter resultados significativos, especialmente ao avaliar conjuntos de dados complexos.

Dentre as diferentes abordagens na exploração das variáveis analisadas na qualidade da água, destaca-se a Análise Estatística Multivariada (AEM) (Chahouki, 2011; Fu e Wang, 2012). A AEM é aplicada em muitos campos de estudo e seu uso tornou-se muito comum devido em grande parte à natureza cada vez mais complexa dos projetos e questões de pesquisa. Tem como objetivo explicar ou prever as relações entre muitas variáveis independentes e/ou dependentes que estão correlacionadas entre si. Quanto maior o número de variáveis, mais difícil se torna a análise por métodos comuns. A AEM pode fornecer uma abordagem descritiva (padrões nos dados) e inferencial (testando hipóteses sobre padrões de interesse) (Rencher e Christensen, 2012; Mertler e Reinhart, 2017).

AEM é um conjunto de técnicas de análise de dados que está em constante desenvolvimento. Dentre as análises multivariadas mais estabelecidas, destacam-se a análise de componentes principais e análise fatorial comum, regressão múltipla e correlação múltipla, análise discriminante múltipla, análise multivariada de variância e covariância, correlação canônica, análise de cluster, escala multidimensional e análise de correspondência (Hair et al., 2014; Tabachnik e Fidell, 2018). Essas técnicas são ferramentas valiosas em estudos científicos que avaliam os recursos hídricos, e entender como elas têm sido aplicadas é essencial para melhorar a pesquisa e a gestão da qualidade da água.

Nesse sentido, a cienciometria surgiu como uma ferramenta útil no mapeamento da literatura científica, sendo utilizada em diferentes áreas de pesquisa, como saúde pública (Wang et al., 2020), ciências sociais (Missen et al., 2020) e ambientais (Fernandes et al., 2021). A análise cienciométrica pode aumentar o desempenho dos achados da pesquisa, identificando as características das publicações (Bornmann e Leydesdorff, 2020) e também fornece resultados científicos e relevantes no estudo de assuntos específicos (Zang et al., 2017).

Na área de recursos hídricos, tem sido utilizada, por exemplo, em pesquisas de mapeamento sobre água potável (Fu et al., 2013), águas subterrâneas (Niu et al., 2014), avaliação e simulação da qualidade da água fluvial (Wang et al., 2016) e avaliação e modelagem integrada da água (Zare et al., 2017).

O objetivo deste estudo é apresentar uma revisão cientométrica de pesquisas publicadas entre os anos de 2001 e 2020, que utilizaram AEM para análise de dados de qualidade da água. Os resultados deste estudo permitirão inferir como e onde AEM tem sido aplicada, constituindo um passo importante para o processo de pesquisa.

## **2. Metodologia**

Os dados foram obtidos do banco de dados expandido da *Web of Science* (WoS) da *Clarivate Analytics*, o banco de dados de publicações e citações de pesquisa mais utilizado do mundo (Li et al., 2018; Birkle et al., 2020). De acordo com o *Journal Citation Reports* (JCR) de 2021, a WoS indexou 20.942 periódicos em 254 categorias de pesquisa, com autoria de 113 Países representados (Clarivate, 2022). Foi realizada uma busca avançada com os termos TS (topic) = (*water quality* AND *multivariate*) dentro da limitação do ano de publicação de 2001 a 2020.

Os critérios adotados no levantamento cientométrico abrangem aspectos quantitativos descritivos das publicações, tais como: tipo de publicação, resultados anuais, periódicos convencionais, categorias de assuntos da WoS, publicações mais citadas, palavras-chave, bem como o tipo de amostra de água analisada, País ou território onde o estudo foi realizado e as AEMs mais utilizadas em estudos envolvendo análise da qualidade da água.

No total, 5.006 publicações atenderam aos critérios de busca. Os registros relacionados ao tipo de publicação, autores, título, nome do periódico, idioma, palavras-chave, resumo, ano de publicação, categorias de assunto da WoS e número de citações foram baixados da base de dados. Foi realizada codificação manual para o País/território (onde as amostras de água foram amostradas), tipo de amostra de água, AEM usado nos estudos, o *índice-h* de cada País e fator de impacto do periódico (JIF), este último retirado do JCR publicado em 2020. A busca por palavras-chave foi realizada usando o software *VOSViewer*<sup>TM</sup>, versão 1.6.18 (Leiden, Holanda) para identificar a frequência de

coocorrência de palavras-chave - no nosso caso, as palavras-chave dos autores - para identificar possíveis agrupamentos de termos mais usados.

Os tipos de amostras de água foram classificados em 12 categorias diferentes, levando em conta as fontes ou usos da água. Termos análogos ou sinônimos foram compilados para serem incluídos nas seguintes categorias: rio, água subterrânea, lago, água potável, água do mar, águas residuais, reservatório/barragem, pântano, água da chuva, lagoa de aquicultura, água de degelo e canal de navegação.

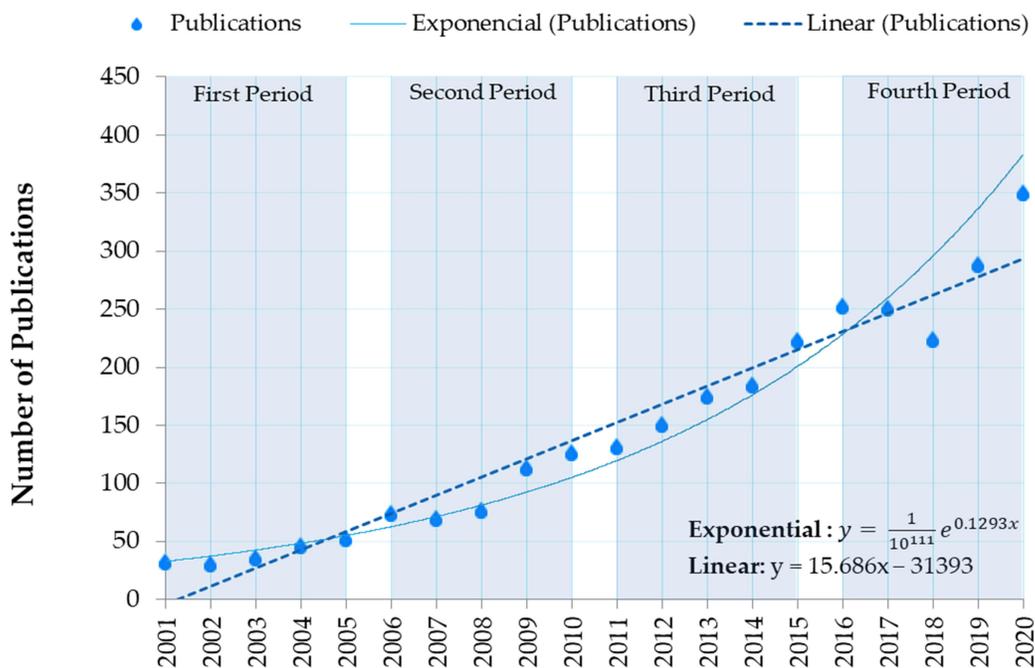
Foram excluídos documentos em idiomas diferentes do inglês, estudos experimentais ou laboratoriais, revisões, retratações e qualquer outro que não atendesse aos seguintes critérios: água como matriz de análise e estudos que não aplicaram AEM na avaliação de dados (análises estatísticas descritivas ou univariadas, índices, modelos). Com isso, a base de dados final que foi analisada continha 2.889 publicações.

### **3. Resultados e Discussão**

#### ***3.1. Saídas de publicações e Categorias de assuntos da WoS***

Em relação à categoria “tipo de publicação”, das 2.889 publicações analisadas “artigo de periódico” ficou em primeiro lugar com 93,53% (2.702), seguido por “artigos publicados em anais de eventos” com 6,47% (187) das publicações. O número de publicações relacionadas ao uso da AEM na pesquisa de qualidade da água passou de 32 em 2001 para 350 em 2020, um crescimento significativo nos últimos 20 anos, sendo 2020 o ano com maior número de publicações (Figura 1).

Esse aumento no número de estudos que utilizaram AEM na pesquisa de qualidade da água está diretamente ligado ao fato de que houve um aumento nas publicações científicas como um todo. Somente na última década houve um aumento de cerca de 4% ao ano na produção global de pesquisa, abrangendo artigos científicos revisados por pares e artigos de conferências, nas mais diversas áreas, incluindo pesquisa sobre água (Bormann et al., 2021).



**Figura 1.** Relação entre o número de publicações e o ano.

A produção científica foi dividida em quatro períodos distintos. O primeiro período (2001-2005) é composto por 197 publicações, representando 6,82% do total de publicações, sendo 2002 o ano com menor número de publicações no período (31 publicações). Entre as cinco publicações mais citadas (segundo a base de dados WoS) do período, há estudos que utilizaram AEM na análise de matrizes complexas para avaliar a qualidade da água em rios (Guler et al., 2002; Simeonov et al., 2003; Singh et al., 2004) e água subterrânea (Reghunath et al., 2002).

O segundo período (2006-2010), composto por 460 publicações, representa 15,92% do total de publicações. É nesse período que se encontra a publicação mais citada sobre o assunto, onde a AEM foi utilizada como ferramenta na avaliação temporal e espacial de uma extensa matriz de dados de um rio (Shrestha e Kazama, 2007). As outras quatro publicações mais citadas do período utilizaram a AEM para auxiliar pesquisas em águas subterrâneas (Kumar et al., 2006; Cloutier et al., 2008), lago (Kazi et al., 2008) e rio (Li e Zhang, 2010).

O terceiro período (2011-2015) é composto por 866 publicações, o que corresponde a 29,98% do total. Para este período analisado, as publicações mais citadas aplicaram a AEM na análise da

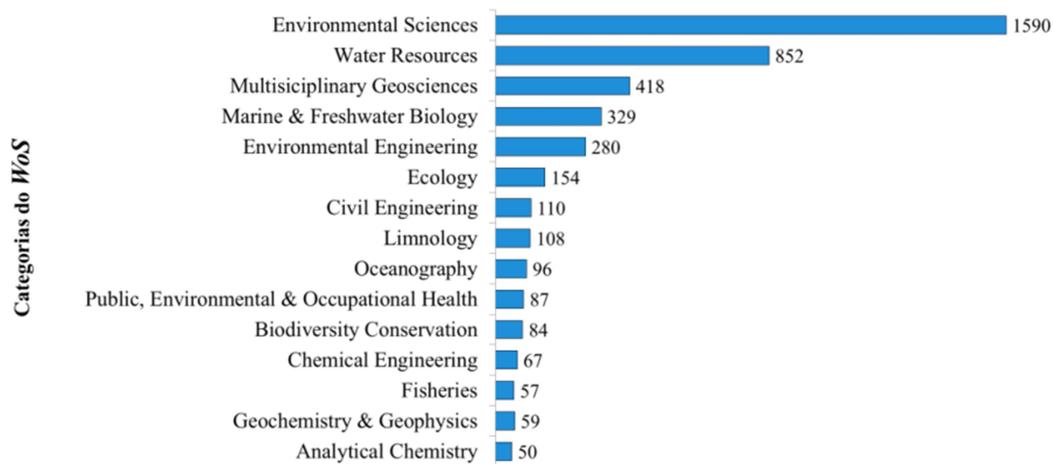
influência de fatores naturais e antropogênicos na qualidade das águas superficiais (rio) e subterrâneas em áreas urbanas e rurais (Khatri e Tyagi, 2014), na análise de flúor, arsênio e parâmetros físico-químicos em águas subterrâneas (Brahman, et al., 2013), na avaliação de metais pesados no compartimento água-sedimento de um rio (Fu et al., 2014) e na identificação de fontes de contaminação de águas subterrâneas em um sistema aquífero (Machiwal e Jha, 2015).

O quarto e último período analisado (2016-2020) representa quase metade do total de publicações (20 anos) com 47,28% ou 1.366 publicações. Esse aumento considerável se deve principalmente ao crescimento global de publicações científicas nos últimos 10 anos, impulsionado pelo crescimento econômico de Países emergentes, aumento da colaboração internacional em pesquisa e melhorias de acesso à tecnologia (National Science Board, 2020; Bornmann et al., 2021).

Dos cinco artigos mais citados no quarto período, quatro deles aplicaram a AEM na pesquisa de qualidade de águas subterrâneas: para avaliação de risco à saúde (Chabukdhara et al., 2017), para análise de contaminação por oligoelementos (Kumar et al., 2017), para avaliação de processos hidrogeoquímicos e avaliação da qualidade de água para uso doméstico e irrigação (Li et al., 2019a); e na avaliação de arsênico e metais pesados (Rasool et al., 2016).

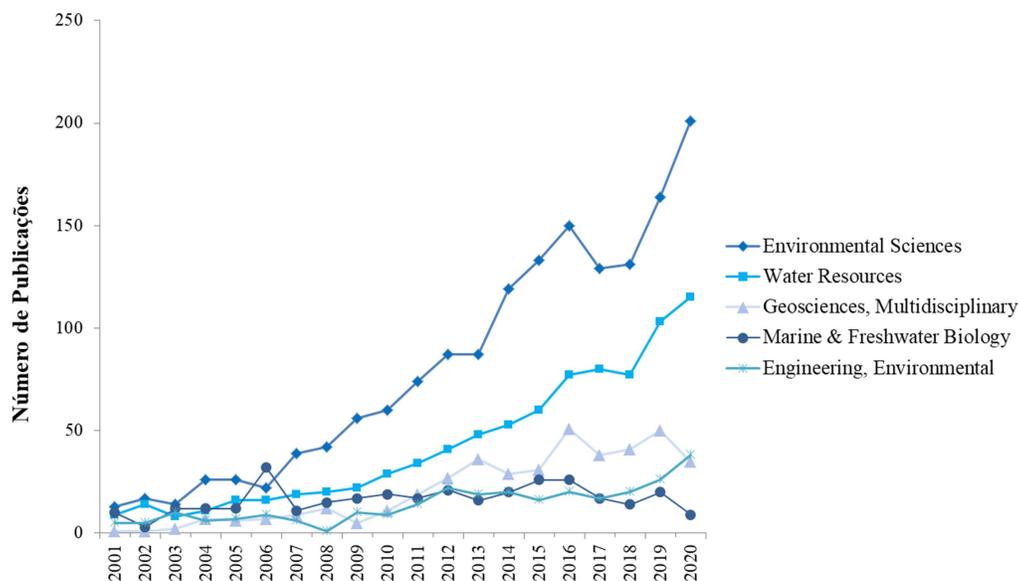
Os estudos relacionados ao tema retornaram um total de 77 categorias de assuntos da WoS. Das 2.889 publicações, 1.484 foram classificadas em uma categoria de assunto, 727 em duas categorias, 552 em três categorias, 108 em quatro categorias e apenas 6 publicações foram classificadas em cinco categorias de assunto. Na Figura 2 é mostrado as 15 categorias que mais apareceram nos estudos, com *Environmental Science* totalizando 1.590 publicações, seguidas pelas categorias *Water Resources* (852), *Multidisciplinary Geosciences* (418), *Marine & Freshwater Biology* (329) e *Environmental Engineering* (280 publicações).

A categoria *Environmental Science* esteve no topo das publicações desde o início do período analisado, com exceção do ano de 2006, em que *Marine & Freshwater Biology* superou o número de publicações. A categoria *Water Resources* apresentou crescimento a partir de 2007, enquanto a categoria *Marine & Freshwater Biology* apresentou comportamento inverso a partir do mesmo ano. A partir de 2012, a categoria *Multidisciplinary Geosciences* ultrapassou a categoria *Marine & Freshwater Biology*, permanecendo em terceiro lugar até 2019.



**Figura 2.** As quinze categorias de assuntos do *Web of Science* mais encontradas.

De acordo com o escopo das categorias de assuntos da WoS, *Environmental Science* abrange diversas áreas do meio ambiente, como monitoramento, tecnologia, gestão, contaminação ambiental, toxicologia, saúde ambiental, geologia, ciência e conservação do solo, pesquisa e engenharia de recursos hídricos, mudanças climáticas, conservação da biodiversidade e até recursos naturais regionais. Por incluir várias disciplinas inter-relacionadas, essa categoria foi incluída em mais da metade das publicações.



**Figura 3.** Tendência temporal das cinco principais categorias de assuntos da *WoS* entre 2001 e 2020.

### 3.2. Periódicos chaves e Artigos mais citados

Um total de 604 periódicos publicaram estudos relacionados à análise da qualidade da água e o uso de AEM no período de 2001 a 2020. Destes, 498 (82,45%) continham menos de 10 publicações. Na Tabela 1 são apresentados os 10 periódicos que mais publicaram sobre o uso do AEM em pesquisas de qualidade da água, o Fator de Impacto desses periódicos (com e sem autocitação) e o percentual em relação ao total de publicações analisadas ( $n = 2.889$ ). *Water Research* (JIF 11.263), *Science of Total Environment* (JIF 7.963) e *Marine Pollution Bulletin* (JIF 5.553) foram os periódicos com maior fator de impacto. *Environmental Monitoring and Assessment* foi o periódico com mais publicações sobre o tema, com 8,10% do total de publicações, seguido por *Environmental Earth Sciences* (4,91%), *Environmental Science and Pollution Research* (3,08%), *Science of Total Environment* (2,56%) e *Water* (2,32%).

**Tabela 1.** Total de publicações, porcentagem em relação ao total e fator de impacto dos 10 periódicos mais produtivos.

Periódico	JIF <sub>A</sub>	JIF <sub>B</sub>	TP (%)
<i>Water Research</i>	11,263	10,177	44 (1,52)
<i>Science of the Total Environment</i>	7,963	6,938	74 (2,56)
<i>Marine Pollution Bulletin</i>	5,553	4,568	49 (1,70)
<i>Ecological Indicators</i>	4,958	4,424	61 (2,11)
<i>Environmental Science and Pollution Research</i>	4,223	3,509	89 (3,08)
<i>Water</i>	3,103	2,390	67 (2,32)
<i>Environmental Earth Sciences</i>	2,784	2,660	142 (4,91)
<i>Hydrobiologia</i>	2,694	2,414	52 (1,80)
<i>Environmental Monitoring and Assessment</i>	2,513	2,346	234 (8,10)
<i>Arabian Journal of Geosciences</i>	1,827	1,563	51 (1,71)

JIF<sub>A</sub> = Fator de Impacto em 2020 / JIF<sub>B</sub> = Fator de Impacto sem autocitação em 2020 / TP = Total de Publicações

*Water Research* é classificado como o segundo periódico mais publicado na categoria de assunto *Water Resources* da base de dados WoS (Elsiever, 2022). É uma das principais e mais abrangentes revistas com foco em vários aspectos, como o ciclo antropogênico da água, qualidade da água e gestão da água, refletindo assim os avanços na ciência, tecnologia e política da água (Chen et al., 2022). A revista *Water Research* também foi a revista mais produtiva no estudo cientométrico de tecnologias de tratamento de água potável (Gonzales et al., 2021) e a segunda revista mais produtiva

no estudo cientométrico sobre avaliação quantitativa de risco microbiano na análise da qualidade da água (Nyika e Dinka, 2022).

A revista *Environmental Monitoring and Assessment* (JIFA 2.513) foi a mais produtiva na análise cientométrica da pesquisa de qualidade da água na Índia (Nishy e Saroja, 2018) e no mapeamento científico da literatura publicada sobre Índices de Qualidade da Água (IQA) (Dash e Kalamdhad, 2021).

Na Tabela 2 são apresentadas as 15 publicações mais citadas na pesquisa de qualidade da água utilizando AEM, segundo a base de dados WoS.

**Tabela 2.** Os 15 artigos mais citados sobre o tema, segundo base de dados da WoS.

<b>Autores</b>	<b>Título</b>	<b>Ano</b>	<b>Citações*</b>	<b>Periódico</b>	<b>Acesso Aberto</b>	<b>AEM</b>	<b>Tipo de Amostra de Água</b>
Shrestha and Kazama	Assessment of surface water quality using multivariate statistical techniques: A case study of the Fuji river basin, Japan	2007	1,207	Environmental Modelling & Software	Sim	AAH / ACP-AF / AD	Rio
Singh et al.	Multivariate statistical techniques for the evaluation of spatial and temporal variations in water quality of Gomti River (India) - a case study	2004	975	Water Research	Sim	AAH / ACP-AF / AD	Rio
Simeonov et al.	Assessment of the surface water quality in Northern Greece	2003	792	Water Research	Sim	AAH / ACP	Rio
Singh et al.	Water quality assessment and apportionment of pollution sources of Gomti river (India) using multivariate statistical techniques - a case study	2005	608	Analytica Chimica Acta	Sim	AAH / ACP	Rio
Güler et al.	Evaluation of graphical and multivariate statistical methods for classification of water chemistry data	2002	600	Hydrogeology Journal	Sim	AAH / AAK / ACP	Rio e Água Subterrânea
Cloutier et al.	Multivariate statistical analysis of geochemical data as indicative of the hydrogeochemical evolution of groundwater in a sedimentary rock aquifer system	2008	423	Journal of Hydrology	Sim	AAH / ACP	Água Subterrânea
Kazi et al.	Assessment of water quality of polluted lake using multivariate statistical techniques: A case study	2008	389	Ecotoxicology and Environmental Safety	Sim	AAH / ACP	Lago
Borsuk et al.	A Bayesian network of eutrophication models for synthesis, prediction, and uncertainty analysis	2004	330	Ecological Modelling	Sim	ARM	Água do Mar

Reghunath et al.	The utility of multivariate statistical techniques in hydrogeochemical studies: an example from Karnataka, India	2002	327	Water Research	Sim	AAH / AF	Água Subterrânea
Kumar et al.	Identification and evaluation of hydrogeochemical processes in the groundwater environment of Delhi, India	2006	268	Environmental Geology	Sim	AF	Água Subterrânea
Potapova and Charles	Benthic diatoms in USA rivers: distributions along spatial and environmental gradients	2002	262	Journal of Biogeography	Sim	ACC / ACD	Rio
Li and Zhang	Risk assessment and seasonal variations of dissolved trace elements and heavy metals in the Upper Han River, China	2010	249	Journal of Hazardous Materials	Sim	ACP/AF	Rio
Kowalkowski et al.	Application of chemometrics in river water classification	2006	243	Water Research	Sim	AAH / ACP	Rio
Hildebrant et al.	Impact of pesticides used in agriculture and vineyards to surface and groundwater quality (North Spain)	2008	236	Water Research	Sim	ACP	Água Subterrânea
Krishna et al.	Assessment of heavy metal pollution in water using multivariate statistical techniques in an industrial area: A case study from Patancheru, Medak District, Andhra Pradesh, India	2009	227	Journal of Hazardous Materials	Sim	ACP-AF	Rio e Água Subterrânea

\* Número de citações até a data de submissão / AEM = Análise Estatística Multivariada / AAH = Análise de Agrupamento Hierárquico / ACP = Análise de Componentes Principais / AF = Análise de Fatores / AD = Análise Discriminante / AAK = Análise de Agrupamento *K-means* / ARM = Análise de Regressão Multivariada / ACC = Análise de Correspondência Canônica / ACD = Análise de Correspondência Detrêntica

Como pode ser visto na Tabela 2, os 15 estudos mais citados na pesquisa de qualidade da água utilizando AEM foram publicados entre 2002 e 2010. O tipo de amostra de água classificada como *Rio* foi analisada em nove das 15 publicações, *Água Subterrânea* em seis publicações, *Lago* e *Água do Mar* analisadas em uma publicação cada.

Dessas 15 publicações, cinco foram publicadas na revista *Water Research* e todas foram publicadas em sistema de acesso aberto. Estudos mostraram que artigos de acesso aberto têm mais citações do que a média de artigos de acesso não aberto, além de benefícios, como maiores chances de divulgação e um aumento mais amplo na confiança da pesquisa (Piwowar et al., 2018; Langham-Putrow et al., 2021).

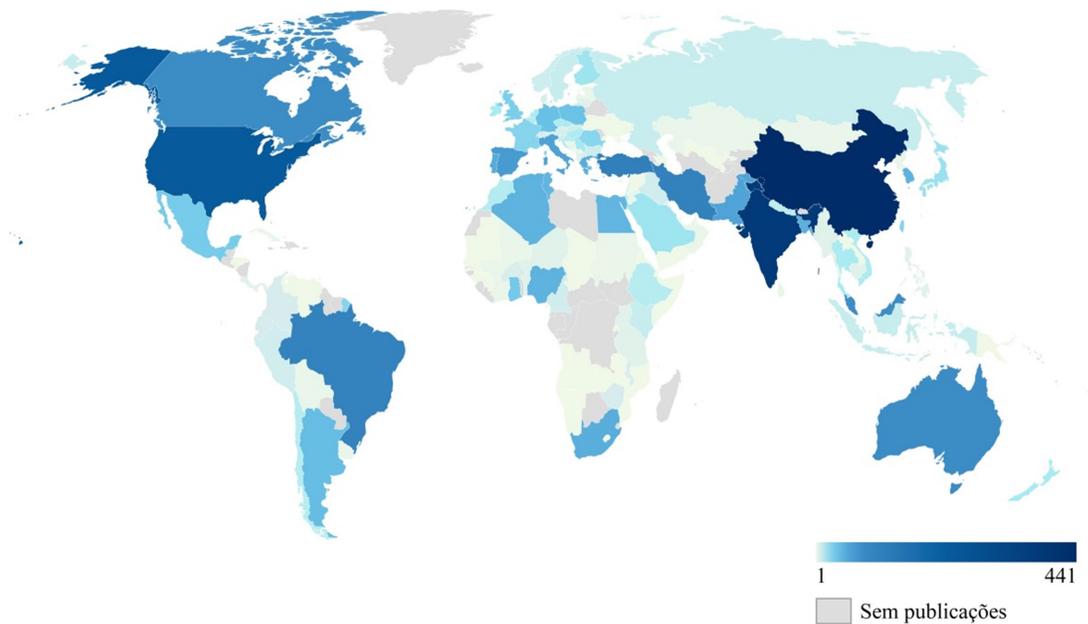
A publicação mais frequentemente citada, com 1.207 citações, foi “*Assessment of surface water quality using multivariate statistical techniques: a case study of the Fuji river basin, Japan*” (Shrestha e Kazama, 2007). No artigo, os autores avaliaram temporal e espacialmente uma grande

matriz de dados de qualidade da água de um importante rio da região usando AEM, como análise de cluster, análise de componentes principais, análise fatorial e análise discriminante.

A segunda publicação mais citada, “*Multivariate statistical techniques for the evaluation of spatial and temporal variations in water quality of Gomti River (India) - a case study*” (Singh et al., 2004), com 975 citações, avaliou a qualidade da água do maior afluente do Rio Ganges, na Índia. Os autores analisaram uma extensa matriz de dados com 17.790 observações, usando quatro tipos diferentes de AEM (Tabela 2).

### 3.3. Países/Territórios e Tipos de recursos hídricos

A distribuição geográfica mundial da pesquisa de qualidade da água usando AEM entre 2001 e 2020 é mostrada na Figura 4. As pesquisas científicas que utilizaram a AEM na análise de dados de qualidade da água foram conduzidas em 134 Países ou territórios diferentes. Desse total, 87 Países tiveram menos de 10 estudos sobre o assunto. A China foi o País com maior número de estudos que utilizaram AEM para pesquisa de qualidade da água, com um total de 441 publicações, seguida da Índia com 371 publicações e dos EUA com 229 publicações.



**Figura 4.** Distribuição geográfica mundial da pesquisa sobre qualidade da água utilizando métodos estatísticos multivariados entre 2001 e 2020. Fonte: autores.

Em um estudo cientiométrico realizado em 2017, foi demonstrado que China, Índia e EUA foram responsáveis por 38% das pesquisas globais relacionadas à água. De um total de 224.000 publicações, a China foi responsável por 19% das publicações, seguida pelos EUA (14%) e Índia (5%) (Mehmood, 2019). O fato de China, Índia e EUA liderarem o número de publicações reflete a tendência geral de esses Países possuírem o maior número de todas as publicações científicas do mundo (World Bank, 2018). Na Tabela 3 são apresentados os 15 Países com maior número de publicações que usaram AEM na pesquisa de qualidade da água.

**Tabela 3.** Os 15 Países com maior número de publicações que usaram AEM na pesquisa de qualidade da água e seu *índice-h*.

País/Território	Total de Publicações (%)	Índice-h
China	441 (15,3)	1.112
Índia	371 (12,8)	745
EUA	229 (7,9)	2.711
Turquia	110 (3,8)	535
Irã	104 (3,6)	416
Brasil	101 (3,5)	690
Austrália	73 (2,5)	1.193
Canadá	72 (2,5)	1.381
Malásia	70 (2,4)	415
Espanha	62 (2,1)	1.073
Itália	58 (2,0)	1.189
Paquistão	56 (1,9)	353
Portugal	50 (1,7)	599
Grécia	48 (1,7)	610
África do Sul	47 (1,6)	567

Os corpos de água doce da China representam quase 7% do total de corpos de água doce do mundo, ocupando o sexto lugar global em termos de volume e com cerca de um terço dos lagos e rios poluídos a um nível que seu uso é inadequado para consumo humano. Com aproximadamente 18,5% da população mundial, a China enfrentou uma crise hídrica sem precedentes em termos de quantidade e qualidade (Udimal et al., 2017; Li et al., 2019b). Desde 2001, grandes esforços têm sido feitos para avaliar a poluição da água no País. Tais esforços podem ser evidenciados pelo aumento do número de publicações científicas relacionadas à água nos últimos anos na China, que possui o maior número em

impacto de pesquisa (Mehmood, 2019; Ma et al., 2020). Esses estudos estão focados principalmente na otimização da alocação de água, tecnologias avançadas para economizar e proteger os recursos hídricos, restaurar ecossistemas aquáticos e explorar fontes de água não convencionais (GWP, 2015).

A Índia, o segundo País com mais publicações sobre pesquisa de qualidade da água e AEM, possui aproximadamente 17,7% da população mundial e cerca de 4% de sua água doce. O rápido crescimento populacional e econômico do País colocou uma enorme pressão sobre seus recursos hídricos (Jain, 2017). Mais de 80% dos recursos de água doce são consumidos pela agricultura no País, e o advento de novas tecnologias tem levado ao aumento da produtividade agrícola e consequente aumento da degradação dos corpos hídricos. Portanto, tem havido um aumento nas pesquisas sobre a qualidade da água e sua estimativa qualitativa nos últimos anos. Os Países do sul da Ásia, principalmente Índia e China, experimentaram mudanças rápidas no uso e cobertura da terra. O desenvolvimento econômico acelerado levou à urbanização desordenada nesses Países, o que afetou a quantidade e a qualidade de seus recursos hídricos (Nishy e Saroja, 2018; Dash e Kalamdhad, 2021).

O Brasil ocupou o sexto lugar em número de publicações sobre pesquisa de qualidade da água utilizando AEM, com 101 publicações (3,5% do total). Estima-se que 12% dos recursos hídricos superficiais do mundo e 53 % dos recursos hídricos superficiais da América do Sul estão no Brasil, onde aproximadamente 85% das necessidades de água doce são supridas por águas superficiais, como rios, lagos e reservatórios, abrigando grande parte de algumas das maiores bacias hidrográficas do mundo, como a Bacia Amazônica (Latrubesse et al., 2017; Paiva et al., 2020).

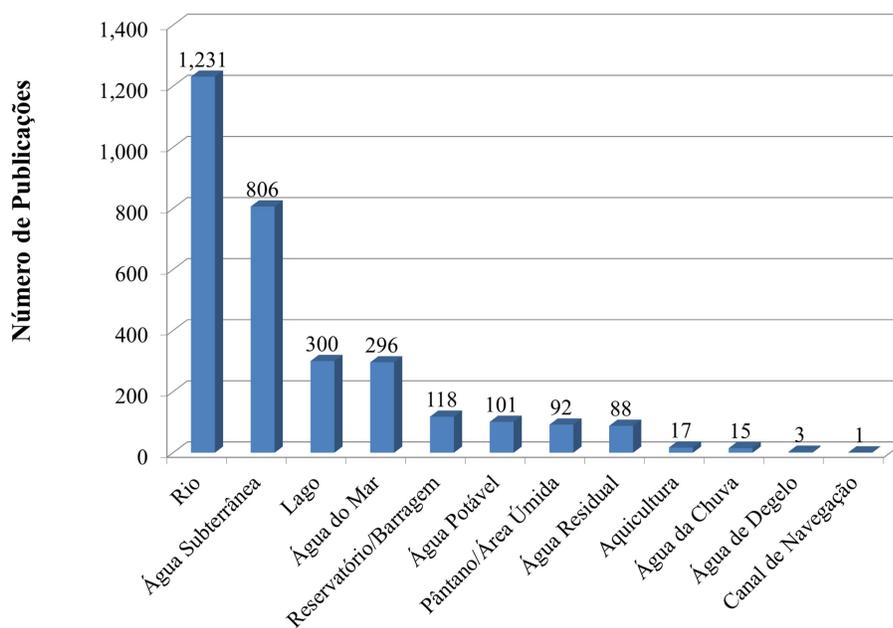
O *índice-h* visa quantificar a produtividade e o impacto dos cientistas com base em seus artigos mais citados. O maior *índice-h* descrito na Tabela 3 está correlacionado com a maior produção de pesquisa e citação em um País ou território. Os EUA têm o *índice-h* mais alto correspondente ao seu alto potencial para realizar pesquisas (Nyika e Dinka, 2022). A China, que foi o País mais produtivo, apresenta um *índice-h* mais baixo do que outros Países como Canadá e Austrália. Isso pode ser explicado pelo maior nível de cooperação na pesquisa entre esses Países, enquanto a China apresenta tendências de cooperação mais reservadas (Shi et al., 2021). A Tabela 4 apresenta os tipos de amostras de água mais comumente encontrados em publicações e seus termos análogos ou sinônimos.

**Tabela 4.** Tipos de Amostra de Água e termos análogos ou sinônimos.

<b>Tipo de Amostra de Água</b>	<b>Termos análogos ou sinônimos</b>
Rio	<i>River, stream, creek, headwater, spring, watercourse, running water, waterbody, rivulet, streamflow</i>
Água Subterrânea	<i>Groundwater, well, aquifer, mine, geothermal spring, artesian well, underground water, borehole, tubewells</i>
Lago	<i>Lake, lagoon, swamp, bog, lowland, boreal lake</i>
Água do Mar	<i>Seawater, marine, estuary, bay, reef, sea, estaurine water, coastal water, shore, coastal lagoon, coastal lake, coastal wetland, ballast water</i>
Reservatório/Barragem	<i>Reservoir, dam, barrage, dike, penstock, weir, dyke, embankment, catchment</i>
Água Potável	<i>Drinking water, water supply, tap water, bottled water, drinking water purification plant, water treatment plant, water treatment system, water systems, consumption water</i>
Pântano (Áreas Úmidas)	<i>Wetland, marsh, riverine</i>
Água Residual	<i>Wastewater, drainage water, reuse water, mine drainage, agricultural effluents, produced water</i>
Aquicultura	<i>Pond, aquaculture lake, fish tank</i>
Água da Chuva	<i>Precipitation, rainwater, stormwater, rainfall</i>
Água de Degelo	<i>Meltwater, snow water</i>
Canal de Navegação	<i>Navigation canal</i>

A amostra de água classificada como *Rio* foi a mais avaliada nos estudos, com 1.231 publicações (41%). A *Água Subterrânea* ficou em segundo lugar com 806 publicações (27%), seguida pela categoria *Lago* com 300 publicações (10%). As três categorias juntas representaram 78% do total de publicações (n = 2.889). *Rainwater*, *Meltwater* e *Navigation Channel* foram as categorias com menor número de publicações, com 15, 3 e 1 publicação, respectivamente. A Figura 5 apresenta as categorias de recursos hídricos encontradas nas publicações.

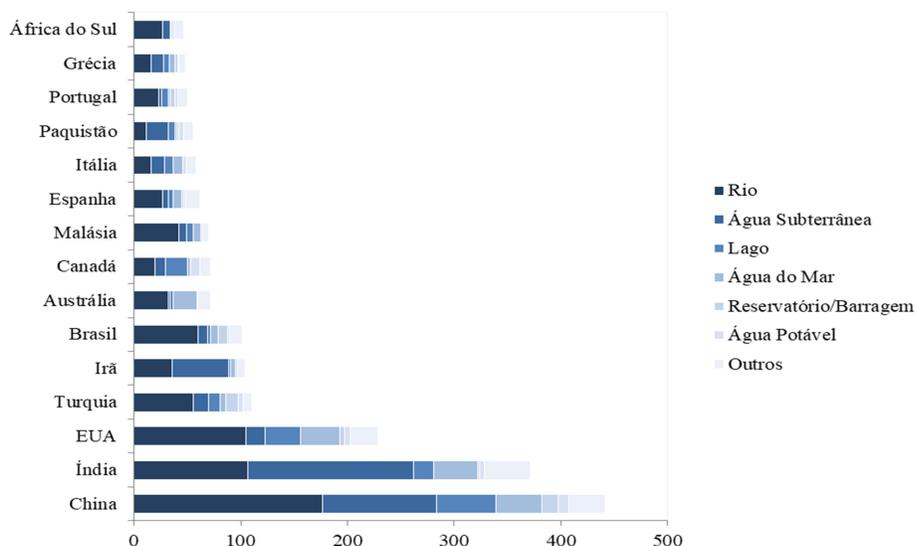
*Rio*, *Água Subterrânea* e *Lago* foram os tipos de amostra de água mais estudados, uma vez que são fontes de água doce úteis, importantes na manutenção da vida aquática de água doce e do ciclo hidrológico (Abbott et al., 2019). A categoria mais recorrente, os rios são os principais recursos hídricos interiores e prestam uma variedade de serviços aos seres humanos, sendo amplamente utilizados para fins domésticos e de irrigação (Nguyen et al., 2019).



**Figura 5.** As doze categorias de amostras de água encontradas nas publicações.

A água do rio está sujeita a grande estresse e, por ser utilizada em diversas atividades humanas, pode ser facilmente contaminada. Assim, os estudos de poluição das águas superficiais têm aumentado e se concentram principalmente nos rios, onde a maioria das ferramentas científicas desenvolvidas pelas agências reguladoras e de proteção são aplicadas para proteger a qualidade da água neste segmento de água doce superficial (Walker et al., 2019).

Conforme mostra a Figura 6, China, Índia e EUA foram os Países que mais publicaram estudos em que os pesquisadores avaliaram a qualidade da água do rio por meio da AEM. Esses três Países têm em comum o fato de possuírem grandes cursos d'água, utilizados para diversos fins, como o rio Mississippi nos EUA, e que vêm enfrentando sérios problemas de poluição, como o rio Amarelo na China e o rio Ganges na Índia (Araral e Ratra, 2016; Secchi e McDonald, 2019). Além disso, esses Países ocupam o 3º lugar (China), 4º (EUA) e 7º (Índia) em termos de tamanho de seus territórios e juntos têm cerca de 40% da população do planeta dependente de recursos hídricos (Wang et al., 2013; UN, 2019).



**Figura 6.** Tipos de amostras de água dos 15 Países que mais publicaram sobre o tema.

A “água subterrânea”, segunda categoria com maior número de estudos, é um importante recurso hídrico para a agricultura irrigada e principalmente para o abastecimento doméstico de água potável em vários Países. É um recurso vulnerável que compõe ativamente o ciclo hidrológico (Zhang et al., 2017). A pesquisa de águas subterrâneas aumentou nos últimos anos, principalmente devido à diminuição drástica dos níveis de água do aquífero e à deterioração geral da qualidade da água (Niu et al., 2014). Índia, Irã e Paquistão foram os Países onde o número de publicações que avaliaram as águas subterrâneas foi maior do que as publicações que avaliaram a qualidade da água dos rios (Figura 6).

A Índia é o maior consumidor de água subterrânea do mundo, com uma extração anual de 243 km<sup>3</sup>. Aproximadamente 85% das áreas rurais utilizam águas subterrâneas para abastecimento, 62% para irrigação e mais de 50% do consumo urbano do País vem de aquíferos. Atualmente, o número de poços utilizados para irrigação no País é estimado em mais de 25 milhões (Saha et al., 2018).

O Irã também está entre os maiores consumidores de água subterrânea do mundo e com a maioria da população vivendo em áreas altamente dependentes de água subterrânea para irrigação e abastecimento. A água subterrânea fornece cerca de 60% do abastecimento total de água, e a agricultura é responsável por mais de 90% das captações de água subterrânea. Desde a década de 1960, o número de poços de irrigação e a quantidade de água bombeada aumentaram, levando a uma

diminuição do nível das águas subterrâneas em muitos aquíferos em todo o País (Nabavi, 2018; Noori et al., 2021).

O Paquistão é o terceiro maior usuário de água subterrânea para irrigação no mundo, onde 73% de toda a irrigação vem direta ou indiretamente de recursos hídricos subterrâneos. A extração total de água subterrânea é estimada em cerca de 60 bilhões de m<sup>3</sup>, com 1,2 milhão de poços tubulares privados operando no País (Qureshi, 2020).

A terceira categoria mais comumente encontrada nesta revisão, os lagos representam cerca de 49,8% do total de água doce da superfície da Terra. São ecossistemas importantes que compartilham muitos processos ecológicos e biogeoquímicos, com múltiplos usos que vão desde o abastecimento, passando pela irrigação, pesca e recreação. O crescimento populacional e a urbanização aumentaram os problemas de contaminação dos lagos (Bhateria e Jain, 2016; Vasistha e Ganguly, 2020).

China, EUA e Canadá foram os Países que mais publicaram estudos relacionados à análise da qualidade da água dos lagos por meio do AEM (Figura 6). Na China, os lagos desempenham um papel menos importante em comparação com outros corpos d'água. No entanto, eles fornecem uma ampla gama de serviços aos sistemas ecológicos e sociais chineses. A maioria dos lagos de água doce do País é usada para usos múltiplos, incluindo água potável, produção industrial e agrícola, bem como aquacultura. Os lagos chineses sofreram intensas mudanças nas últimas três décadas, principalmente devido às mudanças climáticas, atividades humanas e densidade populacional (Zhang e Yang, 2012; Tao et al., 2020).

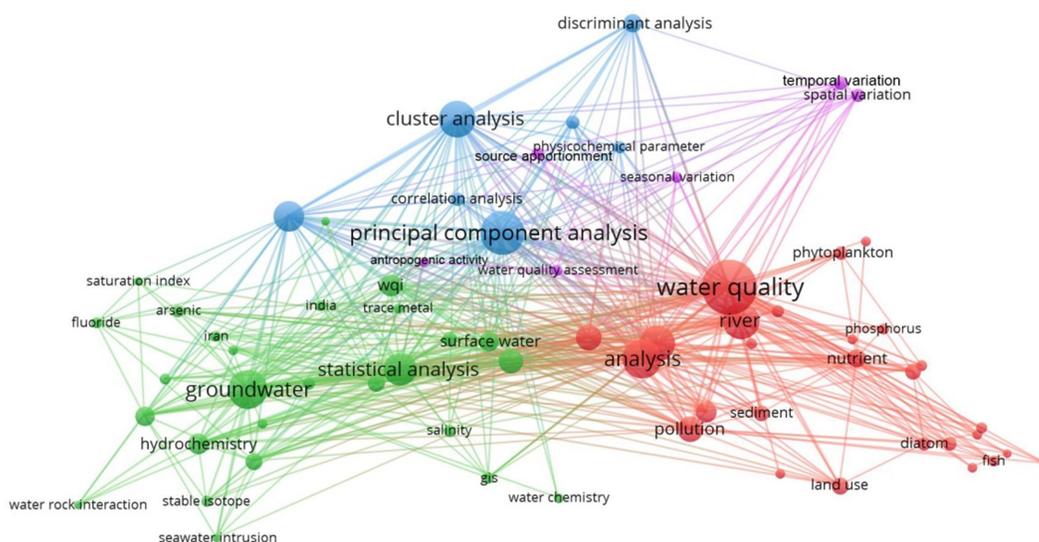
Os Estados Unidos têm aproximadamente 250 lagos de água doce que juntos somam uma área de superfície de aproximadamente 35.000 km<sup>2</sup> (Herschly, 2012). Embora muitos desses lagos estejam em boas condições, uma proporção considerável está em condições alteradas para nutrientes, com 40% dos lagos contendo concentrações excessivas de fósforo total e 35% com concentrações excessivas de nitrogênio (USEPA, 2016; Topp et al., 2021). No Canadá, esse recurso é de grande importância para o País, que possui mais de dois milhões de lagos, 900.000 deles medindo até 0,1 km<sup>2</sup>, 560 medindo mais de 100 km<sup>2</sup>, que representam 37% da área total de lagos do mundo. Os Estados Unidos e o Canadá compartilham os Grandes Lagos, que juntos contêm 18% da água doce do mundo (Minns et al., 2008; Monk e Baird, 2014).

### 3.4. Coocorrência de Palavras-chave

A análise de coocorrência de palavras-chave é utilizada para identificar os principais temas em um campo de pesquisa ou domínio do conhecimento. Baseia-se na suposição de que quando dois itens aparecem no mesmo contexto, eles estão relacionados em algum grau (Sun e Lee, 2010; Lee e Sun, 2010).

Nesta revisão cientométrica, um total de 5.550 palavras-chave foram listadas pelos autores. Com a aplicação do critério de ocorrência mínima – onde um termo deve aparecer em pelo menos 20 publicações – e filtragem de palavras sinônimas e semelhantes, foram selecionadas 67 palavras-chave, divididas em 4 grupos com 1.107 links.

Como pode ser visto na Figura 7, o tamanho de cada círculo é proporcional à ocorrência da palavra-chave. O grupo vermelho 1 (n = 27) agrupou termos com alta ocorrência nas publicações, como *water quality* (714), *analysis* (354), *river* (330) e *multivariate statistical analysis* (299), com termos relacionados ao monitoramento da qualidade da água, biomonitoramento e avaliação, tais como: *monitoring*, *pollution*, *biomonitoring*, *bioassessment*, *bioindicator*, *eutrophication*, *phosphorus*, *nutrient*, *phytoplankton*, *chlorophyll*, *fish* e *diatom*.



**Figura 7.** Redes de associações entre palavras-chave mais encontradas nas publicações que utilizaram AEM em estudos de qualidade da água entre 2001 e 2020.

As palavras-chave *water quality* e *multivariate statistical analysis* foram dois dos termos mais encontrados nas publicações, devido à sua inclusão como termos de busca, no campo tópico (título, palavras-chave e resumo) da base de dados WoS. A alta ocorrência da palavra-chave *river* pode ser explicada pelo fato de ter sido o tipo de amostra de água mais analisada nas publicações (Figura 5).

No grupo verde 2 (n = 26) as palavras-chave mais frequentes *groundwater* (370) e *statistical analysis* (267) foram agrupadas com termos frequentemente utilizados na análise da qualidade das águas subterrâneas, como *heavy metal*, *wqi (water quality index)*, *hydrogeochemistry*, *hydrochemistry*, *geochemistry*, *drinking water*, *risk assessment*, *health risk*, *salinity*, *fluor*, *arsenic*, entre outros. A palavra-chave águas subterrâneas, com maior ocorrência no grupo 2, foi o segundo tipo de amostra de água mais analisada nas publicações. Sua ligação com termos como metais pesados, índice de qualidade da água, água potável, avaliação de risco, risco sanitário, flúor, arsênico, demonstra uma tendência dessas publicações na avaliação de águas subterrâneas para fins de abastecimento humano.

O grupo azul 3 (n = 7) agrupou os termos com alta frequência relacionados à AEM, como *principal component analysis* (450), *cluster analysis* (327), *factor analysis* (233) e *discriminant analysis* (87) com termos como *correlation analysis*, *physicochemical parameters and water pollution*. A alta frequência dessas palavras-chave sugere que essas AEMs são utilizadas com mais frequência na pesquisa de qualidade da água. A conexão entre esses termos sugere ainda que esses AEMs são frequentemente utilizadas em conjunto nos estudos. O cluster 4 roxo (n = 6) reuniu as palavras-chave com menor ocorrência como *anthropogenic activity* (25), *water quality assessment* (3), *seasonal variation* (36), *source apportionment* (38), *spatial variation* (41) and *temporal variation* (43). As palavras-chave com maior ocorrência entre os quatro grupos (qualidade da água, águas subterrâneas e análise de componentes principais) tiveram um total de 62, 53 e 61 links com outros termos, respectivamente.

### **3.5. Análises Estatísticas Multivariadas x Qualidade da Água**

A AEM visa analisar múltiplas variáveis em um único relacionamento ou conjunto de relacionamentos (Hair et al., 2014). Tem sido considerada uma das ferramentas mais eficazes e amplamente utilizadas na avaliação da qualidade da água de um determinado corpo hídrico (Fu e

Wang, 2012). Das 2.889 publicações analisadas, 43,7% (1.262) utilizaram apenas uma AEM como instrumento de avaliação da qualidade da água. Outros 45,0% (1.300) utilizaram duas análises; 9,4% (272) aplicaram três métodos e 1,9% das publicações (55) aplicaram quatro ou mais AEMs. A Tabela 5 resume os principais AEM que foram aplicadas em estudos de qualidade da água entre 2001 e 2020.

**Tabela 5.** Análises estatísticas multivariadas mais empregadas nas publicações.

<b>Tipo de Análise</b>	<b>Análise Estatística Multivariada</b>	<b>Sigla</b>	<b>Nº de Publicações</b>
Análise de Componentes Principais e Análise de Fatores Comum	<i>Principal Component Analysis</i>	<i>ACP</i>	1.405
	<i>Factor Analysis</i>	<i>FA</i>	248
	<i>Parallel Factor Analysis</i>	<i>PARAFAC</i>	9
Análise de Agrupamento	<i>Hierarchical Cluster Analysis</i>	<i>HCA</i>	1.275
	<i>Nonhierarchical Cluster Analysis (k-means)</i>	<i>NHCA</i>	37
Análise de Regressão Múltipla e Correlação Múltipla	<i>Multiple Linear Regression</i>	<i>MLR</i>	121
	<i>Partial Least Squares Regression</i>	<i>PLS</i>	46
	<i>Multivariate Regression</i>	<i>MR</i>	36
Análise Discriminante Múltipla	<i>Discriminant Analysis</i>	<i>DA</i>	246
	<i>Canonical Discriminant Analysis</i>	<i>CDA</i>	14
Análise Multivariada de Variância e Covariância	<i>Permutational Multivariate Analysis of Variance</i>	<i>PERMANOVA</i>	62
	<i>Multivariate Analysis of Variance</i>	<i>MANOVA</i>	19
	<i>Multivariate Analysis of Covariance</i>	<i>MANCOVA</i>	3
Análise de Correlação Canônica	<i>Redundancy Analysis</i>	<i>RDA</i>	82
	<i>Distance Based Redundancy Analysis</i>	<i>DBRDA</i>	6
	<i>Canonical Correlation Analysis</i>	<i>CCorA</i>	
Análise de Correspondência	<i>Canonical Correspondence Analysis</i>	<i>CCA</i>	207
	<i>Detrended Correspondence Analysis</i>	<i>DCA</i>	55
	<i>Correspondence Analysis</i>	<i>CA</i>	26
	<i>Detrended Canonical Correspondence Analysis</i>	<i>DCCA</i>	8
Escalonamento Multidimensional	<i>Nonmetric Multidimensional Scaling</i>	<i>NMDS</i>	151
	<i>Multidimensional Scaling (Principal Coordinate Analysis)</i>	<i>MDS (PCoA)</i>	43
Análise Conjunta	<i>Principal Component Analysis-Factor Analysis</i>	<i>ACP-FA</i>	244
	<i>Absolute Principal Component Scores-Multiple Linear Regression</i>	<i>APCS-MLR</i>	22
	Outras Análises Multivariadas		302

Como pode ser visto na tabela 5, a Análise de Componentes Principais (ACP) foi a AEM mais empregada nas publicações (1.405), seguidas da Análise de Agrupamento Hierárquico (AAH) utilizada em 1.275 estudos, Análise Fatorial (AF) empregada em 248 publicações e Análise

Discriminante (AD) utilizada em 246 publicações. A seguir uma breve discussão das principais AEMs utilizadas e sua relação com estudos de avaliação da qualidade da água.

### **3.5.1. Análise Fatorial (AF) e Análise de Componentes Principais (ACP)**

Análise Fatorial diz respeito a uma classe de métodos estatísticos multivariados que tem o propósito principal de definir a estrutura subjacente em uma matriz de dados. Ela analisa a estrutura das correlações entre um conjunto de dados grande, definindo um conjunto de dimensões latentes comuns chamados de fatores. Existem basicamente dois tipos de análise fatorial, a exploratória – análise mais empregada e que visa identificar a natureza dos fatores que influenciam um conjunto de respostas, e a confirmatória - que testa se um conjunto especificado de fatores está influenciando as respostas de uma maneira prevista (DiStefano et al., 2009; Hair et al., 2014).

A Análise Fatorial Exploratória (AFE) é realizada seguindo as seguintes etapas: (1) obter a matriz de correlação (ou covariância) entre cada uma das variáveis; (2) selecionar o número de fatores para inclusão de acordo com métodos específicos (e.g. critério *Kaiser*, “*teste Scree*”, entre outros); (3) extrair um conjunto inicial de fatores utilizando métodos como máxima verossimilhança, componente principal ou extração do eixo principal; (4) girar os fatores para encontrar uma solução fatorial que seja igual ao obtido na extração inicial, mas com a interpretação mais simples e (5) interpretar a estrutura fatorial por meio da carga fatorial produzida na rotação (DeCoster, 1998).

A ACP é um método estatístico exploratório para descrição gráfica das informações presentes em grandes conjuntos de dados. É, provavelmente, uma das técnicas de análise multivariada mais conhecida e utilizada em diversas disciplinas científicas (Saporta e Keita, 2009; Abdi e Williams, 2010). A ideia central da análise é reduzir a dimensionalidade de um conjunto de dados onde há um grande número de variáveis inter-relacionadas, mantendo o máximo possível da variação presente no conjunto de dados (Jolliffe e Cadima, 2016). A análise é projetada para transformar as variáveis originais em novas variáveis não correlacionadas (eixos), chamadas de componentes principais (CP), que são combinações lineares das variáveis originais. A CP fornece informações sobre variáveis mais significativas, que representam uma matriz com redução de dados e perda mínima de informação

original (Holland, 2019). A primeira CP fornece o maior autovalor e o máximo de variância total no conjunto de dados. A segunda CP (ortogonal) não está correlacionada com a primeira, possui menor autovalor e é responsável pelo máximo da variância residual e assim sucessivamente (Subba Rao et al., 2019).

É composta por cinco etapas principais de operação: (1) listar a matriz de dados original; (2) padronizar os dados originais com a fórmula de padronização *z-score* para eliminar o impacto de dimensão; (3) calcular a matriz do coeficiente de correlação, com dados padronizados e determinar a correlação entre indicadores; (4) calcular os autovalores e autovetores da matriz do coeficiente de correlação para determinar o número de componentes principais e (5) ponderar e somar as componentes principais para obter uma função de avaliação (Jolliffe e Cadima 2016; Yang et al., 2020).

A utilização AFE após a ACP tem como principal objetivo reduzir a contribuição das variáveis menos significativas e simplificar ainda mais a estrutura de dados retirada da ACP (Shrestha e Kazama, 2007). As PCs geradas pela ACP às vezes não são prontamente interpretadas. Este propósito pode ser alcançado girando o eixo definido na ACP, de acordo com regras bem estabelecidas, e construindo novas variáveis (varifatores). Como resultado, grandes carregamentos se tornam maiores e os pequenos carregamentos menores, gerando assim um pequeno número de fatores responsável por aproximadamente a mesma quantidade de informações que o conjunto maior de observações originais (Azid et al., 2014; Howard, 2016). Em resumo, a AFE deve ser utilizada com o intuito de fazer observações sobre os fatores que são responsáveis por um conjunto de respostas observadas. Já a ACP pode ser utilizada simplesmente na redução de dados (DeCoster, 1998).

Na avaliação da qualidade da água, a AFE e a ACP são ferramentas utilizadas principalmente para encontrar parâmetros que descrevem os processos que governam a química das águas e extrair informações importantes usando apenas as variáveis mais significativas (Barbulescu et al. 2020). As cargas das componentes principais ou dos fatores são utilizadas normalmente para explicar a contribuição relativa das variáveis na qualidade geral das águas.

A ACP, em especial, tem sido amplamente utilizada como ferramenta na avaliação da qualidade da água de rios (Singh et al. 2004; Shrestha e Kazama 2007; Wang et al. 2013; Jung et al.

2016), de águas subterrâneas (Cloutier et al. 2008; Brahman et al. 2013; Machiwal e Jha 2015; Khanoranga e Khalid 2019), lagos (Iscen et al., 2008; Najar e Khan, 2012; Iqbal e Shah, 2013; Hang et al, 2020), reservatórios (Palma et al., 2010; Siepak e Sojka, 2017; Varol, 2019; Varol, 2020) e água potável (Guler, 2007; Chowdhury et al., 2008; Birke et al., 2010; Sun et al., 2016 ). Conforme pode ser visto na Tabela 2, dos 15 artigos mais citados, sete utilizaram a ACP como método estatístico de análise multivariada. Quatro deles utilizaram a ACP juntamente com a AFE e dois artigos utilizaram somente AFE.

### **3.5.2. Análise de Agrupamento Hierárquica (AAH)**

A análise de agrupamento é o estudo formal de métodos e algoritmos com o intuito de agrupar objetos de acordo com características intrínsecas medidas ou percebidas, ou de similaridade (Jain, 2010). Em geral, o objetivo da análise de agrupamento é identificar grupos, ou *clusters*, de objetos similares, onde os elementos em um *cluster* são mais semelhantes entre si do que elementos em *clusters* diferentes (Govender e Sivakumar, 2020).

Na análise de *cluster*, um grande número de métodos está disponível para classificar objetos com base em suas similaridades. Os principais tipos de análise de *clusters* são métodos hierárquicos, métodos de particionamento e métodos que permitem *clusters* sobrepostos. Dentro de cada tipo de métodos existe uma variedade de técnicas e algoritmos específicos (Bergman e Magnusson, 2001).

Na análise agrupamento hierárquico (AAH), os grupos são formados pela divisão iterativa dos padrões usando uma abordagem de baixo para cima (aglomerativo) ou de cima para baixo (divisivo) Talvez a forma mais comum de análise seja a análise de *clusters* hierárquicos aglomerativo (Hair et al., 2014). O método aglomerativo constrói agrupamentos começando com um único objeto e depois combinando esses grupos em *clusters* cada vez maiores, até que todos os objetos estejam finalmente em um único *cluster* ou até que certas condições de terminação sejam satisfeitas. O agrupamento hierárquico divisivo reparte o *cluster* contendo todos os objetos em *clusters* menores, até que cada objeto forme um *cluster* por conta própria ou até que satisfaça certas condições de terminação (Saxena et al., 2017).

A AAH aglomerativa geralmente segue as seguintes etapas principais: (1) calcular a matriz de proximidade para os *clusters* iniciais; (2) procurar a distância mínima na matriz; (3) combinar os dois *clusters* com a distância mínima; (4) atualizar a matriz de proximidade calculando as distâncias entre o novo *cluster* com os demais *clusters*; (5) repetir as etapas anteriores até que haja apenas um único *cluster* contendo todas as observações (Bouguettaya et al., 2015).

Na determinação de quais *clusters* devem ser agrupados (análise aglomerativa), ou onde um *cluster* deve ser dividido (análise divisiva), é necessária uma medida de dissimilaridade entre conjuntos de observações. Para isso, aplica-se uma medida de distância entre pares de observações e um critério de ligação que especifica a dissimilaridade de conjuntos como uma função das distâncias de pares de observações nos conjuntos. As principais medidas de distância são: distância euclidiana, quadrado da distância euclidiana, distância *city-block* ou *Manhattan*, distância de *Mahalanobis* e métrica de *Minkowski*. Os critérios de ligação mais utilizados incluem: ligação simples, ligação completa, média das distâncias, método do centróide e método de *Ward* (Kettenring, 2006; Hair et al., 2014; Zhang et al., 2012).

Na avaliação da qualidade da água, a AAH tem sido frequentemente empregada com o principal objetivo de agrupar locais de amostragem semelhantes (variabilidade espacial) (Singh et al., 2004; Shrestha e Kazama, 2007; Sheykhi e Samani, 2020). A análise pode ainda extrair informações úteis de conjuntos de dados complexos e fornecer uma abordagem razoável e eficiente para o estudo das características químicas das águas (Bu et al., 2020). Dos quinze artigos mais citados nesta revisão, nove utilizaram a AAH como ferramenta estatística multivariada na avaliação da qualidade da água (Tabela 2).

### **3.5.3. Análise Discriminante (AD)**

A análise discriminante é um método estatístico multivariado que analisa se a classificação dos dados é adequada em relação aos dados da pesquisa. É utilizada em situações em que os grupos são conhecidos, classificando uma observação, ou várias observações, nesses grupos conhecidos (Härdle e Simar, 2012; Liu et al., 2021). Ela tem por objetivo prever e explicar uma variável

categorica representando diferentes grupos usando várias variáveis de intervalo como preditores (Link e Emde, 2017).

A AD é um procedimento realizado em 4 etapas: (1) estimar os parâmetros das funções de densidade de probabilidade condicional, (2) calcular funções discriminantes, (3) utilizar a validação cruzada para estimar as probabilidades de classificação incorreta e (4) classificar as observações com associações de grupo desconhecidas (Hair et al., 2014).

A análise discriminante é muito semelhante à ACP, pois ambas reduzem as dimensões dos dados, porém a AD fornece uma melhor separação entre os grupos de dados experimentais em comparação com a ACP. Isso ocorre porque o AD modela as diferenças entre as classes de dados, enquanto o ACP não leva em consideração essas diferenças (Jolliffe, 2002).

Em estudos que avaliam a qualidade da água a AD é utilizada para diferenciar uma determinada variável de classificação usando inúmeras características. Essa classificação da variável pode se referir aos tipos de uso da terra ou fontes de poluição, eventos de fluxo e fatores sazonais. Na maioria dos casos, a abordagem da AD é limitada à precisão da classificação espacial, que se baseia em variáveis influentes selecionadas (Boyacıoğlu e Boyacıoğlu, 2010; Ali et al., 2013).

Dentre os trabalhos mais citados (Tabela 2), Singh et al. (2004) e Shrestha e Kazama (2007) aplicaram a DA em cada matriz de dados para avaliar a variação espacial e temporal na qualidade da água dos rios da bacia. O local (espacial) e a estação (temporal) foram as variáveis de agrupamento (dependentes), enquanto todos os parâmetros de análise constituíram as variáveis independentes. A análise discriminante deu os melhores resultados para análise espacial e temporal. Permitiu uma redução na dimensionalidade do grande conjunto de dados, delineando alguns parâmetros indicadores responsáveis por grandes variações na qualidade da água.

### **3.6. Limitações da AEM**

A análise estatística multivariada tem sido utilizada para redução de variáveis, agrupamento e classificação em estudos de qualidade da água e, apesar de sua ampla aplicação, apresenta algumas limitações. Isso porque esses métodos têm o mérito da simplicidade computacional e proporcionam

uma interpretação geometricamente intuitiva. Além disso, os programas de avaliação e monitoramento da qualidade da água podem durar décadas, aumentando a probabilidade de mudanças nos métodos de amostragem, frequência, locais e precisão analítica, o que pode limitar o uso da análise estatística (He, 2016; Helsel et al., 2020).

No caso de ACP e AFE, os dois métodos geralmente fornecem informações descritivas em vez de inferenciais e são comumente usados na análise exploratória de dados em conjunto com outras técnicas. Na AFE, o nível de subjetividade decorrente das muitas decisões metodológicas que um pesquisador deve tomar para concluir com precisão uma única análise depende em grande parte da qualidade dessas decisões. Alguns problemas como baixas correlações, *outliers* e dados ausentes, dados mal distribuídos, números amostrais pequenos e falta de linearidade são fatores responsáveis por limitar o uso dos métodos (Beavers et al., 2013; Tabachnick e Fidell, 2018; Schreiber et al., 2022).

No AAH, os vários métodos de agrupamento geralmente dão resultados muito diferentes. Isso se deve aos critérios para mesclar clusters (incluindo casos). Como os algoritmos de clustering envolvem muitos parâmetros, geralmente operam em grandes dimensões e espaços, e precisam lidar com dados ruidosos, incompletos e amostrados, seu desempenho pode variar substancialmente para diferentes aplicações e tipos de dados. Na prática, torna-se um esforço difícil, dado um conjunto de dados ou problema, escolher um cluster adequado (Rodriguez et al., 2019). Na AD, que é normalmente usada para prever a associação em grupos que ocorrem naturalmente, em vez de grupos formados por atribuição aleatória, perguntas como por que podemos prever com segurança a associação ao grupo ou o que causa a associação diferencial geralmente não são feitas (Tabachnick e Fidell, 2018).

#### **4. Conclusões**

A análise da qualidade da água é uma ferramenta essencial para a gestão integrada dos recursos hídricos. Devido às propriedades multidimensionais envolvidas nessa análise, muitos pesquisadores são incentivados a utilizar técnicas estatísticas como forma de interpretar os dados gerados. Dentre essas ferramentas, a AEM tem se destacado. Portanto, esta revisão propôs um mapeamento da literatura científica publicada sobre o tema em uma janela de citação de 20 anos. Um

total de 2.889 publicações, disponíveis entre 2001 e 2020, na principal base de dados *Web of Science* foram consideradas para a revisão cientométrica. As principais observações foram registradas:

- ◆ O número de publicações aumentou consideravelmente nos últimos 20 anos, confirmando uma crescente aplicação do AEM em estudos de qualidade da água. No último dos quatro períodos analisados (2016-2020), mais da metade dos estudos foram publicados.

- ◆ As três categorias de assuntos da WoS nas quais os estudos mais se enquadraram foram *Environmental Sciences*, *Water Resources* e *Multidisciplinary Geosciences*. A categoria de assunto *Environmental Sciences* abrange diversas áreas do meio ambiente e, portanto, consta em 1.590 das 2.889 publicações analisadas.

- ◆ Um total de 604 periódicos publicaram estudos relacionados à pesquisa de qualidade da água e uso de AEM no período analisado. Os cinco periódicos mais influentes, em ordem decrescente de JIF, que publicaram trabalhos sobre o tema foram: *Water Research*, *Science of the Total Environment*, *Marine Pollution Bulletin*, *Ecological Indicators* e *Environmental Science and Pollution Research*.

- ◆ Todas as 15 publicações mais citadas são de acesso aberto e nove delas foram publicadas na revista *Water Research*. As duas publicações mais citadas usaram quatro tipos de AEM para analisar grandes conjuntos de dados.

- ◆ As pesquisas foram realizadas em amostras de água de 134 Países ou territórios diferentes, e os Países mais ativos no domínio da pesquisa foram discutidos na revisão. A revisão mostrou que os Países em desenvolvimento têm realizado mais estudos usando AEM na pesquisa de qualidade da água.

- ◆ *Rio*, *Água Subterrânea* e *Lago* foram os tipos de amostra de água mais analisadas nas publicações. Apenas um estudo analisou a qualidade da água em *Canal de Navegação*.

- ◆ China, Índia e EUA foram os Países que mais publicaram sobre AEM na pesquisa da qualidade da água dos rios. Índia, Irã e Paquistão tiveram o maior número de estudos em águas subterrâneas.

- ◆ Mais de 5.000 palavras-chave foram listadas, com os termos *water quality*, *groundwater* e *principal component analysis* com as maiores ocorrências.

- ◆ As AEMs mais utilizadas foram análise de componentes principais, análise de cluster hierárquico, análise fatorial e análise discriminante.

A análise estatística multivariada tem sido amplamente utilizada nas mais diversas áreas, principalmente nas ciências ambientais, incluindo a análise da qualidade da água. Os métodos e técnicas de AEM são aplicados para diferentes propósitos na pesquisa da qualidade da água, conforme discutido nesta revisão cienciométrica. Este estudo fornece uma referência prática e informações úteis para futuras pesquisas sobre a aplicação da AEM em estudos de qualidade da água.

## 5. Referências

- Abbott, B.W.; Bishop, K.; Zarnetske, J.P.; Minaudo, C. (2019) Human domination of the global water cycle absent from depictions and perceptions. *Nat. Geosci.* 12(7): 533–540. <http://doi.org/10.1038/s41561-019-0374-y>
- Abdi, H.; Williams, L.J. (2010) Principal component analysis. *WIREs Comp Stat*, 2:433-459. <https://doi.org/10.1002/wics.101>
- Ali, Z.M.; Ibrahim, N.A.; Mengersen, K.; Shitan, M.; Juahir, H. (2013) Discriminant analysis of water quality data in Langat River. In: *International Conference on Environmental Forensics*, 11-14 Nov. 2013, Putrajaya, Malaysia, pp. 597-601. [http://doi.org/10.1007/978-981-4560-70-2\\_106](http://doi.org/10.1007/978-981-4560-70-2_106)
- Araral, E.; Ratra, S. (2016) Water governance in India and China: comparison of water law, policy and administration. *Water Policy* 18(S1): 14-31. <https://doi.org/10.2166/wp.2016.102>
- Azid, A.; Juahir, H.; Toriman, M.E. et al. (2014) Prediction of the Level of Air Pollution Using Principal Component Analysis and Artificial Neural Network Techniques: a Case Study in Malaysia. *Water Air Soil Pollut* 225: 2063. <https://doi.org/10.1007/s11270-014-2063-1>
- Barbulescu, A.; Yousef, N.; Fares, H. (2020) Assessing the Groundwater Quality in the Liwa Area, the United Arab Emirates. *Water*, 12(10): 2816. <https://doi.org/10.3390/w12102816>
- Behmel, S.; Damour, M.; Ludwig, R.; Rodriguez, M.J. (2016) Water quality monitoring strategies—a review and future perspectives. *Sci Total Environ*, 2016, 571, 1312–1329. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.06.235>
- Bergman, L.R.; Magnusson, D. (2001) Person-centered Research. *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences*. 1333-11339. <https://doi.org/10.1016/B0-08-043076-7/00764-6>
- Bhateria, R.; Jain, D. (2016) Water quality assessment of lake water: a review. *Sustain. Water Resour. Manag.* 2:161–173. <https://doi.org/10.1007/s40899-015-0014-7>
- Birke, M.; Rauch, U.; Harazim, B.; Lorenz, H.; Glatte, W. (2010) Major and trace elements in German bottled water, their regional distribution, and accordance with national and international standards. *J Geochem Explor* 107(3): 245-271. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2010.06.002>
- Birkle, C.; Pendlebury, D.A.; Schnell, J.; Adams, J. (2020) Web of Science as a data source for research on scientific and scholarly activity. *Quan Sci Stud*, 1(1), 363–376. [https://doi.org/10.1162/qss\\_a\\_00018](https://doi.org/10.1162/qss_a_00018)

- Bornmann, L.; Leydesdorff, L. (2020) Scientometrics in a changing research landscape: Bibliometrics has become an integral part of research quality evaluation and has been changing the practice of research. *EMBO reports*, 15(12), 1228–1232. <https://doi.org/10.15252/embr.201439608>
- Bornmann, L.; Haunschild, R.; Mutz, R. (2021) Growth rates of modern science: a latent piecewise growth curve approach to model publication numbers from established and new literature databases. *Humanit Soc Sci Commun*, 8, 224. <https://doi.org/10.1057/s41599-021-00903-w>
- Borsuk, M.E.; Stow, C.A.; Reckhow, K.H. (2004). A Bayesian network of eutrophication models for synthesis, prediction, and uncertainty analysis. *Ecol Modell* 173(2-3): 219-239. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2003.08.020>
- Bouguettaya, A.; Yu, Q.; Liu, X.; Zhou, X.; Song A. (2015) Efficient agglomerative hierarchical clustering. *Expert Syst Appl* 42: 2785-2797. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2014.09.054>
- Boyacıoğlu, H.; Boyacıoğlu, H. (2010) Detection of seasonal variations in surface water quality using discriminant analysis. *Environ Monit Assess* 162: 15-20. <https://doi.org/10.1007/s10661-009-0772-5>
- Brahman, K.D.; Kazi, T.G.; Afridi, H.I.; Naseem, S.; Arain, S.S.; Ullah, N. (2013) Evaluation of high levels of fluoride, arsenic species and other physicochemical parameters in underground water of two sub districts of Tharparkar, Pakistan: a multivariate study. *Water Res.* 47(3): 1005-1020. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2012.10.042>
- Bu, J.; Liu, W.; Pan, Z.; Ling, K. (2020) Comparative Study of Hydrochemical Classification Based on Different Hierarchical Cluster Analysis Methods. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 17: 9515. <https://doi.org/10.3390/ijerph17249515>
- Chabukdhara, M.; Gupta, S.K.; Kotecha, Y.; Nema, A.K. (2017) Groundwater quality in Ghaziabad district, Uttar Pradesh, India: Multivariate and health risk assessment. *Chemosphere*, 2017, 179, 167-178. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.03.086>
- Chen, X.; Chen, h.; Yang, L.; Wei, W.; Ni, B.-J. (2022) A comprehensive analysis of evolution and underlying connections of water research themes in the 21st century. *Sci Total Environ*, 835, 155411. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155411>
- Clarivate (2022) Journal Citation Reports 2021. <https://clarivate.com/webofsciencegroup/web-of-science-journal-citation-reports-2021-infographic/>
- Cloutier, V.; Lefebvre, R.; Therrien, R.; Savard, M.M. (2008) Multivariate statistical analysis of geochemical data as indicative of the hydrogeochemical evolution of groundwater in a sedimentary rock aquifer system. *J Hydrol* 353(3-4): 294-313 <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2008.02.015>
- Connor, R.; Coates, D. (2021) The state of water resources. In: United Nations, The United Nations World Water Development Report 2021: Valuing Water. UNESCO, Paris. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000375724>
- Cosgrove, W.J.; Loucks, D.P. (2015) Water management: Current and future challenges and research directions, *Water Resour Res* 51: 4823–4839 <https://doi.org/10.1002/2014WR016869>
- Chahouki, M.A.Z. (2011) Multivariate Analysis Techniques in Environmental Science. In: Imran D, Mithas D (eds) *Earth and Environmental Sciences*. London: IntechOpen, <https://doi.org/10.5772/26516>

- Chowdhury, S.; Champagne, P.; McLellan, P.J. (2008) Factors Influencing Formation of Trihalomethanes in Drinking Water: Results from Multivariate Statistical Investigation of the Ontario Drinking Water Surveillance Program Database. *Water Qual Res J*, 43(2-3): 189-199. <https://doi.org/10.2166/wqj.2008.022>
- Dallas, H.F.; Day, J.A. (2004) The effect of water quality variables on aquatic ecosystems: a review. *Water Research Commission*, Pretoria. [https://www.researchgate.net/publication/268803522\\_The\\_Effect\\_of\\_Water\\_Quality\\_Variables\\_on\\_Aquatic\\_Ecosystems\\_a\\_Review](https://www.researchgate.net/publication/268803522_The_Effect_of_Water_Quality_Variables_on_Aquatic_Ecosystems_a_Review)
- Dash, S.; Kalamdhad, A.S. (2021) Science mapping approach to critical reviewing of published literature on water quality indexing. *Ecol Indic* 128. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107862>
- DeCoster, J. (1998) Overview of factor analysis. <http://www.stat-help.com/factor.pdf>.
- DiStefano, C.; Zhu, M.; Mindrila, D. (2009). Understanding and using factor scores: Considerations for the applied researcher. *Pract Assess Res Eval*. 14(20), 20. <https://doi.org/10.7275/da8t-4g52>
- Elsevier (2022) Journals - *Water Research*. <https://www.journals.elsevier.com/water-research>
- Fernandes, I.O.; Gomes, L.F.; Monteiro, L.C.; Dórea, J.G.; Bernardi, J.V.E. A Scientometric Analysis of Research on World Mercury (Hg) in Soil (1991–2020). *Water Air Soil Pollut* 2021, 132, 254. <https://doi.org/10.1007/s11270-021-05222-z>
- Fu, L.; Wang, Y.G. (2012) Statistical Tools for Analyzing Water Quality Data. In: Voudouris, K. and Voutsas, D. *Water Quality Monitoring and Assessment*. Intechopen. Croatia <https://www.intechopen.com/books/1998>
- Fu, H.Z.; Wang, M.H.; Ho, Y.S. (2013) Mapping of drinking water research: a bibliometric analysis of research output during 1992-2011. *Sci Total Environ* 443: 757-765. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.11.061>
- Fu, J.; Zhao, C.; Luo, Y.; Liu, C.; Kyzas, G.Z.; Luo, Y.; Zhao, D.; An, S.; Zhu, H. (2014) Heavy metals in surface sediments of the Jialu River, China: their relations to environmental factors. *J Hazard Mater*, 270, 102-109. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2014.01.044>
- Gonzales, L.G.V.; Ávila, F.F.G.; Torres, R.J.C.; Oliveira, C.A.C.; Paredes, E.A.A. (2021) Scientometric study of drinking water treatments technologies: Present and future challenges. *Civil and Environ Eng*, 8(1):1929046. <https://doi.org/10.1080/23311916.2021.1929046>
- Govender, P.; Sivakumar, V. (2020) Application of k-means and hierarchical clustering techniques for analysis of air pollution: A review (1980–2019). *Atmos Pollut Res*, 11:40-56. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2019.09.009>
- Güler, C.; Thyne, G.D.; McCray, J.E.; Turner, K.A. (2002) Evaluation of graphical and multivariate statistical methods for classification of water chemistry data. *Hydrogeol J*, 10:455–474. <https://doi.org/10.1007/s10040-002-0196-6>
- GWP (2015) China's water resources management challenge: The 'three red lines'. Technical Focus Paper. *Global Water Partnership*, Sweden. [https://www.gwp.org/globalassets/global/toolbox/publications/technical-focus-papers/tfpchina\\_2015.pdf](https://www.gwp.org/globalassets/global/toolbox/publications/technical-focus-papers/tfpchina_2015.pdf)

- Härdle, W.K.; Simar, L. (2012). Discriminant Analysis. In: Applied Multivariate Statistical Analysis. Springer, Berlin, Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-17229-8\\_13](https://doi.org/10.1007/978-3-642-17229-8_13)
- Haener, P. (2018) The handbook on water information systems administration, processing and exploitation of water-related data. UNESCO. [https://www.riob.org/sites/default/files/\\_HB-2018-SIE-BAT\\_web.pdf](https://www.riob.org/sites/default/files/_HB-2018-SIE-BAT_web.pdf)
- Hair, J.F.K.; Black, W.C.; Babin, B.J.; Anderson, R.E. (2014) Multivariate data analysis. 7th Edition, Pearson Prentice Hall, Hoboken, New Jersey, USA, 785 p.
- He, J. (2016) Probabilistic Evaluation of Causal Relationship between Variables for Water Quality Management. *J. Environ. Inform.* 28(2): 110-119 <https://doi.org/10.3808/jei.201600353>
- Hersch, R. (2012) United States: Principal Freshwater Lakes. In: Bengtsson, L; Hersch RW; Fairbridge RW (eds) Encyclopedia of Lakes and Reservoirs. Encyclopedia of Earth Sciences Series. Springer, Dordrecht. [https://doi.org/10.1007/978-1-4020-4410-6\\_174](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-4410-6_174)
- Hildebrandt, A.; Guillamón, M.; Lacorte, S.; Tauler, R.; Barceló, D. (2008) Impact of pesticides used in agriculture and vineyards to surface and groundwater quality (North Spain). *Water Res* 42(13):3315-3326. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2008.04.009>
- Holland, S.M. (2019) Principal Components Analysis (ACP). Department of Geology, University of Georgia, Athens. <http://strata.uga.edu/8370/handouts/ACPTutorial.pdf>
- Howard, M.C. (2016) A Review of Exploratory Factor Analysis Decisions and Overview of Current Practices: What We Are Doing and How Can We Improve? *Int J of Hum-Comput Interact* 32(1): 51-62. <https://doi.org/10.1080/10447318.2015.1087664>
- Iqbal, J.; Shah, M.H. (2013) Health Risk Assessment of Metals in Surface Water from Freshwater Source Lakes, Pakistan, Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal 19(6): 1530-1543. <https://doi.org/10.1080/10807039.2012.716681>
- Iscen, C.F.; Emiroglu, Ö.; Ilhan, S. (2008) Application of multivariate statistical techniques in the assessment of surface water quality in Uluabat Lake, Turkey. *Environ Monit Assess* 144: 269–276. <https://doi.org/10.1007/s10661-007-9989-3>
- Jain, A.K. (2010) Data clustering: 50 years beyond K-means. *Pattern Recognit Lett* 31(8): 651-666. <https://doi.org/10.1016/j.patrec.2009.09.011>
- Jain, S.K. (2017) Water resources management in India - Challenges and the way forward. *Curr. Sci.* 117(4): 569-576. <https://doi.org/10.18520/cs/v117/i4/569-576>.
- Jolliffe, I.T. (2002) Principal Component Analysis. Second Edition. New York, NY: Springer.
- Jolliffe, I.T.; Cadima, J. (2016) Principal component analysis: a review and recent developments. *Phil. Trans. R. Soc. A* 374:20150202. <https://doi.org/10.1098/rsta.2015.0202>
- Jung, K.Y.; Lee, K.-L.; Im, T.H.; Lee, I.J., et al. (2016) Evaluation of water quality for the Nakdong River watershed using multivariate analysis. *Environ Technol Innov* 5: 67-82. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2015.12.001>

- Khatri, N.; Tyagi, S. (2014) Influences of natural and anthropogenic factors on surface and groundwater quality in rural and urban areas. *Front Life Sci*, 8(1), 23-29. <https://doi.org/10.1080/21553769.2014.933716>
- Kazi, T.G.; Arain, M.B.; Jamali, M.K.; Jalbani, N., et al. (2008) Assessment of water quality of polluted lake using multivariate statistical techniques: A case study. *Ecotoxicol Environ Saf* 72(2): 301-309 <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2008.02.024>
- Kettenring, J.R. (2006) The Practice of Cluster Analysis. *J Class.* 23:3-30. <https://doi.org/10.1007/s00357-006-0002-6>
- Khanoranga, Khalid S (2019) An assessment of groundwater quality for irrigation and drinking purposes around brick kilns in three districts of Balochistan province, Pakistan, through water quality index and multivariate statistical approaches. *J Geochem Explor* 197: 14-26. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2018.11.007>
- Kowalkowski, T.; Zbytniewski, R.; Szpejna, J.; Buszewski, B. (2006) Application of chemometrics in river water classification. *Water Res* 40(4):744-752 <https://doi.org/10.1016/j.watres.2005.11.042>
- Krishna, A.K.; Satyanarayanan, M.; Govil, P.K. (2009) Assessment of heavy metal pollution in water using multivariate statistical techniques in an industrial area: a case study from Patancheru, Medak District, Andhra Pradesh, India. *J Hazard Mater.* 167(1-3):366-373. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.12.131>
- Kumar, M.; Ramanathan, A.; Rao, M.S.; Kumar B. (2006) Identification and evaluation of hydrogeochemical processes in the groundwater environment of Delhi, India. *Environ Geol* 50:1025–1039. <https://doi.org/10.1007/s00254-006-0275-4>
- Kumar, M.; Ramanathan, A.L.; Tripathi, R.; Farswan, S.; Kumar, D.; Bhattacharya, P.(2017) A study of trace element contamination using multivariate statistical techniques and health risk assessment in groundwater of Chhaprola Industrial Area, Gautam Buddha Nagar, Uttar Pradesh, India. *Chemosphere*, 166, 135-145. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.09.086>
- Langham-Putrow, A.; Bakker, C.; Riegelman, (2021) Is the open access citation advantage real? A systematic review of the citation of open access and subscription-based articles. *PLoS One*. 16(6), e0253129. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0253129>
- Latrubesse, E.; Arima, E.; Dunne, T.; Park, E.; Baker, V. R.; d’Horta, F.M.; Wight, C.; Wittman, F.; Zuanon, J.; Baker, P.A.; Ribas, C.C.; Norgaard, R.B.; Filizola, N.; Ansar, A.; Flyvbjerg, B.; Stevaux, J.C. (2017) Damming the rivers of the Amazon basin. *Nature*, 546, 363–369. <https://doi.org/10.1038/nature22333>
- Lee, P.C.; Sun, H.N. (2010) Investigating the structure of regional innovation system research through keyword co-occurrence and social network analysis, *Innovation*, 12(1), 26-40. <https://doi.org/10.5172/impp.12.1.26>
- Levallois, P.; Villanueva, C.M. (2019) Drinking Water Quality and Human Health: An Editorial. *Int J Environ Res Public Health*, 16, 631. <https://doi.org/10.3390/ijerph16040631>
- Li, S.; Zhang, Q. (2010) Risk assessment and seasonal variations of dissolved trace elements and heavy metals in the Upper Han River, China. *J Hazard Mater* 181(1-3):1051-1058. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.05.120>

- Li, K.; Rollins, J.; Yan, E. (2018) Web of Science use in published research and review papers 1997–2017: a selective, dynamic, cross-domain, content-based analysis. *Scientometrics*. 115: 1-20. <https://doi.org/10.1007/s11192-017-2622-5>
- Li, P.; Tian, R.; Liu, R. (2019a) Solute Geochemistry and Multivariate Analysis of Water Quality in the Guohua Phosphorite Mine, Guizhou Province, China. *Expo Health*, 11, 81–94. <https://doi.org/10.1007/s12403-018-0277-y>
- Li, X.; Shan, Y.; Zhang, Z.; Yang, L.; Meng, J.; Guan, D. (2019b) Quantity and quality of China's water from demand perspectives. *Environ. Res. Lett.* 14(12): 124004. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab4e54>
- Link, E.; Emde, K. (2017). *Discriminant Analysis*. The International Encyclopedia of Communication Research Methods, 1–10. <https://doi.org/10.1002/9781118901731.iecrm0070>
- Ma, T.; Zhao, N.; Ni, Y.; Yi, J.; Wilson, J.P., et al. (2020) China's improving inland surface water quality since 2003. *Sci. Adv.* 6:eaau3798. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aau3798>
- Mehmood, H. (2019) *Bibliometrics of Water Research: A Global Snapshot*. UNU-INWEH Report Series, Issue 06. United Nations University Institute for Water, Environment and Health, Hamilton, Canada. <https://inweh.unu.edu/wp-content/uploads/2019/05/Bibliometrics-of-Water-Research-A-Global-Snapshot.pdf>
- Mertler, C.A.; Reinhart, R.V. (2017) *Advanced and Multivariate Statistical Methods: Practical Application and Interpretation*. 6th ed. Routledge, Taylor & Francis.
- Meybeck, M.; Kimstach, V.; Helmer, R. (1996) Strategies for water quality assessment. In: Chapman D. (ed) *Water Quality Assessments - A Guide to Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring*. Second Edition. CRC Press: Cleveland, USA. [https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/41850/0419216006\\_eng.pdf;jsessionid=5628CEF3536CD3D384C91B262F044320?sequence=1](https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/41850/0419216006_eng.pdf;jsessionid=5628CEF3536CD3D384C91B262F044320?sequence=1)
- Machiwal, D.; Jha, M.K. (2015) Identifying sources of groundwater contamination in a hard-rock aquifer system using multivariate statistical analyses and GIS-based geostatistical modeling techniques. *J Hydrol Reg Stud* 4(A): 80-110 <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2014.11.005>
- Minns, C.K.; Moore, J.E.; Shuter, B.J.; Mandrak, N.E. (2008) A preliminary national analysis of some key characteristics of Canadian lakes. *Can J Fish Aquat Sci* 65(8):1763-1778. <https://doi.org/10.1139/F08-110>
- Missen, M.M.S.; Qureshi, S.; Salamat, N.; Akhtar, N.; Asmat, H.; Coustaty, M.; Prasath, V.B.S. (2020) Scientometric analysis of social science and science disciplines in a developing nation: a case study of Pakistan in the last decade. *Scientometrics*, 123, 113–142. <https://doi.org/10.1007/s11192-020-03379-8>
- Moriarty, P.; Batchelor, C.; Laban, P.; Fahmy, H. (2007) *INWRDAM - The EMPOWERS Approach to Water Governance: Background and Key Concepts*. Amman, Jordan: Inter-Islamic Network on Water Resources Development and Management (INWRDAM). GWP. <https://www.ircwash.org/sites/default/files/Moriarty-2007-EMPOWERS.pdf>
- Monk, W.A.; Baird, D.J. (2014) *Biodiversity in Canadian lakes and rivers*. Canadian Biodiversity: Ecosystem Status and Trends 2010, Technical Thematic Report No. 19. Canadian Councils of

- Resource Ministers.Ottawa, Ontario, Canada.  
<http://www.biodivcanada.ca/default.asp?lang=En&n=137E1147-1>
- Nabavi, E. (2018) Failed Policies, Falling Aquifers: Unpacking Groundwater Overabstraction in Iran. *Water Altern.* 11(3): 699-724. <https://www.water-alternatives.org/index.php/alldoc/articles/vol11/v11issue3/461-a11-3-14/file>
- Najar, I.A.; Khan, AB. (2012) Assessment of water quality and identification of pollution sources of three lakes in Kashmir, India, using multivariate analysis. *Environ Earth Sci* 66: 2367–2378. <https://doi.org/10.1007/s12665-011-1458-1>
- National Science Board, National Science Foundation. (2020) Publication Output: U.S. Trends and International Comparisons. Science and Engineering Indicators. NSB-2020-6. Alexandria, VA. <https://nces.nsf.gov/pubs/nsb20206/>
- Nguyen, T.H.; Helm, B.; Hettiarachchi, H.; Caucci, S.; Krebs, P. (2019) The selection of design methods for river water quality monitoring networks: a review. *Environ. Earth Sci.* 78:96 <https://doi.org/10.1007/s12665-019-8110-x>
- Nishy P, Saroja R. (2018) A scientometric examination of the water quality research in India. *Environ. Monit. Assess.* 190:225. <https://doi.org/10.1007/s10661-018-6601-y>
- Niu, B.; Loáiciga, H.A.; Wang, Z.; Zhan, F.B.; Hong, S. (2014) Twenty years of global groundwater research: A Science Citation Index Expanded-based bibliometric survey (1993–2012). *J. Hydrol.* 519: 966-975. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.07.064>
- Noori, R.; Maghrebi, M.; Mirchi, A.; Tang, Q.; Bhattarai, R.; Sadegh, M.; Noury, M.; Haghighi, A.T.; Kløve, B.; Madani, K. (2021) Anthropogenic depletion of Iran's aquifers. *PNAS* 118(25): e2024221118. <https://doi.org/10.1073/pnas.2024221118>
- Nyika, J.; Dinka, M. (2022) A scientometric study on quantitative microbial risk assessment in water quality analysis across 6 years (2016–2021). *J Water Health*, 20(2), 329-343. <https://doi.org/10.2166/wh.2022.228>
- Paiva, R.C.D.; Chaffe, P.L.B.; Anache, J.A.A.; Fontes, A.F. (2020) Advances and challenges in the water sciences in Brazil: a community synthesis of the XXIII Brazilian Water Resources Symposium. *RBRH*, v. 25, e50. <https://doi.org/10.1590/2318-0331.252020200136>
- Palma, P.; Alvarenga, P.; Palma, V.L. (2010) Assessment of anthropogenic sources of water pollution using multivariate statistical techniques: a case study of the Alqueva's reservoir, Portugal. *Environ Monit Assess.* 165: 539-552. <https://doi.org/10.1007/s10661-009-0965-y>
- Piwowar, H; Priem, J.; Larivière, V.; Alperin, J.P.; Matthias, L.; Norlander, B.; Farley, A.; West, J.; Haustein, S. (2018) The state of OA: a large-scale analysis of the prevalence and impact of Open Access articles. *Peer J*, 6, e4375. <https://doi.org/10.7717/peerj.4375>
- Potapova, M.G.; Charles, D.F. (2002) Benthic diatoms in USA rivers: distributions along spatial and environmental gradients. *J Biogeogr* 29(2):167-187 <https://doi.org/10.1046/j.1365-2699.2002.00668.x>
- Qureshi A. (2020) Groundwater governance in Pakistan: from colossal development to neglected management. *Water.* 12(11): 3017. <https://doi.org/10.3390/w12113017>

- Rasool, A.; Xiao, T.; Farooqi, A.; Shafeeque, M.; Masood, S.; Ali, S.; Fahad, S.; Nasim, W. (2016) Arsenic and heavy metal contaminations in the tube well water of Punjab, Pakistan and risk assessment: A case study. *Ecol Eng.*, 95, 90-100. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.06.034>
- Reghunath, R.; Murthy, T.R.S.; Raghavan, B.R. (2002) The utility of multivariate statistical techniques in hydrogeochemical studies: an example from Karnataka, India. *Water Res* 36(10): 2437-2442. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(01\)00490-0](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(01)00490-0)
- Rencher AC, Christensen WF. (2012) *Methods of Multivariate Analysis*. 3rd Edition, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken. <https://dx.doi.org/10.1002/9781118391686>
- Saha, D.; Marwaha, S.; Mukherjee, A. (2017) Groundwater Resources and Sustainable Management Issues in India. In: D. Saha et al. (eds.) *Clean and Sustainable Groundwater in India*, Springer Hydrogeology, 1–11. [https://doi.org.br/10.1007/978-981-10-4552-3\\_1](https://doi.org.br/10.1007/978-981-10-4552-3_1)
- Saporta G.; Keita, N.N. (2009) Principal Component Analysis: application to Statistical Process Control. Gérard Govaert. *Data Analysis*, ISTE, pp.1-23, <https://doi.org/10.1002/9780470611777.ch1ff>
- Saxena, A.; Mukesh, P.; Akshansh, G.; Neha, B et al. (2017) A review of clustering techniques and developments. *Neurocomputing* 267: 664-681. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2017.06.053>
- Secchi S, McDonald M. (2019) The state of water quality strategies in the Mississippi River Basin: Is cooperative federalism working? *Sci Total Environ.* 677:241-249. <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.381>
- Shi, J.; Gao, Y.; Ming, L.; Yang, K.; Sun, Y.; Chen, J.; Shi, S.; Geng, J.; Li, L.; Wu, J.; Tian, J. (2021) A bibliometric analysis of global research output on network meta-analysis. *BMC Med Inform Deciss Mak.* 21(1):144. <https://doi.org/10.1186/s12911-021-01470-5>
- Sheykhi, V.; Samani, N. (2020) Assessment of water quality compartments in Kor River, IRAN. *Environ Monit Assess.* 192(8): 532. <http://doi.org/10.1007/s10661-020-08464-2>
- Shrestha, S.; Kazama, F. (2007) Assessment of surface water quality using multivariate statistical techniques: A case study of the Fuji river basin, Japan. *Environ. Model. Softw.* 22(4): 464-475. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2006.02.001>
- Siepak, M.; Sojka M. (2017) Application of multivariate statistical approach to identify trace elements sources in surface waters: a case study of Kowalskie and Stare Miasto reservoirs, Poland. *Environ Monit Assess* 189: 364. <https://doi.org/10.1007/s10661-017-6089-x>
- Simeonov, V.; Stratis, J.A.; Samara, C.; Zachariadis, G.; Voutsas, D.; Anthemidis, A.; Sofoniou, M.; Kouimtzis, T. (2003) Assessment of the surface water quality in Northern Greece. *Water Res* 37:4119-4124. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(03\)00398-1](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(03)00398-1)
- Singh, K.P.; Malik, A.; Mohan, D.; Sinha S. (2004) Multivariate Statistical Techniques for the Evaluation of Spatial and Temporal Variations in Water Quality of Gomti River (India) - A Case Study. *Water Res.* 38: 3980-3992. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2004.06.011>
- Singh, K.P.; Malik, A.; Sinha, S. (2005) Water quality assessment and apportionment of pollution sources of Gomti river (India) using multivariate statistical techniques - a case study. *Anal Chim Acta* 538(1-2): 355-374. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2005.02.006>

- Sun, H.N.; Lee, P.C. (2010) Mapping knowledge structure by keyword co-occurrence: a first look at journal papers in Technology Foresight. *Scientometrics* 85: 65-79. <https://doi.org/10.1007/s11192-010-0259-8>
- Sun, R.; An, D.; Lu, W.; Shi, Y.; Wang, L., et al. (2016) Impacts of a flash flood on drinking water quality: case study of areas most affected by the 2012 Beijing flood. *Heliyon* 2(2): e00071. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2016.e00071>
- Subba Rao, N.; Sunitha, B.; Adimalla, N.; Chaudhary, M. (2019) Quality criteria for groundwater use from a rural part of Wanaparthy District, Telangana State, India, through ionic spatial distribution (ISD), entropy water quality index (EWQI) and principal component analysis (ACP). *Environ Geochem Health*, 42: 579–599. <https://doi.org/10.1007/s10653-019-00393-5>
- Tabachnick, B.G.; Fidell, L.S. (2018) *Using Multivariate Statistics*. 7th Edition. Pearson.
- Tao, S.; Fang, J.; Ma, S.; Cai, Q.; Xiong, X.; Tian, D., et al.(2020) Changes in China’s lakes: climate and human impacts. *Nati. Sci. Rev.* 7(1):132-140. <https://doi.org/10.1093/nsr/nwz103>
- Topp, S.N.; Pavelsky, T.M.; Stanley, E.H.; Yang, X., et al. (2021) Multi-decadal improvement in US Lake water clarity. *Environ Res Lett* 16(5): 055025. <http://doi.org/10.1088/1748-9326/abf002>
- Udimal, T.B.; Jincai, Z.; Ayamba, E.M.; Owusu, S.M. (2017) China’s water situation; the supply of water and the pattern of its usage. *Int. J. Sustain. Built Environ.* 6(2): 491-500. <https://doi.org/10.1016/j.ijbsbe.2017.10.001>
- UN (2019) United Nations. Department of Economic and Social Affairs, Population Division. *World Population Prospects 2019: Highlights*. ST/ESA/SER.A/423. [https://population.un.org/wpp/publications/files/wpp2019\\_highlights.pdf](https://population.un.org/wpp/publications/files/wpp2019_highlights.pdf)
- UN-Water (2016) *Water and Sanitation Interlinkages across the 2030 Agenda for Sustainable Development*, Geneva. <http://www.unwater.org/publications/water-sanitation-interlinkages-across-2030-agenda-sustainable-development.pdf/>
- USEPA (2016) *National Lakes Assessment 2012: A Collaborative Survey of Lakes in the United States*. EPA 841-R-16-113. US Environmental Protection Agency, Washington, DC. <https://nationallakesassessment.epa.gov/>
- Varol, M. (2019) Arsenic and trace metals in a large reservoir: Seasonal and spatial variations, source identification and risk assessment for both residential and recreational users. *Chemosphere* 228: 1-8. <http://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.04.126>
- Varol, M. (2020) Spatio-temporal changes in surface water quality and sediment phosphorus content of a large reservoir in Turkey. *Environ Pollut.* 259: 113860. <http://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113860>
- Vasistha, P.; Ganguly, R. (2020) Water quality assessment of natural lakes and its importance: An overview. *Mater. Today Proc.* 32(4): 544-552. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.02.092>
- Walker, D.B.; Baumgartner, D.J.; Gerba, C.P.; Fitzsimmons K. (2019). *Surface Water Pollution*. In: Brusseau ML, Pepper IL, Gerba CP. (ed.) *Environmental Pollution Science – Third Edition*: 261-292. Academic Press, Elsevier. <http://doi.org/10.1016/b978-0-12-814719-1.00016-1>

- Wang, Y.; Wang, P.; Bai, Y.; Tian, Z.; Li, J. et al. (2013) Assessment of surface water quality via multivariate statistical techniques: A case study of the Songhua River Harbin region, China. *J Hydro-environ Res* 7(1): 30-40. <https://doi.org/10.1016/j.jher.2012.10.003>
- Wang, Y.; Xiang, C.; Zhao, P.; Mao, G.; Du, H. (2016) A bibliometric analysis for the research on river water quality assessment and simulation during 2000–2014. *Scientometrics* 108: 1333-1346. <https://doi.org/10.1007/s11192-016-2014-2>
- Wang, M.; Liu, P.; Zhang, R.; Li, Z.; Li, X. A (2020) Scientometric Analysis of Global Health Research. *Int. J. Environ. Res. Public Health* , 17: 2963. <https://doi.org/10.3390/ijerph17082963>
- World Bank. The World Bank Data (2018). Scientific and technical journal articles. [https://data.worldbank.org/indicator/IP.JRN.ARTC.SC?most\\_recent\\_value\\_desc=true&view=map&year\\_low\\_desc=true](https://data.worldbank.org/indicator/IP.JRN.ARTC.SC?most_recent_value_desc=true&view=map&year_low_desc=true)
- Yang, W.; Zhao, Y.; Wang, D.; Wu, H.; Lin, A.; He, L. (2020) Using Principal Components Analysis and IDW Interpolation to Determine Spatial and Temporal Changes of Surface Water Quality of Xin'anjiang River in Huangshan, China. *Int J Environ Res Public Health*. 17(8): 2942. <http://doi.org/10.3390/ijerph17082942>
- Zare, F.; Elsayah, S.; Iwanaga, T.; Jakeman, A.J.; Pierce SA. (2017) Integrated water assessment and modelling: A bibliometric analysis of trends in the water resource sector. *J. Hydrol.* 552: 765-778. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.07.031>
- Zhang, L.T.; Yang, X. (2012) Chinese Lakes. In: Bengtsson, L.; Herschy, R.W.; Fairbridge, R.W. (Eds) *Encyclopedia of Lakes and Reservoirs*. Encyclopedia of Earth Sciences Series. Springer, Dordrecht. [https://doi.org/10.1007/978-1-4020-4410-6\\_259](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-4410-6_259)
- Zhang, W.; Wang, X.; Zhao, D.; Tang, X. (2012). Graph Degree Linkage: Agglomerative Clustering on a Directed Graph. In: Fitzgibbon, A., Lazebnik, S., Perona, P., Sato, Y., Schmid, C. (eds) *Computer Vision – ECCV 2012*. ECCV 2012. Lecture Notes in Computer Science, vol 7572. Springer, Berlin, Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-33718-5\\_31](https://doi.org/10.1007/978-3-642-33718-5_31)
- Zhang, D.; Fu, H.Z.; Ho, Y.S. (2017) Characteristics and trends on global environmental monitoring research: a bibliometric analysis based on Science Citation Index Expanded. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 24:26079–26091 <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0147-3>

## **CAPÍTULO 2**

### **DIVULGAÇÃO DOS DADOS DE QUALIDADE DA ÁGUA SUPERFICIAL NO BRASIL: UM PANORAMA DO PROGRAMA QUALIÁGUA**

#### **WATER QUALITY DATA DISCLOSURE IN BRAZIL: AN OVERVIEW OF “QUALIÁGUA” PROGRAM**

Capítulo submetido na revista “Revista Brasileira de Ciências Ambientais” (Qualis B1 Ciências Ambientais).

#### **RESUMO**

A água é um recurso fundamental, essencial à manutenção da vida, que tem se tornado cada vez mais escasso. O monitoramento da qualidade da água é uma importante ferramenta da Gestão Integrada dos Recursos Hídricos. No Brasil, País de grandes dimensões e características regionais diversas, os desafios da gestão da qualidade da água são ainda maiores. Neste contexto, a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), criou o Programa de Estímulo à Divulgação dos Dados de Qualidade da Água - QUALIÁGUA, um programa que incentiva a divulgação dos dados de qualidade da água para a sociedade. Apesar dos avanços gerados pelo Programa, ainda existem algumas lacunas com relação à divulgação dessas informações por parte dos estados. Assim, a presente revisão tem o objetivo de traçar um panorama atual da divulgação dos dados de qualidade da água superficial no Brasil, estados e no Distrito Federal com o propósito de contribuir para a publicidade e avanços do QUALIÁGUA. Foi observado que alguns estados possuem redes de monitoramento amplas e consolidadas e que para outros, as informações são muitas vezes deficientes ou inexistentes. Outros estados não iniciaram ou não divulgam os dados no âmbito do QUALIÁGUA. IQA e IET são os principais indicadores utilizados na divulgação dos dados de qualidade da água superficial.

**Palavras-chave:** qualidade da água, monitoramento, QUALIÁGUA.

#### **ABSTRACT**

Water is an important resource essential to the maintenance of life that has become increasingly scarce. Monitoring water quality is an important tool for the Integrated Management of Water Resources. In Brazil, a large country with diverse regional characteristics, the challenges of water quality management are even greater. In this context, the National Water and Sanitation Agency (ANA) created Program to Stimulate the Dissemination of Water Quality Data - QUALIÁGUA, a program that encourages the dissemination of water quality data to society. Despite the advances

brought about by the Program, there are still some gaps regarding the dissemination of this information by the states. Thus, the present review aims to outline a current overview of the dissemination of surface water quality data in Brazil, states and the Federal District in order to contribute to the publicity and advances of QUALIÁGUA. It was observed that some states have extensive and consolidated monitoring networks and that for others; information is often deficient or non-existent. Other States have not initiated or do not disclose data under the QUALIÁGUA. WQI and TSI are the main indicators used in the dissemination of surface water quality data.

**Keywords:** water quality, monitoring, QUALIÁGUA.

## 1. Introdução

A água é um recurso limitado, essencial à manutenção da vida e para o processo de desenvolvimento sustentável (Maestu, 2015). Apesar dos avanços na eficiência do uso da água, os recursos hídricos tem se tornado cada vez mais escassos, em quantidade e qualidade, devido à pressões cada vez maiores das mudanças climáticas, e do crescimento econômico e populacional acelerados (Mehmood, 2009; Taheripour et al., 2020).

O Brasil, País de dimensões continentais e abundância de recursos hídricos, abriga algumas das maiores bacias hidrográficas do mundo, possui extensão territorial de 8.510.345 km<sup>2</sup> e população estimada em 214 milhões de habitantes (Paiva et al., 2020; IBGE, 2022). Estima-se que 12% dos recursos hídricos superficiais do mundo e 53 % dos recursos hídricos superficiais da América do Sul estão no Brasil, onde 85% das necessidades de água doce do País são supridas por águas superficiais, como rios, lagos e reservatórios (Veiga e Magrini, 2013; Getirana et al., 2021). Dadas as dimensões territoriais, às particularidades regionais, e o contexto climático e socioambiental diverso, torna-se um grande desafio a gestão dos recursos hídricos no Brasil (Gesualdo et al., 2021).

A Gestão Integrada dos Recursos Hídricos (GIRH) brasileira tem sua base na Lei das Águas (Lei nº 9.433/1997) com a instituição da Política Nacional dos Recursos Hídricos (PNRH) e a criação do Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos (SINGREH), que representou um avanço na gestão das águas no Brasil, estabelecendo uma visão de planejamento descentralizado e participativo da água (Brasil, 1997; Padovesi-Fonseca e Faria, 2022).

Os fundamentos da Lei nº 9.433/1997 definem a água como um bem público de valor econômico e determinam a bacia hidrográfica como unidade para a implantação da PNRH (Brasil, 1997). Dentre os instrumentos destacam-se o direito de uso da água, a cobrança como forma de racionalizar o uso, o Plano de Recursos Hídricos e o enquadramento dos corpos d'água em classes (Brasil, 1997). O instrumento de enquadramento foi instituído pela Resolução nº 357/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) e prevê a classificação dos corpos de água em classes de acordo com seu uso, dispondo de diretrizes ambientais para o seu enquadramento (Brasil, 2005).

Ainda no âmbito da Política Nacional, foram criados o Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), responsável por articular os planejamentos nacional, estaduais e dos setores usuários, e a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), autarquia com a finalidade de implementar a PNRH e coordenar o SINGREH. A criação da ANA propiciou uma moderna estrutura de gestão, oferecendo aos estados maior suporte para desenvolverem políticas de recursos hídricos no âmbito regional (Brasil, 1997; Brasil, 2000; Silva et al., 2017). Dentre as suas diversas atribuições, a agência tem a responsabilidade elaborar e manter atualizado o diagnóstico de oferta e demanda dos recursos hídricos, que abrange o monitoramento e a avaliação da qualidade da água em todo País (Brasil, 2000).

A qualidade da água é a medida de sua adequação para um uso específico baseado em suas características físicas, químicas e biológicas (Cordy, 2001). Existem atualmente diversas ferramentas e indicadores utilizados na avaliação da qualidade da água para usos variados. Esses indicadores são um subconjunto das variáveis geralmente observadas, normalizado ou integrado ao longo do tempo e espaço, e contextualizado com valores de referência, a serem alcançados em um determinado momento. Um indicador pode ter diferentes significados, sob diferentes condições, devendo ser analisado sob um contexto específico (Oliveira et al., 2005).

No Brasil, os indicadores mais utilizados nos programas de monitoramento da qualidade da água superficial são o Índice de Qualidade da Água (IQA) e o Índice de Estado Trófico (IET) (Brasil, 2021). O IQA visa dar um único valor à qualidade da água de uma fonte, com base em um ou outro sistema que traduz uma série de variáveis e suas concentrações presentes em uma amostra (Abbasi e

Abbasi, 2012). O IET, por sua vez, tem por finalidade classificar corpos d'água em diferentes graus de trofia, ou seja, avalia a qualidade da água quanto ao enriquecimento por nutrientes (nitrogênio e fósforo) e seu efeito relacionado ao crescimento excessivo das algas ou ao aumento da infestação de plantas aquáticas (CETESB, 2013).

Com o objetivo de eliminar as lacunas no monitoramento, tornar as informações comparáveis em âmbito nacional, aumentar a confiabilidade das informações e avaliar, divulgar e disponibilizar à sociedade as informações de qualidade de água no Brasil, foi criado pela ANA o Programa Nacional de Qualidade da Água (PNQA) e a Rede Nacional de Monitoramento da Qualidade da Água (RNQA) responsável pela agregação dos dados de monitoramento da qualidade da água no País (Brasil, 2013). Em 2016, a Agência iniciou o QUALIÁGUA, visando contribuir para a gestão sistemática dos recursos hídricos, através da divulgação de dados sobre a qualidade das águas superficiais no Brasil a toda sociedade, além de estimular a padronização dos critérios e métodos de monitoramento de qualidade da água no País, de acordo com as diretrizes estabelecidas na Resolução ANA nº 903/2013, para tornar essas informações comparáveis em nível nacional (Brasil, 2016).

A divulgação de informações ambientais por corporações e órgãos governamentais é uma importante forma de promover a comunicação, a supervisão ambiental e de aplicação das leis, além de melhorar o nível de gestão dos recursos. Nesse sentido, a divulgação de dados ambientais através de sites da internet tem tornado promissora. O avanço do acesso à internet tem permitido que muitas informações governamentais possam ser acessadas instantaneamente, a qualquer dia e hora (Portella e Borba, 2019; Zhao e Chen, 2022).

O QUALIÁGUA vem se consolidando como a principal fonte de divulgação de dados de qualidade da água na esfera federal, porém existem algumas lacunas com relação à divulgação dessas informações nos estados, que são responsáveis pelo estabelecimento e operação das redes de monitoramento. Diante do exposto, o objetivo do presente artigo é traçar um panorama atual da divulgação dos dados de qualidade da água superficial no Brasil, estados e no Distrito Federal, no âmbito do Programa.

## 2. O Modelo de Gestão dos Recursos Hídricos no Brasil

O modelo atual de gestão dos recursos hídricos no Brasil é baseado na gestão integrada e participativa, com base em uma matriz institucional consolidada pelo Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos (SINGREH) e por um conjunto de instrumentos inter-relacionados estabelecidos pela PNRH (Brasil, 1997; Veiga e Magrini, 2013).

A PNRH foi instituída por meio da Lei das Águas (Lei nº 9.433/1997) e trouxe importantes alterações nos aspectos administrativos, legais e institucionais dos recursos hídricos no Brasil. A lei define a bacia hidrográfica como unidade territorial de gestão, introduz instrumentos econômicos, como a cobrança pelo uso da água e estabelece o SINGREH, que envolve formas compartilhadas de gestão da água por meio de diferentes instituições em nível federal, níveis estaduais e de bacias hidrográficas (Brasil, 1997; Lima e Soares, 2015).

O SINGREH é o conjunto de órgãos e colegiados que concebe e implementa a PNRH e tem como objetivos: (1) coordenar a gestão integrada das águas; (2) arbitrar administrativamente os conflitos relacionados aos recursos hídricos; (3) planejar, regular e controlar o uso, bem como a recuperação dos corpos d'água; (4) promover a cobrança pelo uso da água (Brasil, 2018). A matriz institucional do SINGREH é mostrada na Figura 1.



**Figura 1.** Matriz institucional do SINGREH. Fonte: Brasil, 2011.

Como visto na Figura 1, o SINGREH é composto de diversos agentes, em vários níveis, com atribuições diferentes, representando diferentes requisitos para compor um sistema de informação

sobre recursos hídricos. Traçar estratégias institucionais entre os integrantes do SINGREH é um grande desafio, que envolve alto nível de disseminação da informação (Silva, 2011).

Neste contexto, o Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH), instrumento de gestão da PNRH se torna um facilitador nesse processo. O SNIRH, de responsabilidade da ANA, coleta, trata, armazena e recupera as informações sobre recursos hídricos, bem como fatores que intervêm na sua gestão (Brasil, 1997; Brasil, 2022a). Tem como princípios básicos (1) a descentralização da obtenção e produção de dados e informações; (2) a coordenação unificada do sistema e (3) o acesso aos dados e informações garantido à toda a sociedade (Brasil, 1997). Atualmente, as informações consolidadas do SNIRH estão disponibilizadas ao público, através do portal do Sistema (Brasil, 2022).

### **3. Programa Nacional de Avaliação da Qualidade das Águas (PNQA)**

No ano de 2001 a ANA implementou a Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN), que é responsável pela obtenção de dados sobre a disponibilidade da quantidade e qualidade das água das Bacias Hidrográficas brasileiras. Em 2007 a Agência realizou um diagnóstico das redes estaduais de monitoramento da qualidade da água através de uma conjuntura dos recursos hídricos (Brasil, 2006; Brasil, 2019). Os dados do diagnóstico revelaram uma ausência de monitoramento em nove estados e falta de divulgação das informações em alguns deles; poucas variáveis e pontos monitorados e falta de sustentabilidade financeira pelos estados para realização do monitoramento (Brasil, 2019).

Em 2008, a ANA criou o Programa Nacional de Avaliação da Qualidade das Águas (PNQA) com o objetivo principal de expandir o conhecimento sobre a qualidade das águas superficiais no Brasil, de forma a subsidiar os tomadores de decisão na definição de políticas públicas para a manutenção e recuperação da qualidade das águas interiores, contribuindo com a gestão sustentável dos recursos hídricos (Brasil, 2022b).

O PNQA tem como objetivos principais (1) eliminar as lacunas geográficas e temporais no monitoramento de qualidade de água; (2) tornar as informações de qualidade de água comparáveis em

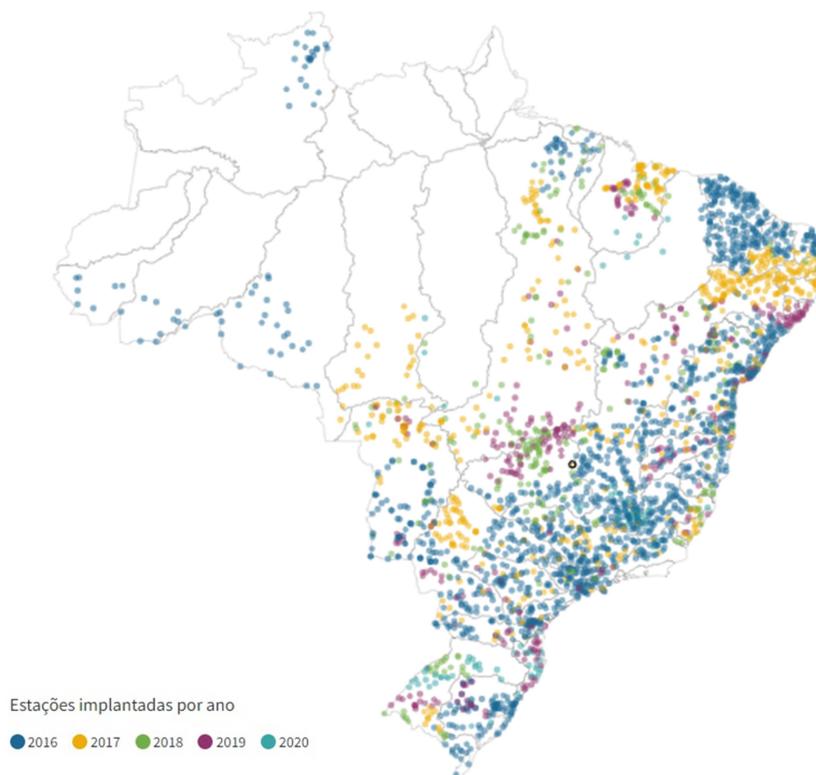
âmbito nacional; (3) aumentar a confiabilidade das informações de qualidade de água e (4) avaliar, divulgar e disponibilizar à sociedade as informações de qualidade de água (Brasil, 2022a).

O Programa é formado por quatro componentes principais, os quais são organizados para atender os objetivos específicos do Programa, são eles: (A) a Rede Nacional de Monitoramento da Qualidade da Água (RNQA); (B) a padronização de parâmetros, procedimentos de coleta, preservação e análises das amostras de água em todas as Unidades da Federação; (C) a ampliação do controle de Laboratórios envolvidos nas análises e a capacitação de pessoas envolvidas no monitoramento da qualidade da água; e (D) a criação e manutenção de um banco de dados nacional através e de um portal na internet para divulgação das informações de qualidade de água e a avaliação sistemática da qualidade da água superficial no Brasil (Brasil, 2016).

### *3.1. Rede Nacional de Monitoramento da Qualidade de Água (RNQA)*

A RNQA, lançada em 2014, tem por finalidade analisar as tendências de evolução da qualidade das águas superficiais no Brasil, analisar a qualidade das águas quanto ao atendimento ao enquadramento dos corpos hídricos superficiais, identificar áreas críticas em relação à poluição da água, medir a efetividade das ações de recuperação da qualidade das águas superficiais e apoiar ações de planejamento, outorga, licenciamento e fiscalização (Brasil, 2013).

A RHN e a RNQA são as principais fontes de dados de monitoramento da qualidade da água no Brasil. A RHN tem como foco principal o monitoramento quantitativo da água, porém monitora variáveis básicas de qualidade, como pH, temperatura, oxigênio dissolvido (OD), turbidez e condutividade elétrica, por meio de sondas multiparâmetros instaladas em campo, em todos os estados e no DF (Brasil, 2021). Além das variáveis mencionadas a RNQA monitora outros parâmetros, que exigem a coleta e análise em laboratório, como fósforo, nitrogênio, coliformes, entre outros. A RNQA possui atualmente 2.938 pontos de monitoramento, em 23 estados e no Distrito Federal (Figura 2).



**Figura 2.** Pontos de monitoramento no âmbito da RNQA. Fonte: Brasil, 2021.

### 3.2. Programa de Estímulo à Divulgação de Dados de Qualidade de Água - QUALIÁGUA

O QUALIÁGUA é uma iniciativa da ANA que tem como objetivos (1) contribuir para a gestão sistemática dos recursos hídricos, através da divulgação de dados sobre a qualidade das águas superficiais no Brasil a toda a sociedade; (2) estimular a padronização dos critérios e métodos de monitoramento de qualidade de água no País, de acordo com diretrizes estabelecidas, para tornar essas informações comparáveis em nível nacional; (3) contribuir para o fortalecimento e estruturação dos órgãos estaduais gestores de recursos hídricos e meio ambiente para que realizem o monitoramento sistemático da qualidade das águas e deem publicidade aos dados gerados; e (4) promover a implementação da Rede Nacional de Monitoramento da Qualidade da Água, no âmbito do PNQA (Brasil, 2022c).

O QUALIÁGUA foi instituído pela Resolução da ANA nº 1040/2014 (Brasil, 2014) e alterado pela Resolução da ANA nº 643/2016 (Brasil, 2016). De acordo com a Resolução, o estímulo

à adesão ao Programa se dá através de premiação financeira, com aporte de recursos orçamentários da ANA na forma de pagamento pelo alcance de metas fixadas pela Agência relativas ao monitoramento e divulgação de dados de qualidade de água à sociedade (Brasil, 2016).

A adesão ocorre por meio de Acordo de Cooperação Técnica entre a ANA, os estados e o órgão ou entidade estadual/distrital responsável pelo monitoramento qualitativo dos recursos hídricos, este último como Instituição Executora. Segundo a Resolução, as metas mínimas do QUALIÁGUA são divididas em duas partes: (1) metas de monitoramento e divulgação: metas de operação, com critérios mínimos de número de pontos, número de parâmetros e número de pontos com medição de vazão simultânea; (2) metas estruturantes: mínimo de frequência de amostragem (metas de padronização), capacitação de técnicos responsáveis pelas atividades de monitoramento e avaliação de qualidade de água (metas de capacitação) e melhorias nas atividades de laboratório (metas de laboratórios) (Brasil, 2016; Brasil, 2019).

As metas a serem cumpridas foram estipuladas levando em consideração a situação das Unidades da Federação em relação à rede de monitoramento de qualidade da água no ano de criação do QUALIÁGUA (2016), sendo assim divididos em três grupos. O primeiro formado pelos estados que já possuíam redes de operação mais estruturadas e que operavam redes de qualidade de água, com capacidade de expansão: CE, DF, MG e SP. O segundo grupo que operavam redes de monitoramento, mas que necessitam expandir os pontos de monitoramento, e atuar na capacitação técnica e laboratorial: BA, ES, GO, MT, MS, PB, PR, PE, RJ, RN e RS; e um terceiro grupo formado por estados em que o monitoramento é inexistente ou não está consolidado: AC, AL, AP, AM, MA, PA, PI, RO, RR, SC, SE e TO (Brasil, 2022c).

A ANA prevê como obrigação da Agência, no âmbito do programa, entre outros: divulgar o QUALIÁGUA, estabelecer as metodologias e instrumentos de certificação das metas, certificar o cumprimento das metas contratuais e divulgar os dados gerados através de Portal na *internet*.

#### **4. Indicadores de Qualidade da Água**

No Brasil, os principais indicadores de qualidade da água utilizados nos programas de monitoramento e avaliação da qualidade da água são compostos por índices, como o Índice de

Qualidade da Água (IQA) e o Índice de Estado Trófico (IET) (Brasil, 2021). Os índices são ferramentas úteis que visam transformar dados complexos de qualidade da água em informações compreensíveis e utilizáveis pelo público leigo. Muitos índices têm sido desenvolvidos para resumir os dados de qualidade da água em um formato de fácil compreensão (Adelagun et al., 2021).

O IQA, índice mais adotado nos programas de estaduais e federais no Brasil, foi adaptado em 1977 pela Companhia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) da *National Sanitation Foundation* (NSF) dos EUA (Muniz et al., 2018). Esse índice é calculado a partir da ponderação de nove variáveis consideradas relevantes para a avaliação da qualidade da água utilizada para consumo humano. As variáveis que compõem o IQA são: oxigênio dissolvido, coliformes termotolerantes, pH, demanda bioquímica de oxigênio, temperatura, nitrogênio total, fósforo total, turbidez e resíduo total (CETESB, 2017). A Tabela 1 apresenta as cinco classes do IQA, suas respectivas ponderações, variáveis e peso de cada uma delas.

**Tabela 1.** Classe, faixas, variáveis e respectivos pesos do IQA da CETESB.

IQA			
<i>Classe</i>	<i>Faixa</i>	<i>Variável</i>	<i>Peso</i>
Ótima	80-100	Oxigênio Dissolvido	0,17
Boa	52-79	Coliformes termotolerantes	0,15
Regular	37-51	pH	0,12
Ruim	20-36	Demanda Bioquímica de Oxigênio	0,10
Péssima	0-19	Temperatura	0,10
		Nitrogênio Total	0,10
		Fósforo total	0,10
		Turbidez	0,08
		Resíduo Total	0,08

Fonte: Adaptado de CETESB, 2017.

O estado trófico é uma propriedade importante dos ecossistemas aquáticos, pois reflete a influência antrópica na qualidade da água e no funcionamento ecológico de rios, lagos e reservatórios (Cunha et al., 2013). O IET tem por finalidade classificar corpos d'água em diferentes graus de trofia, ou seja, avalia a qualidade da água quanto ao enriquecimento por nutrientes e seu efeito relacionado ao crescimento excessivo das algas e cianobactérias (CETESB, 2013). No Brasil, alguns órgãos

estaduais adotam o IET adaptado do índice originalmente proposto por Carlson (1977). Esse IET possui cálculos diferentes para ambientes lênticos (lagos e reservatórios) e lóticos (rios), e leva em consideração apenas duas variáveis na composição dos cálculos: fósforo total (nutriente que atua como o agente causador do processo) e clorofila-a (resposta do corpo hídrico ao agente causador) (CETESB, 2017). A Tabela 2 apresenta as classes de trofia, faixas e valores de fósforo (P) e clorofila-a para rios e lagos ou reservatórios, respectivamente.

**Tabela 2.** Classes de trofia, faixas e valores de P-total e clorofila-a utilizados no IET.

IET – Rios				IET - Reservatórios			
<i>Classe</i>	<i>Faixa</i>	<i>P-total (mg/L)</i>	<i>Clorofila (mg/L)</i>	<i>Classe</i>	<i>Faixa</i>	<i>P-total (mg/L)</i>	<i>Clorofila (mg/L)</i>
Ultraoligotrófico	≤ 47	≤ 13	≤ 0,74	Ultraoligotrófico	≤ 47	≤ 8	≤ 1,17
Oligotrófico	48 – 52	14 – 35	0,75 – 1,31	Oligotrófico	48 – 52	9 – 19	1,18 – 3,24
Mesotrófico	53 – 59	36 – 137	1,32 – 2,96	Mesotrófico	53 – 59	20 – 52	3,25 – 11,03
Eutrófico	60 – 63	138 – 296	2,97 – 4,70	Eutrófico	60 – 63	53 – 120	11,04 – 30,55
Supereutrófico	64 – 67	296 – 640	4,71 – 7,46	Supereutrófico	64 – 67	121 – 233	30,56 – 69,05
Hipereutrófico	> 67	> 640	> 7,46	Hipereutrófico	> 67	> 233	> 69,06

Fonte: Adaptado de CETESB, 2017.

## 5. Divulgação dos dados da Qualidade da Água Superficial nos Estados e no Distrito Federal

O QUALIÁGUA é um programa de premiação pelo alcance de metas contratuais, de adesão voluntária, aberto a todas as Unidades da Federação e ao Distrito Federal. No ano de implementação (2019) o Programa contava com 2.346 pontos de monitoramento operados por 22 Estados e no DF. A meta de planejamento para 2025 é que sejam monitorados 3.085 pontos em todo o País (Brasil, 2019).

Um dos desafios do Programa é a consolidação das redes e ampliação dos parâmetros analisados direcionados para as especificidades regionais, além da divulgação pelos estados dos dados de avaliação da qualidade das águas (Brasil, 2019). A Tabela 3 apresenta as informações sobre a divulgação do QUALIÁGUA por estado e no DF.

**Tabela 3.** Informações sobre a divulgação dos dados do QUALIÁGUA por Unidade da Federação.

Grupo <sup>1</sup>	UF	Instituição <sup>2</sup>	RNQA <sup>3</sup>	IQA <sup>4</sup>	IET <sup>5</sup>	CONAMA <sup>6</sup>	Pontos <sup>7</sup>	Formato	Ano <sup>8</sup>
Grupo I	CE	SEMACE/COGERH			●			Relatório/ Portal	2022
	DF	ADASA	●	●				Portal	2021
	MG	IGAM	●	●	●			Relatório	2022
	SP	CETESB	●	●	●			Portal	2022
Grupo II	BA	SEIA	●	●	●			Portal	2021
	ES	AGERH	●	●				Portal	2022
	GO	SEMAD		●				Boletim/ Relatório	2016
	MT	SEMA	●	●	●	●		Relatório	2019
	MS	IMASUL	●					Relatório	2019
	PB	AESA	●					Portal	2020
	PR	IAT	●	●				Portal	2022
	PE	APAC	●	●	●	●		Relatório	2019
	RJ	INEA		●				Boletim	2021
	RN	IGARN		●	●			Boletim	2021
RS	FEPAM					●		Boletim	2021
Grupo III	AC	IMAC/ SEMAPI						Não disponibilizados	
	AL	SEMARH	●					Planilha	2019
	AM	SEMA						Não disponibilizados	
	AP	SEMA						Não disponibilizados	
	MA	SEMA	●					Relatório	2019
	PA	SEMAS	●					Boletim/ Relatório/ Planilha/ Portal	2020
	PI	SEMAR						Não disponibilizados	
	RO	SEDAM/ COREH	●					Planilha	2019
	RR	FEMARH	●					Boletim	2021
	SC	SEMA	●	●			●	Boletim/ Portal	2022
	SE	SEDURBS						Não disponibilizados	
	TO	SEMARH	●	●				Boletim	2022

<sup>1</sup> Grupo = Grupos de Unidades da Federação componentes do QUALIÁGUA / <sup>2</sup>Instituição = Instituição executora do monitoramento / <sup>3</sup>RNQA = Parâmetros de qualidade da água monitorados no âmbito da RNQA / <sup>4</sup>IQA – Índice de Qualidade da Água / <sup>5</sup>IET = Índice de Estado Trófico / <sup>6</sup>CONAMA = CONAMA n° 357/2005 / <sup>7</sup>Ano = Ano da última atualização dos dados.

Como pode ser visto na Tabela 3, as Unidades da Federação que o compõe o Grupo I do QUALIÁGUA, possuem os dados de qualidade da água superficial divulgados através de portais próprios (CE, DF e SP) e na forma de relatórios (CE e MG).

O monitoramento da qualidade da água no Estado do Ceará é realizado pela Superintendência Estadual do Meio Ambiente (SEMACE) e pela Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos (COGERH), órgão responsável pelo gerenciamento de mais de 90% dos reservatórios e açudes, principais fontes de água superficial no Estado (COGERH, 2022a). Os dados de qualidade da água no CE são apresentados para os reservatórios, por meio do IET, no “Portal Hidrológico do Ceará” (COGERH, 2022b). O Estado monitora 187 pontos, sendo 49 em rios, operados pela SEMACE e 138 pontos em reservatórios, operados pela COGERH (Brasil, 2022d).

No Distrito Federal, os indicadores de qualidade da água, IQA, IET e ICE (Índice de Conformidade ao Enquadramento) são divulgados através de portal próprio, no *site* da Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento do Distrito Federal (ADASA). A Agência é responsável pelo monitoramento de 59 pontos de monitoramento em rios e córregos e 18 pontos em reservatórios em todo o DF (ADASA, 2022).

O Estado de Minas Gerais possui uma ampla rede de monitoramento da qualidade da água superficial em 678 estações de monitoramento em todo o Estado. Os dados de qualidade da água em MG são apresentados na forma de relatórios atualizados utilizando o IQA e IET como indicadores de qualidade da água, no “Portal InfoHidro” (IGAM, 2022).

Assim como MG, o Estado de São Paulo apresenta uma larga e consolidada rede de monitoramento da qualidade da água superficial operada pela CETESB desde 1974. Para SP, os dados de qualidade da água são disponibilizados no portal “InfoÁguas”, para 477 pontos de amostragem em rios e reservatórios (CETESB, 2022).

No Grupo II, os Estados da BA, ES, PB e PR disponibilizam os dados de qualidade da água, no âmbito da RNQA, em Portal na internet. Os Estados de GO, RJ, RN e RS na forma de Boletim e os Estados de GO, MT, MS e PE na forma de Relatório. Destas 11 UFs, apenas duas mantêm dados atualizados (Tabela 3).

No Estado da Bahia, os dados de 552 pontos de monitoramento em corpos de água superficiais são divulgados pelo Portal do Sistema Estadual de Informações Ambientais e de Recursos Hídricos (SEIA). Tanto o IQA quanto o IET são utilizados como indicadores de qualidade da água de rios e

reservatórios, além de outros parâmetros físicos, químicos e biológicos de qualidade da água previstos no RNQA (SEIA, 2022).

No Espírito Santo, a divulgação dos 86 pontos de monitoramento é feita pela Agência Estadual de Recursos Hídricos (AGERH) através do indicador IQA e de outros parâmetros de qualidade da água previstos no RNQA. Através do Portal “IQA-ES” os usuários tem acesso aos pontos de monitoramento e dados relativos à qualidade da água de cada local (AGERH, 2022).

Os dados de 70 pontos de monitoramento da qualidade da água de rios e reservatórios no Estado da Paraíba são disponibilizados pela Agência Executiva de Gestão das Águas (AESAs). Os resultados das variáveis previstas no RNQA são disponibilizados pelo Portal “QualiÁguas” (Brasil, 2022e; AESA, 2022).

No Paraná, o Instituto Água e Terra (IAT) é o responsável pela divulgação dos dados de qualidade da água dos 189 pontos de monitoramento através do Portal “Geo”. No PR o indicador utilizado para divulgação é o IQA, além de outros parâmetros previstos no RNQA. O IAT disponibiliza ainda resultados do Índice de Qualidade da Água de Reservatórios (IQAR) (IAT, 2022).

No Estado de Goiás, os dados dos 120 pontos de monitoramento de qualidade da água são apresentados tanto na forma de Boletim como de Relatório, no site da Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SEMAD-GO). Cabe ressaltar que os últimos dados divulgados pela Secretaria são do ano de 2016, sendo assim a UF que apresenta os dados menos atualizados (SEMAD-GO, 2022).

No Rio de Janeiro, os dados são disponibilizados e divulgados pelo Instituto Estadual do Ambiente (INEA), no formato de Boletim, utilizando o IQA como indicador em 321 pontos de amostragem em rios e reservatórios (INEA, 2022). No Estado do Rio Grande do Norte, a divulgação também é por Boletim pelo Instituto de Gestão das Águas do Rio Grande do Norte (IGARN). São monitorados 63 pontos em rios e reservatórios, com IQA e IET como indicadores (Brasil, 2022f; IGARN, 2022).

Os dados de qualidade da água no Rio Grande do Sul são divulgados pela Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luis Roessler (FEPAM). Ao todo são monitorados 186

pontos e os resultados divulgados na forma de Boletim, por meio do enquadramento segundo a CONAMA n° 357/05 (FEPAM, 2021).

Nos estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul as informações são divulgadas por meio de Relatórios, nos sites dos respectivos órgãos de meio ambiente dos Estados. Em MT, a Secretaria de Estado de Meio Ambiente (SEMA-MT) é responsável pela divulgação dos dados dos 107 pontos de amostragem, utilizando como indicadores o IQA e o IET; e ainda o enquadramento conforme a CONAMA n° 357/2005 (SEMA-MT, 2019). Para MS os dados de 127 pontos de monitoramento são disponibilizados pelo Instituto de Meio Ambiente do Mato Grosso do Sul (IMASUL), por meio de variáveis previstas na RNQA (IMASUL, 2019; Brasil, 2022g).

Em Pernambuco, 54 pontos em reservatórios e 40 pontos de rios são monitorados, e os dados divulgados em Relatório pela Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC). A Agência divulga o IQA e IET, além do enquadramento conforme a CONAMA n° 357/2005 (APAC, 2022).

No Grupo III, sete das doze UFs divulgam os dados de qualidade da água através de Boletim (PA, RR, SC e TO), Relatórios (MA e PA), Planilhas (AL, PA e RO) e Portal (PA e SC).

No Estado de Alagoas os dados são divulgados em forma de Planilha pela Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos (SEMARH-AL) e monitoradas variáveis de qualidade em 36 pontos que compõe a RNQA (SEMARH-AL, 2022). Já no Maranhão, a divulgação é responsabilidade da Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Naturais (SEMA-MA), que disponibiliza os resultados das análises de variáveis do RNQA de 140 pontos de monitoramento (SEMA-MA, 2022).

Os dados de qualidade da água do Pará são disponibilizados no Portal “Hidromet” na forma de Boletim, Relatório e Planilha. O monitoramento no Estado é responsabilidade da Secretaria de Meio Ambiente e Sustentabilidade (SEMAS-PA), a qual monitora os parâmetros físico-químicos: temperatura, pH, turbidez, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido em mais de 95 pontos (SEMAS-PA, 2022).

Em Rondônia a divulgação dos dados é realizada por meio de Planilhas disponibilizadas pela Coordenadoria de Recursos Hídricos (COREH) da Secretaria de Estado do Desenvolvimento Ambiental (SEDAM). Ao todo são monitoradas nove variáveis previstas na RNQA em 26 pontos em

rios no Estado (COREH, 2022). Já Roraima possui 23 pontos de monitoramento que compõem o QUALIÁGUA, monitorados pela Fundação de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (FEMARH). Os dados são divulgados na forma de Relatório para 15 parâmetros de qualidade da água e nenhum índice é calculado (FEMARH, 2022).

No Estado de Santa Catarina, 40 pontos são monitorados e divulgados na forma de Boletim e do Portal “Qualiágua SC” pela Secretaria Executiva do Meio Ambiente (SEMA-SC). Ao todo são 23 parâmetros avaliados e o indicador utilizado é o IQA. Além do IQA, há também o enquadramento dos corpos d’água, segundo a Resolução do CONAMA nº 357/2005 (SEMA-SC, 2022).

Em Tocantins a qualidade da água monitorada é divulgada através de Boletim da Secretaria de Ambiente e Recursos Hídricos (SEMARH-TO). No Estado são monitorados atualmente 52 pontos em corpos hídricos superficiais e os dados divulgados por meio de Boletim com dados do IQA e de 15 parâmetros de qualidade da água previstos no QUALIÁGUA (SEMARH-TO, 2022).

Para os Estados do Acre, Amapá, Amazonas, Sergipe e Piauí não há divulgação dos dados de qualidade da água superficial (Tabela 3). O AC conta com uma rede com 17 pontos monitorados pela Secretaria de Estado de Meio Ambiente (SEMA-AC) (ANA, 2021). Em SE são 16 pontos monitorados pela Secretaria de Estado do Desenvolvimento Urbano e Sustentabilidade (SEDURBS) (ANA, 2021). O AM, AP e PI são os Estados da Federação que ainda estão em fase de adesão ao QALIAGUA (Figura 2).

## **6. Considerações Finais**

A avaliação e o monitoramento da qualidade da água são importantes ferramentas da Gestão Integrada dos Recursos Hídricos. No Brasil, dada as suas dimensões continentais e características climáticas e socioambientais contrastantes, os desafios da GIRH são ainda maiores. Apesar de sua importância, somente nos últimos anos a gestão da qualidade da água no Brasil tem recebido atenção maior, seja no aspecto legal ou planejamento e na operacionalização dos sistemas.

Com o objetivo de ampliar o conhecimento sobre a qualidade das águas superficiais no País e subsidiar tomadores de decisão na definição de políticas para a gestão da qualidade das águas, a

Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico criou o Programa Nacional de Qualidade da Água e a Rede Nacional de Monitoramento de Qualidade da Água.

Mais tarde, visando a divulgação de dados sobre a qualidade das águas superficiais no Brasil a toda a sociedade, a Agência criou o Programa de Estímulo à Divulgação de Dados de Qualidade de Água - QUALIÁGUA. Após alguns anos de criação do Programa, muitos avanços foram conquistados e as seguintes observações foram feitas:

- ◆ Alguns estados possuem redes de monitoramento amplas e consolidadas, como BA, CE, DF, MG, RJ, RS e SP.
- ◆ Muitos Estados monitoram e divulgam dados de qualidade da água de Reservatórios, sobretudo o que utilizam a água como fonte de abastecimento humano.
- ◆ As informações sobre monitoramento da qualidade da água em alguns Estados da Região Norte são muitas vezes deficientes ou inexistentes (AC, AM, AP).
- ◆ Na Região Nordeste, o Estado do PI não iniciou o monitoramento no âmbito do QUALIÁGUA e o Estado de SE ainda não divulga os dados de monitoramento.
- ◆ IQA e IET são os principais indicadores utilizados na divulgação dos dados de qualidade da água superficial.

Como visto na revisão, nos últimos anos o País avançou na construção de uma rede nacional de monitoramento de qualidade da água. A RNQA e o QUALIÁGUA ainda apresentam algumas lacunas e desafios, sobretudo na consolidação das redes, levando em consideração as diferenças regionais; e na melhoria da divulgação dos dados de monitoramento por parte dos estados. Com isso, esta revisão trouxe um panorama atual da divulgação da qualidade da água no Brasil com o objetivo de contribuir para a publicidade e avanços do QUALIÁGUA.

## **7. Referências**

Abbasi, T.; Abbasi, S.A. (2012). Water quality indices. Elsevier, UK, 384 pp.

ADASA – Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento do Distrito Federal. (2022) Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos – DF. Qualidade das Águas DF. <http://gis.adasa.df.gov.br/portal/home/index.html>

- Adelagun, R.O.A.; Etim, E.E.; Emmanuel, Godwin, OE. Application of Water Quality Index for the Assessment of Water from Different Sources in Nigeria In Promising Techniques for Wastewater Treatment and Water Quality Assessment, edited by Iqbal Moujdin, J. Summers. London: IntechOpen, 2021. 10.5772/intechopen.98696
- AESA – Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (2022) Sistema de Relatórios da AESA. <http://www.aesa.pb.gov.br:8080/aesa-relatorio/paginas/publico/menu.xhtml>
- AGERH – Agência Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Espírito Santo (2022) IQA-ES Informações sobre a Qualidade das Águas do Estado do Espírito Santo. <https://servicos.agerh.es.gov.br/iqa/>
- APAC – Agência Pernambucana de Águas e Clima (2022) Monitoramento. Qualidade da Água. <https://www.apac.pe.gov.br/qualidade-de-agua>
- Brasil (1997) 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. Brasília (DF). Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, DF. [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/19433.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19433.htm)
- Brasil (2000) Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000. Dispõe sobre a criação da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). Brasília (DF). Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, DF. [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/19984.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19984.htm)
- Brasil (2005) Resolução do CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília (DF). Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, DF. [https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2005/res\\_conama\\_357\\_2005\\_classificacao\\_corpos\\_agua.pdf](https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2005/res_conama_357_2005_classificacao_corpos_agua.pdf)
- Brasil (2011) O Comitê de Bacia Hidrográfica: o que é e o que faz. ANA, Brasília-DF. Cadernos de Capacitação em Recursos Hídricos, 1.
- Brasil (2013) Resolução ANA nº 903, de 22 de julho de 2013. Cria a Rede Nacional de Monitoramento da Qualidade da Água – RNQA e estabelece suas diretrizes. Brasília (DF). Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, DF. <https://arquivos.ana.gov.br/resolucoes/2013/903-2013.pdf?122751>
- Brasil (2016) Resolução ANA nº 643, de 27 de junho de 2016. Altera o Programa de Estímulo à Divulgação de Dados de Qualidade de Água - QUALIÁGUA e dá outras providências. Brasília (DF). Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, DF. <https://www.ibama.gov.br/component/legislacao/?view=legislacao&legislacao=136484>
- Brasil (2019) O Programa de Estimulo a Divulgação de dados de Qualidade de Água – QUALIÁGUA: Histórico, Implantação e Desafios. ANA, XXIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. <https://eventos.abrh.org.br/xxiiisbrh/pdf/abrh-2019-maurrem.pdf>
- Brasil (2021) Conjuntura dos Recursos Hídricos do Brasil 2021. ANA: Brasília-DF. <https://relatorio-conjuntura-ana-2021.webflow.io/>
- Brasil (2022) Portal do SNIRH - Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos. ANA: Brasília-DF. <https://www.snirh.gov.br/>

- Brasil (2022b) Portal da Qualidade das Águas. O que é PNQA. ANA, Brasília-DF. <http://pnqa.ana.gov.br/pnqa.aspx>
- Brasil (2022c) Portal da Qualidade das Águas. QUALIÁGUA. ANA, Brasília-DF. <http://pnqa.ana.gov.br/QUALIÁGUA.aspx>
- Brasil (2022d) O Qualiágua no estado do Ceará. ANA, Brasília-DF. <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/monitoramento-e-eventos-criticos/qualidade-da-agua/programa-QUALIÁGUA/ce>
- Brasil (2022e) O Qualiágua no estado da Paraíba. ANA, Brasília-DF. <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/monitoramento-e-eventos-criticos/qualidade-da-agua/programa-QUALIÁGUA/pb>
- Brasil (2022f) O Qualiágua no estado do Rio Grande do Norte. ANA, Brasília-DF. <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/monitoramento-e-eventos-criticos/qualidade-da-agua/programa-QUALIÁGUA/rn>
- Brasil (2022g) O Qualiágua no estado do Mato Grosso do Sul. ANA, Brasília-DF. <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/monitoramento-e-eventos-criticos/qualidade-da-agua/programa-QUALIÁGUA/ms>
- Carlson, R.E. (1977) A trophic state index for lakes. *Limnology and Oceanography*, 22(2), 361-369. <https://doi.org/10.4319/lo.1977.22.2.0361>
- CETESB - Companhia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo (2013) IET – Índice do Estado Trófico, Governo do Estado de São Paulo, SP, 4p. <https://www.cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2013/11/04.pdf>
- CETESB – Companhia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo (2017) Apêndice D Índices de Qualidade das Águas. Índice de Qualidade das Águas. CETESB, SP, p.4-6. <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2017/11/Ap%C3%AAndice-D-%C3%8Dndices-de-Qualidade-das-%C3%81guas.pdf>
- CETESB – Companhia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo (2022) InfoÁguas. <https://sistemainfoaguas.cetesb.sp.gov.br/>
- COGERH – Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Ceará (2022a) Portal COGERH. Histórico. <https://portal.cogerh.com.br/historico/>
- COGERH – Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Ceará (2022b) Portal Hidrológico do Ceará. Sistema de Qualidades das Águas: Estado Trófico. <http://www.hidro.ce.gov.br/acude/eutrofizacao>
- Cordy, G.E. (2001) A primer on water quality. USGS, EUA, 2 pp. <http://pubs.usgs.gov/fs/fs-027-01/pdf/FS-027-01.pdf>
- COREH - Coordenadoria de Recursos Hídricos de Rondônia (2022). Sistema Estadual de Informações de Recursos Hídricos. Divulgação de Dados. Monitoramento Qualiágua. <http://coreh.sedam.ro.gov.br/sistema-de-informacoes-de-recursos-hidricos/>
- Cunha, D.G.F.; Calijuri, M.C.; Lamparelli, M.C. (2013) A trophic state index for tropical/subtropical reservoirs (TSI<sub>tr</sub>). *Ecolol Eng*, 60, 126-134. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.07.058>

- FEMARH - Fundação de Meio Ambiente e Recursos Hídricos de Roraima. Boletins. Qualidade da Água. <http://www.femarh.rr.gov.br/index.php/component/sppagebuilder/?view=page&id=16&Itemid=0>
- FEPAM - Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luis Roessler (2021) Boletim da Qualidade Ambiental 01/2021. Qualidade da Água Superficial do Rio Grande do Sul – Junho de 2021. [http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/Boletins/Boletim\\_Agua%20superficial-RS-2019.pdf](http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/Boletins/Boletim_Agua%20superficial-RS-2019.pdf)
- Gesualdo, G.C.; Sone, J.S.; Galvão, C.O.; Martins, E.S.; Montenegro, S.M.G.L.; Tomasella, J.; Menciondo, E.M. (2021) Unveiling water security in Brazil: current challenges and future perspectives, *Hydro Sci J*, 66(5): 759-768, <https://doi.org/10.1080/02626667.2021.1899182>
- Getirana, A.; Libonati, R., Cataldi, M. (2021) Brazil is in water crisis - it needs a drought plan. *Nature* 600, 218–220. <https://doi.org/10.1038/d41586-021-03625-w>
- IAT – Instituto de Águas e Terras do Paraná (2022) Monitoramento da Qualidade das Águas. <https://www.iat.pr.gov.br/Pagina/Monitoramento-da-Qualidade-das-Aguas>
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2022) Brasil – População. IBGE: Brasília-DF. 2021. <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/panorama>
- IGAM – Instituto Mineiro de Gestão das Águas (2022) Portal InfoHidro Informações sobre Recursos Hídricos. Monitoramento de Qualidade das Águas. <http://portalinfohidro.igam.mg.gov.br/monitoramento-de-qualidade-das-aguas>
- IGARN – Instituto de Gestão das Águas do Rio Grande do Norte (2022) Gestão das Águas. Monitoramento Qualitativo. <http://www.igarn.rn.gov.br/Conteudo.asp?TRAN=ITEM&TARG=29753&ACT=&PAGE=0&PARM=&LBL=Gest%E3o+das+%C1guas>
- IMASUL - Instituto de Meio Ambiente do Mato Grosso do Sul (2022) Relatórios de Monitoramento da Qualidade das Águas Superficiais de MS. <https://www.imasul.ms.gov.br/relatorios-de-monitoramento-da-qualidade-das-aguas-superficiais/>
- INEA – Instituto Estadual do Ambiente do Rio de Janeiro (2022) Qualidade e Monitoramento das Águas. <http://www.inea.rj.gov.br/qualidade-e-monitoramento-das-aguas/>
- Lima, B.P.; Soares, M.C. (2015) Aspectos Legais e Institucionais da Gestão de Recursos Hídricos. MMA, ANA, IFCE. 43p. <https://capacitacao.ana.gov.br/conhecerh/bitstream/ana/2455/1/Aspectos%20Legais%20-%20Livro.pdf>
- Maestu, J. (2015) Water and Sustainable Development: Implementing the water related Sustainable Development Goals. The relevance of technology. In: Lopera, R.A. (Ed) Water and Sustainable Development. UN Water Monographies, 104 p. <https://www.un.org/waterforlifedecade/pdf/wm-iii-eng.pdf>
- Mehmood, H. (2019) Bibliometrics of Water Research: A Global Snapshot. UNU-INWEH Report Series, Issue 06. United Nations University Institute for Water, Environment and Health, Hamilton, Canada, 24 p. <https://doi.org/10.53328/EYBT8774>
- Muniz, D.H.F., Santana, M.L.C., Oliveira-Filho, E. C. (2020) Avaliação da qualidade da água e condições de balneabilidade no médio Rio Araguaia. *Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental Science*, 9(2): 308-327. <http://dx.doi.org/10.21664/2238-8869.2020v9i2>

- Oliveira, R.E.S.; Lima, M.M.C.L.; Vieira, J.M.P. (2005) An indicator system for surface water quality in river basins. 4° Inter-celtic Colloquium on Hydrology and Management of Water Resources, Guimarães, Portugal, Julho 2005. 16p. [https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/4638/1/OLIVEIRA\\_CI1\\_2005.pdf](https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/4638/1/OLIVEIRA_CI1_2005.pdf)
- Padosevi-Fonseca, C.; Faria, R.S. (2022) Desafios da Gestão Integrada de Recursos Hídricos no Brasil e na Europa. RMRH - Rev. Min. Rec. Hidr., Belo Horizonte, v.3, e022003
- Paiva, R.C.D.; Chaffe, P.L.B.; Anache, J.A.A.; Fontes, A.F. (2020) Advances and challenges in the water sciences in Brazil: a community synthesis of the XXIII Brazilian Water Resources Symposium. RBRH, v. 25, e50. <https://doi.org/10.1590/2318-0331.252020200136>
- Portella, A.R.; Borba, J.A. (2020) Environmental disclosure in corporate websites: a study in Brazil and USA companies. RAUSP Management Journal, 55(3), 309-324. : <https://www.emerald.com/insight/2531-0488.htm>
- SEIA - Sistema Estadual de Informações Ambientais e de Recursos Hídricos do Estado da Bahia (2022) Módulo Monitoramento. <http://monitoramento.seia.ba.gov.br/login.xhtml>
- SEMA-MA - Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Naturais do Estado do Maranhão (2022) Qualiágua. <https://www3.sema.ma.gov.br/QUALIÁGUA/>
- SEMAS-PA - Secretaria de Meio Ambiente e Sustentabilidade do Estado do Pará (2022) Portal Hidromet. Programa Qualiágua. [https://www.semas.pa.gov.br/hidromet/pages/qualidade\\_agua](https://www.semas.pa.gov.br/hidromet/pages/qualidade_agua)
- SEMA-SC - Secretaria Executiva do Meio Ambiente de Santa Catarina (2022) Painel Quaiagua SC. <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiOTk1MWQ1YzEtZjE0NC00Nzc5LWE2NTQtMGU0YWUxZGQ1OTc5IiwidCI6ImExN2QwM2ZlLTRiYWMTNGI2OC1iZDY4LWUzOTYzYTJlYzRlNiJ9&pageName=ReportSection53d32cd0b6bc65c5ca39>
- SEMAD-GO – Secretaria de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável de Goiás (2022) Centro de Informações Meteorológicas e Hidrológicas de Goiás. Boletim de Monitoramento Hídrico. <https://www.meioambiente.go.gov.br/monitoramento-h%C3%ADrico/lista-facil-de-pasta-boletim-de-monitoramento-hidrico.html>
- SEMARH-AL - Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do Estado de Alagoas (2022) Dados de Qualidade de Água dos Mananciais Superficiais Monitorados pelo Programa QUALIÁGUA em Alagoas. <http://www.semarh.al.gov.br/programas/QUALIÁGUA/DADOS%20QUALIÁGUA.xlsx/view>
- SEMARH-TO - Secretaria de Ambiente e Recursos Hídricos do Tocantins (2022) Boletim Campanha. <https://www.to.gov.br/semarh/2022/1so9d6cbp9kj>
- Silva, M.A. (2011) Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos e a Gestão da Informação na Agência Nacional de Águas. Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, ABRH: Maceió, AL, 20 p. [https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/81/6df5d4cff73414541afa0c298cf397a3\\_8c51f384edb59f3bb42397e888f7e7bb.pdf](https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/81/6df5d4cff73414541afa0c298cf397a3_8c51f384edb59f3bb42397e888f7e7bb.pdf)
- Silva, M.B.; Herreros, M.M.A.BG.; Borges, F.Q. (2017) Gestão integrada dos Recursos Hídricos como Política de Gerenciamento das Águas no Brasil. Revista de Administração da Universidade Federal de Santa Maria, 10(1), 101-115. <https://doi.org/10.5902/1983465913358>

- Taheripour, F.; Tyner, W.E.; Sajedinia, E.; Aguiar, A.; Chepeliev, M.; Corong, E.; de Lima, C.Z.; Haqiqi, I. (2020). *Water in the Balance: The Economic Impacts of Climate Change and Water Scarcity in the Middle East*. World Bank, Washington, DC. World Bank. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/34498>
- Veiga, L.B.E.; Magrini, A. (2013) The Brazilian Water Resources Management Policy: Fifteen Years of Success and Challenges. *Water Resour Manage*, 27, 2287–2302. <https://doi.org/10.1007/s11269-013-0288-1>
- Zagatto, P.A.; Lorenzetti, M.L.; Lamparelli, M.C.; Salvador, M.E.P.; Menegon-Jr, N.; Bertoletti E. (1999) Aperfeiçoamento de um índice de qualidade de águas. *Acta Limnol Bras* 11: 111-126
- Zhao, L.; Chen, L. (2022). Research on the Impact of Government Environmental Information Disclosure on Green Total Factor Productivity: Empirical Experience from Chinese Province. *Int J Environ Res Pub Health*, 19(2), 729. <https://doi.org/10.3390/ijerph19020729>

## **PARTE II – APLICAÇÃO DAS FERRAMENTAS - ESTUDOS DE CASO**

## CAPÍTULO 3

### AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA E CONDIÇÕES DE BALNEABILIDADE NO MÉDIO RIO ARAGUAIA

#### EVALUATION OF WATER QUALITY AND BATHING CONDITIONS IN THE MIDDLE ARAGUAIA RIVER

Capítulo publicado na revista “Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental Science” (Qualis B1 Ciências Ambientais).

Muniz, D. H. F., Santana, M. L. C., L. F., Oliveira-Filho, E. C. (2020). Avaliação da qualidade da água e condições de balneabilidade no médio Rio Araguaia. *Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental Science*, 9(2): 308-327. DOI <http://dx.doi.org/10.21664/2238-8869.2020v9i2>.

#### RESUMO

A utilização da água para fins de recreação vem aumentando nos últimos anos no Brasil estimulada pelo clima propício e pela abundância desse recurso no País. O Médio Rio Araguaia concentra um grande potencial turístico, principalmente no período de seca, devido à formação de praias, resultantes da diminuição da vazão da água ao longo do canal principal. O contato primário direto e prolongado com águas de má qualidade pode ser um risco à saúde dos usuários. O objetivo deste estudo foi avaliar a qualidade da água no médio rio Araguaia, região de Cocalinho-MT, para fins de balneabilidade, por meio da caracterização de variáveis microbiológicas, químicas e física e aplicação do Índice de Qualidade da Água (IQA-CETESB). As coletas ocorreram durante cinco dias consecutivos, no mês de julho de 2019, em 12 pontos de amostragem localizados próximos a praias com potencial para recreação de contato primário. Para cada amostra coletada, foram analisados os parâmetros: temperatura, oxigênio dissolvido, pH, turbidez, carbono orgânico total, nitrogênio total, fósforo total, resíduo total e *Escherichia coli*. Conforme classificação do IQA-CETESB, a qualidade da água das 12 praias amostradas foi considerada “boa”. De acordo com a Resolução do CONAMA n° 274/2000, as condições de balneabilidade em todas as amostras de água de todos os pontos coletados foram enquadradas como “próprias” e classificadas como “excelente”.

**Palavras-Chave:** IQA; recreação; água doce.

## ABSTRACT

The use of water for recreation purposes has been increasing in recent years in Brazil stimulated by the favorable climate and the abundance of this resource in the country. The middle Araguaia River concentrates a great tourist potential, mainly in the dry season, due to the formation of beaches, resulting from the decrease of water flow along the main channel. Direct and prolonged primary contact with poor quality water may be a health risk to users. The objective of this study was to evaluate the water quality in the middle Araguaia river, Cocalinho-MT region, for contact recreation purposes, by characterizing microbiological, chemical and physical variables and applying the Water Quality Index (WQI-CETESB). The collections occurred for five consecutive days, in July 2019, in 12 sampling points located near beaches with potential for primary contact recreation. For each sample collected, the following parameters were analyzed: temperature, dissolved oxygen, pH, turbidity, total organic carbon, total nitrogen, total phosphorus, total residue and *Escherichia coli*. According to the WQI-CETESB classification, the water quality of the 12 sampled beaches was considered “good”. According to CONAMA Resolution n. 274/2000, contact recreation conditions for all water samples from all points collected were classified as “suitable” and classified as “excellent”.

**Keywords:** WQI; recreation; freshwater.

## 1. Introdução

A água desempenha um papel essencial na economia e na manutenção da saúde da população. A utilização de recursos hídricos para recreação vem aumentando nos últimos anos no Brasil estimulada pela demanda por atividades fora do ambiente urbano, pelo clima favorável e pela abundância desses recursos no País (Lopes et al., 2014; Lopes et al., 2015; Lopes et al., 2016).

As águas recreacionais contêm geralmente uma mistura de microrganismos patogênicos e não patogênicos e de constituintes químicos que podem ser derivados de diversas atividades antrópicas. O contato primário direto e prolongado possibilita a ingestão, acidental ou não, de quantidades consideráveis de água. Doenças causadas pelo uso recreativo da água são reportadas em sua maioria como infecções gastrointestinais ou respiratórias (WHO, 2003; CETESB, 2004; Pond, 2005).

No Brasil, as condições de balneabilidade em águas doces, salobras e salinas são avaliadas (como própria ou imprópria) e classificadas (como excelente, muito boa ou satisfatória) a partir do monitoramento da concentração de bactérias indicadoras de contaminação fecal (coliformes

termotolerantes - *Escherichia coli* ou enterococos), como previsto na Resolução CONAMA n° 274/2000 (Brasil, 2001; Hirai e Porto, 2014).

Estudos epidemiológicos da *United States Environmental Protection Agency* (USEPA) afirmam que a *E. coli* (água doce) e os enterococos (água salgada) são os indicadores de contaminação fecal de águas recreacionais mais adequados (USEPA, 2012). Embora patógenos microbianos seja, usualmente, a principal preocupação dos usuários recreacionais, outras características da água também podem restringir a adequação ao uso para banho, incluindo alta turbidez da água, que diminui a qualidade estética e ainda condições altamente ácidas ou básicas, fora do intervalo de tolerância do olho humano (Lopes et al., 2016).

Alguns desses parâmetros relacionados à balneabilidade (*E. coli*, pH e turbidez, por exemplo) compõem o Índice de Qualidade da Água (IQA), uma ferramenta largamente empregada na gestão de recursos hídricos, devido à organização dos dados em um formato sintético e de fácil entendimento (Passos et al., 2018). Esse índice foi inicialmente formulado pela *National Sanitation Foundation* - NSF (EUA) a partir de uma escala comum e atribuição de pesos a variáveis de qualidade da água (Abbasi e Abbasi, 2012). No Brasil, esse índice foi adaptado em 1977 pela Companhia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo CETESB (Zagatto et al., 1999).

Lopes et al. (2016) desenvolveram um Índice de Condições de Balneabilidade (ICB) com a finalidade de melhorar a metodologia de avaliação da qualidade das águas destinadas à recreação no Brasil, sendo que as variáveis *Escherichia coli*, densidade de cianobactérias, turbidez e pH compõem o índice.

Apesar da crescente utilização das águas para recreação, existem poucos estudos e programas de monitoramento que avaliam as condições de balneabilidade, especialmente em corpos hídricos de água doce, entre eles o Rio Araguaia. Principal artéria fluvial que drena o Cerrado, o Araguaia atua na manutenção das mais importantes zonas úmidas do Brasil Central. Em função da alta diversidade de espécies e a natureza das áreas inundadas, sua faixa fluvial é caracterizada como área prioritária para conservação (Latrubresse e Stevaux, 2006; Latrubresse et al., 2009). É considerado um rio de múltiplos usos, podendo destacar como preponderantes: a irrigação, e dessedentação de animais, geração de energia, abastecimento humano, navegação e transporte, pesca e recreação (Brasil, 2018).

Importante pela sua biodiversidade e riqueza biológica, o Rio Araguaia possui uma intensa atividade balneária e turística, benéfica à população local, que conta com ganhos extras no período de temporada. Inicialmente, o turismo no Araguaia concentrava-se na pesca amadora. Na década de 1960 foram construídos os primeiros empreendimentos hoteleiros a fim de atrair turistas para a prática de pesca, contudo, a partir da década de 1980 iniciaram-se a prática de esportes náuticos, acampamentos e eventos organizados ao longo da orla do rio (IBAMA, 2006; Alves e Oliveira, 2016; Silva e Rocha, 2017).

Nas margens do médio Araguaia, os municípios de Luciara, Cocalinho e Araguaiana, no estado de Mato Grosso, apresentam potencial para pesca e recreação. O município de Cocalinho, em especial, recebe um significativo número de turistas durante a temporada de praia (Gomes, 2001; Moss e Moss, 2007). Essas praias são formadas no mês de julho (período de estiagem), devido à formação de ilhas e faixas de areia, resultantes da diminuição da vazão da água ao longo do canal principal (Braudes-Araújo et al., 2016).

Nessa região há uma predominância de atividades agropecuárias em médias e grandes propriedades e do turismo baseado principalmente na pesca predatória (Gomes, 2001; Silva e Rocha, 2017). Além disso, somente 1,9% do município possui sistema de esgotamento sanitário e não há tubulações de drenagem urbana, podendo acarretar lançamento de dejetos e consequente contaminação dos corpos hídricos adjacentes (IBGE, 2019; Lima et al., 2018).

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a qualidade da água, por meio da aplicação do IQA-CETESB, e as condições de balneabilidade conforme as diretrizes estabelecidas pela Resolução CONAMA n° 274 de 2000, no médio Rio Araguaia, região de Cocalinho-MT.

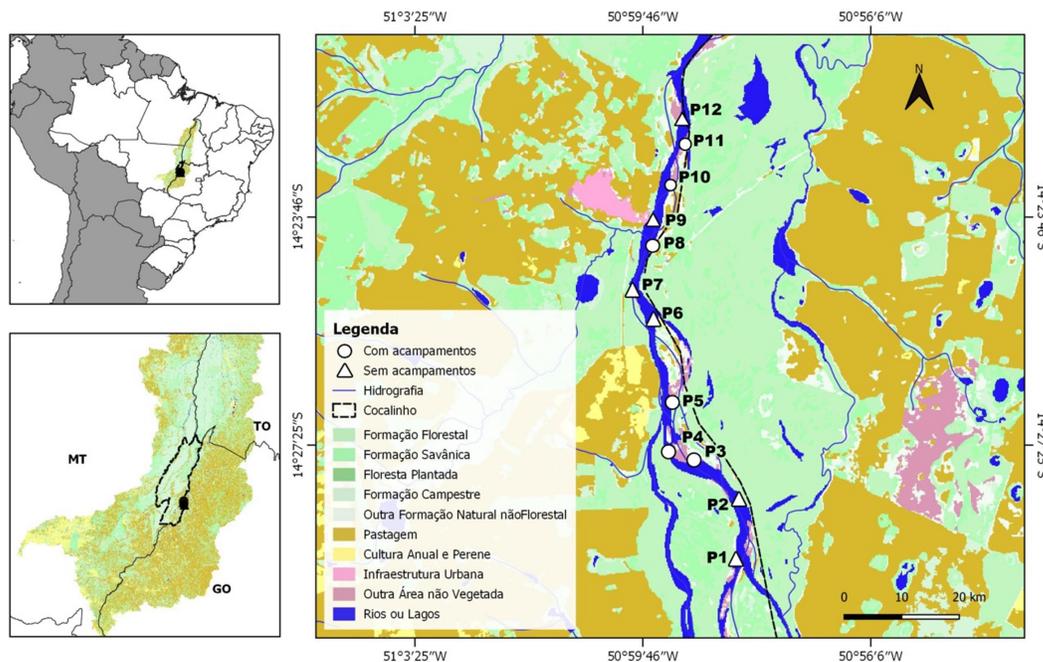
## **2. Materiais e Métodos**

### *2.1. Área de Estudo*

O Rio Araguaia é o principal tributário do Rio Tocantins, que constitui a bacia Tocantins-Araguaia, afluente da grande Bacia Amazônica. Divide-se em três segmentos: alto, médio e baixo Araguaia (Tejerina-Garro et al., 1998; Aquino et al., 2005). O médio Araguaia se estende por 1.100

km, atingindo uma área de drenagem superior a 300.000 km<sup>2</sup> em uma área plana formada por sedimentos de pleistoceno (planície do Bananal), caracterizado por uma planície aluvial do Holoceno bem desenvolvida (Latrubresse et al., 2009; Gomes e Fernandes, 2017).

Está inserido na zona climática tropical, com clima predominante Aw (tropical com inverno seco), com a estação chuvosa entre outubro e abril e uma estação seca de maio a setembro, com temperatura média anual de 22-26 °C. A precipitação anual varia de 1.300 a 2.000 mm em toda a bacia, com 95% da precipitação anual na estação chuvosa (Irion et al., 2016; Lininger e Latrubresse, 2016). Localizado no bioma Cerrado, apresenta grande diversidade de vegetação associada a ecossistemas aquáticos em boas condições de preservação (Borges et al., 2014).



**Figura 1.** Localização dos pontos de amostragem.

O município de Cocalinho, estado do Mato Grosso, localiza-se à margem esquerda do médio Rio Araguaia e possui uma população total estimada de 5.700 habitantes (IBGE, 2019). Os principais usos da terra são destinados à pecuária e agricultura, e em seguida formação natural (Lima et al., 2018). Neste trecho o Rio Araguaia é classificado como Classe 02, conforme a Resolução CONAMA n° 357/2005, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água (Brasil, 2005; ANA, 2018). Foram

selecionados 12 pontos de amostragem denominados P1 a P12 (Figura 1) próximos a praias com potencial para recreação de contato primário, no médio Araguaia, nas proximidades da cidade de Cocalinho-MT.

## 2.2. Amostragem e Métodos de Análises

As coletas ocorreram com frequência diária, durante 05 dias consecutivos, no período seco e de alta temporada turística (entre 07/07/19 e 11/07/19), totalizando 60 amostragens. Foram avaliados aspectos relacionados à qualidade microbiológica, física e química da água para fins de balneabilidade e aplicação do IQA (oxigênio dissolvido, *Escherichia coli*, pH, carbono orgânico total, temperatura, nitrogênio total, fósforo total, turbidez e resíduo total).

Foram coletadas amostras de água superficial mergulhando-se manualmente frascos de polietileno de 300 mL, cerca de 10 a 15 cm de profundidade. Para determinação de *Escherichia coli*, as amostras foram coletadas em recipientes estéreis apropriados. Após as coletas todos os frascos foram acondicionados em caixa térmica, sob refrigeração e ao abrigo da luz. As variáveis temperatura (TEMP), oxigênio dissolvido (OD) e pH foram determinadas *in situ*, utilizando-se medidor multiparâmetros portátil modelo HQ40d (Hach, EUA). A turbidez (TURB) foi determinada com auxílio de turbidímetro portátil modelo 2100P (Hach, EUA).

Carbono orgânico total (COT) foi realizado em substituição à análise de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), devido principalmente ao tempo requerido para análise. Amostras destinadas às análises de nitrogênio total (NT), fósforo total (PT), carbono orgânico total (COT) e resíduo total (RT) foram devidamente preservadas em ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1+1) e congeladas até o momento das análises no Laboratório de Química Analítica da Água da Embrapa Cerrados, Planaltina-DF.

*Escherichia coli* foi quantificada em campo no dia da amostragem pelo método do substrato enzimático *Colilert* (Idexx, EUA). Teores de NT e COT foram obtidos por combustão catalítica a alta temperatura, seguido de detecção por infravermelho não dispersivo (NDIR), utilizando um analisador de carbono total, modelo Vario TOC Cube (Elementar, EUA). Para análise de fósforo total foi

utilizado o método ácido ascórbico/colorimétrico com leitura em espectrofotômetro UV-Visível modelo UV1800, Shimadzu.

A temperatura foi expressa em °C, turbidez em UNT e *E. coli* em NMP/100 mL. Os outros parâmetros foram expressos em miligramas por litro (mg/L).

Os procedimentos de coleta, preservação e análises seguiram recomendações do Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos da CETESB/ANA e do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (SMEWW) (Brandão et al., 2011; APHA, 2012).

### 2.3. Índice de Qualidade da Água - IQA

Para avaliação da qualidade da água para fins de abastecimento foi aplicado o IQA-CETESB. O IQA-CETESB foi adaptado na década de 1970 da NSF que foi desenvolvido por Brown et al. (1970) e tem sido utilizado para avaliar a qualidade da água superficial de vários locais no mundo. Tem como objetivo avaliar a qualidade da água bruta visando seu uso para o abastecimento público após tratamento convencional e suas variáveis refletem, principalmente, a poluição causada pelo lançamento de esgotos domésticos (Brown et al., 1970; Abbasi e Abbasi, 2012).

O cálculo do índice baseia-se em uma fórmula matemática onde nove parâmetros são ponderados de acordo com seu peso e geram um índice entre 0 e 100, classificando o corpo hídrico em 05 classes de qualidade: “PÉSSIMA” (0-25), “RUIM” (26-50), “REGULAR” (51-70), “BOA” (71-90) E “ÓTIMA” (91-100). Os nove parâmetros que compõe o IQA e seus respectivos pesos são: oxigênio dissolvido (0,17); coliformes termotolerantes (0,15); pH (0,12); demanda bioquímica de oxigênio (0,10); temperatura (0,10); nitrogênio total (0,10); fósforo total (0,10); turbidez (0,08) e resíduo total (0,08) (Zagatto et al. 1999; ANA 2019; CETESB 2019).

### 2.4. Limites da Resolução CONAMA n° 274/2000

Ainda para avaliação das condições da água para fins de recreação, foi utilizada a resolução CONAMA n° 274/2000. Conforme prevê a resolução, a água será própria para recreação quando em

80% ou mais de um conjunto de amostras obtidas em cada uma das cinco semanas anteriores, amostradas no mesmo local, houver, no máximo: 200 *E. coli*/100 mL para categoria “EXCELENTE”; 400 *E. coli*/100 mL para categoria “MUITO BOA” e 800 *E. coli*/100 mL para categoria “SATISFATÓRIA”. As águas serão consideradas “IMPRÓPRIAS” quando no trecho avaliado apresentar valores acima de 800 *E. coli*/100 mL, pH abaixo de 6,0 ou acima de 9,0 (exceto condições naturais), presença de resíduos ou despejos, sólidos ou líquidos, capazes de oferecer riscos à saúde ou tornar desagradável a recreação e ainda presença de algas ou outros organismos, até que se comprove que não oferecem riscos à saúde.

Ainda de acordo com normativa, os resultados poderão abranger períodos menores que cinco semanas, desde que cada um desses períodos seja especificado e tenham sido coletadas e analisadas, pelo menos, cinco amostras durante o tempo mencionado, com intervalo mínimo de 24 horas entre as amostragens (Brasil, 2001).

### 3. Resultados e Discussão

A estatística descritiva (média, desvio padrão, máximo e mínimo) das variáveis físico-químicas mensuradas durante o período de amostragem nos 12 pontos está sumarizada na Tabela 1.

**Tabela 1.** Média, desvio padrão, valores máximo e mínimo dos parâmetros físico-químicos de qualidade da água analisados.

Ponto		TEMP °C	OD mg/L	pH	COT mg/L	NT mg/L	PT mg/L	TURB UNT	RT mg/L
P1	Média	24,5	8,54	6,39	0,577	0,387	0,005	13,0	26,4
	DP	1,7	0,05	0,15	0,040	0,109	0,001	2,3	6,7
	Máx	26,4	8,61	6,56	0,633	0,552	0,007	16,9	38,0
	Mín	21,2	8,48	6,19	0,521	0,248	0,003	10,5	18,0
P2	Média	24,4	8,56	6,48	0,475	0,409	0,011	19,2	38,4
	DP	1,3	0,16	0,07	0,094	0,155	0,009	8,0	14,4
	Máx	25,4	8,73	6,60	0,534	0,654	0,025	29,8	52,0
	Mín	22,2	8,37	6,43	0,309	0,235	0,003	11,1	20,0
P3	Média	24,0	8,38	6,42	0,555	0,518	0,005	17,4	40,0
	DP	0,8	0,11	0,05	0,049	0,176	0,002	6,4	11,0
	Máx	24,7	8,50	6,49	0,612	0,672	0,009	26,9	52,0
	Mín	22,7	8,20	6,37	0,500	0,294	0,003	12,0	24,0
P4	Média	24,0	8,42	6,52	0,558	0,425	0,006	19,9	54,0
	DP	0,7	0,15	0,07	0,035	0,174	0,002	8,0	24,3
	Máx	24,7	8,56	6,57	0,582	0,612	0,008	31,1	94,0
	Mín	22,8	8,19	6,40	0,497	0,203	0,004	12,9	28,0
P5	Média	24,1	8,50	6,68	0,517	0,410	0,007	21,4	49,2
	DP	0,8	0,09	0,08	0,085	0,222	0,002	9,8	14,6
	Máx	24,8	8,60	6,79	0,601	0,774	0,009	38,3	64,0
	Mín	22,8	8,36	6,60	0,393	0,191	0,005	13,3	30,0
P6	Média	24,2	8,42	6,67	0,547	0,440	0,007	20,8	58,4
	DP	0,8	0,11	0,08	0,065	0,180	0,003	10,4	7,0

	Máx	24,9	8,50	6,75	0,639	0,627	0,012	39,1	66,0
	Mín	22,9	8,24	6,55	0,484	0,181	0,004	14,0	52,0
P7	Média	24,4	8,55	6,82	0,571	0,427	0,007	15,8	24,8
	DP	0,6	0,10	0,10	0,044	0,218	0,002	3,5	16,3
	Máx	25,0	8,66	6,97	0,641	0,761	0,009	21,2	38,0
	Mín	23,5	8,40	6,72	0,536	0,232	0,004	11,5	6,0
P8	Média	24,3	8,54	6,73	0,545	0,378	0,007	20,1	32,4
	DP	0,6	0,09	0,08	0,032	0,162	0,002	7,1	12,6
	Máx	24,9	8,64	6,84	0,583	0,552	0,010	29,6	46,0
	Mín	23,3	8,39	6,62	0,514	0,201	0,005	14,0	20,0
P9	Média	24,2	8,45	6,74	0,573	0,363	0,007	25,9	53,2
	DP	0,5	0,11	0,07	0,029	0,114	0,002	8,6	16,4
	Máx	24,6	8,57	6,85	0,602	0,453	0,009	36,2	74,0
	Mín	23,3	8,29	6,68	0,529	0,221	0,005	17,5	40,0
P10	Média	24,6	8,61	6,82	0,568	0,373	0,006	25,9	40,4
	DP	0,6	0,09	0,07	0,049	0,075	0,002	7,7	12,8
	Máx	25,3	8,73	6,94	0,617	0,490	0,008	33,7	54,0
	Mín	23,7	8,49	6,76	0,508	0,292	0,003	13,0	24,0
P11	Média	24,6	8,64	6,86	0,600	0,350	0,006	18,7	42,8
	DP	0,5	0,10	0,05	0,044	0,065	0,003	10,0	16,4
	Máx	25,1	8,73	6,93	0,673	0,425	0,009	35,6	66,0
	Mín	23,9	8,48	6,81	0,559	0,293	0,002	10,7	26,0
P12	Média	24,2	8,44	6,85	0,559	0,330	0,008	23,0	42,4
	DP	0,5	0,10	0,10	0,059	0,052	0,004	7,1	17,2
	Máx	24,8	8,57	7,02	0,642	0,377	0,012	34,8	62,0
	Mín	23,6	8,30	6,76	0,488	0,259	0,003	16,1	28,0

DP = Desvio padrão / Máx = Máximo / Mín = Mínimo / TEMP = Temperatura da água / OD = Oxigênio dissolvido / COT = Carbono orgânico total / NT = Nitrogênio total / PT = Fósforo total / TURB = Turbidez / RT = Resíduo total / n = 5.

A variável TEMP apresentou uma média de 24,3 °C para todos os pontos no trecho analisado, com a mínima de 21,0 °C e máxima de 26,4 °C, ambos no P1. As amostras foram coletadas no mês de julho, período onde ocorrem temperaturas atmosféricas mais baixas na região, exercendo assim influência direta sobre a temperatura do rio. Parâmetro importante nos estudos de qualidade da água relativa à sensibilidade dos organismos vivos, qualquer mudança na temperatura é sensível aos impactos diretos e indiretos das atividades humanas (Fantin-Cruz et al., 2010; Irion et al., 2016).

Oxigênio dissolvido apresentou uma média de 8,50 mg/L (mínima de 8,19 no P4 e máxima de 8,73 mg/L no P10). O OD é um fator limitante para manutenção da vida aquática. De acordo com a CONAMA n° 357/2005, o valor mínimo de OD para a preservação da vida aquática (Classe 2) é de 5,0 mg/L. O Rio Araguaia, rico por sua diversidade de espécies aquáticas, possui em geral, águas bem oxigenadas (Brasil, 2005; Braudes-Araújo, et al. 2016; Camargo e Figueiredo, 2018).

O pH obteve média de 6,67 com um valor mínimo de 6,19 (P1) e 7,02 (P12). Para o período de estudo o pH esteve dentro da faixa recomendada pelas resoluções CONAMA n° 357/05 e 274/00 (6,0 a 9,0). Moss e Moss (2007) avaliaram a qualidade da água do rio Araguaia em pontos do rio à montante

e jusante da cidade de Cocalinho - MT. As amostras apresentaram pH na faixa de 6,30 a 6,40. Faria et al. (2013) avaliaram a qualidade da água do médio rio Araguaia, em 03 pontos de amostragem. Os autores encontraram valores abaixo da faixa recomendada pelas resoluções CONAMA citadas.

Neste estudo a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) foi substituída pela análise de Carbono Orgânico Total (COT), como análise alternativa de operação mais simples, rápida, limpa e com alta correlação (Dubber e Gray, 2010; Lee et al., 2016). O teor de matéria orgânica nos corpos hídricos é um importante indicador de poluição. O valor médio de COT nos pontos amostrados foi de 0,554 mg/L (máxima para P11 0,673 mg/L e mínima de 0,309 mg/L P2). Os valores máximos de DBO, estabelecidos para as águas doces de Classes 01 e 02, segundo a CONAMA n° 357/2005 são de 3,0 mg/L e 5,0 mg/L, respectivamente (Brasil, 2005).

Nitrogênio é encontrado em águas naturais principalmente na forma inorgânica (nitrato, nitrito e amônia). Alguns desses compostos podem ser tóxicos para os seres vivos em altas concentrações, principalmente peixes (Brandelero et al., 2010). O fósforo é um nutriente essencial para o crescimento dos organismos aquáticos, podendo ser o responsável pela limitação da produtividade de um corpo hídrico (Parron et al., 2011). Ambos estão associados ao processo de eutrofização das águas. No presente estudo, tanto NT (nitrogênio total) quanto PT (fósforo total), apresentaram teores abaixo do previsto na CONAMA n° 357/2005 para Classes 01 e 02 (0,1 mg/L para fósforo total e 10,0 mg/L nitrato). A média de NT foi de 0,401 mg/L e de PT foi de 0,007 mg/L.

Com relação à turbidez e resíduos totais os valores médios para todos os pontos foi de 20,1 UNT e 42,1 mg/L, respectivamente. O valor máximo permitido para turbidez é de 40,0 UNT para Classe 1 e 100,0 UNT para a Classe 02, conforme a CONAMA n° 357/05. Já para resíduos totais o valor máximo para as duas Classes é de 500 mg/L.

Tanto turbidez quanto resíduo total são características físicas da água. A turbidez é ocasionada por materiais em suspensão, como areia, silte, matéria orgânica, plâncton, entre outros microrganismos. Resíduo total, por sua vez, é a matéria que permanece após evaporação, secagem da amostra de água (APHA, 2012; Brasil, 2019). Estudos relacionados à hidrogeomorfologia no médio Araguaia tem demonstrado que o Araguaia tem sofrido importantes mudanças na dinâmica sedimentar devido ao incremento de carga de fundo arenosa nas últimas décadas (Bayer e Zancopé, 2014).

### 3.1. Índice de Qualidade da Água – IQA

Os índices de qualidade da água (IQA) visam dar um único valor à qualidade da água de uma fonte, com base em um ou outro sistema que traduz uma série de variáveis e suas concentrações presentes em uma amostra, em um único valor. Pode-se então comparar diferentes amostras para qualidade com base no valor do índice de cada amostra (Abbasi e Abbasi, 2012). Os IQAs podem ser utilizados para diversas finalidades entre elas: alocações de recursos financeiros na gestão dos recursos hídricos, aplicação de normas e legislações, análise de tendências (espaciais e temporais) e informação ao público. Para o cálculo do IQA-CETESB foram utilizados os resultados das variáveis mensuradas no estudo: temperatura, oxigênio dissolvido, pH, carbono orgânico total, nitrogênio total, fósforo total, turbidez, resíduo total e *Escherichia coli* (Tabela 02).

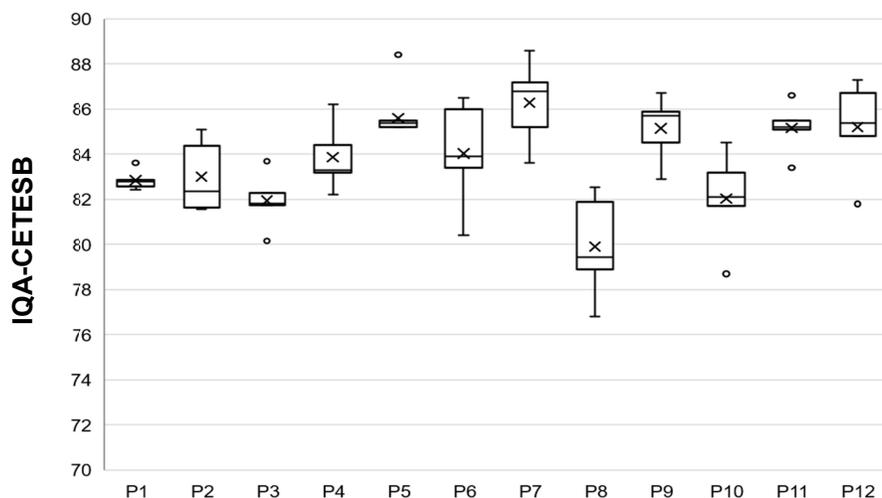
A Tabela 2 apresenta os resultados de IQA-CETESB, média e desvio padrão para os 12 pontos coletados durante os cinco dias de coleta.

**Tabela 2.** Resultados de IQA-CETESB dos 12 pontos de amostragem durante o período de estudo.

Coleta	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12
1 <sup>a</sup>	82,9	84,4	82,3	83,3	85,5	83,9	85,2	82,6	84,5	84,5	86,6	85,4
2 <sup>a</sup>	82,4	81,6	81,8	86,2	88,4	86,0	86,8	81,9	85,9	81,7	85,5	86,7
3 <sup>a</sup>	83,6	81,7	81,8	84,4	85,2	83,4	<b>88,6**</b>	79,4	85,7	82,1	85,2	87,3
4 <sup>a</sup>	82,6	82,4	80,2	83,2	83,5	80,4	83,6	78,9	86,7	78,7	85,1	84,8
5 <sup>a</sup>	82,8	85,1	83,7	82,2	85,4	86,5	87,2	<b>76,8*</b>	82,9	83,2	83,4	81,8
Média	82,9	83,0	81,9	83,9	85,6	84,0	86,3	79,9	85,1	82,0	85,0	85,7
DP	0,46	1,63	1,26	1,52	1,76	2,43	1,93	2,33	1,48	2,16	1,15	2,15

DP = Desvio padrão / \*\* IQA máximo encontrado / \*IQA mínimo encontrado

Como pode ser observado na Tabela 2, as amostras de água obtiveram IQA-CETESB variando de 76,8 (P8) a 88,6 (P7) sendo todas as amostras de todos os pontos classificadas como “BOA” (valor do IQA-CETESB entre 71 – 90). A Figura 2 apresenta o *boxplot* com os valores de IQA de todos os pontos amostrais.



**Figura 2.** *Boxplot* dos valores de IQA-CETESB em cada ponto de coleta.

Os valores de IQA-CETESB variaram entre os pontos mesmo dentro da mesma classe (Figura 2). O P8, ponto com alta heterogeneidade dos dados e o menor valor de IQA encontrado, esteve localizado em praia que, durante todo o período de estudo, permaneceu com a presença de acampamento. O mesmo ocorreu com o P10, que além da presença de turistas localizava-se à jusante da cidade de Cocalinho. Além disso, ambos obtiveram os maiores valores de *E. coli*, variável com segundo maior peso do IQA. Qualquer variação nesse parâmetro é responsável pela diminuição do valor do índice.

Os pontos P7 e P12 foram as praias com os maiores IQAs. Ambos estiveram localizados em praias sem a presença de turista ou instalação de acampamentos, e com uma maior área de vegetação nativa adjacente, como pode ser observado na Figura 1.

No contexto regional, há carência de dados de qualidade da água para a região estudada. Moss e Moss (2007) avaliaram a qualidade da água do rio Araguaia por meio de análises físico-químicas (temperatura, pH, OD, condutividade elétrica) e das concentrações de fósforo total, nitrogênio total, nitrogênio amoniacal e índice de estado trófico (IET). Foram realizadas coletas em pontos do rio à montante e jusante da cidade de Cocalinho - MT. As amostras apresentaram OD de 9,50 para os dois pontos e foram classificadas como mesotróficas (média de 0,042 mg/L de NT e 0,051 de PT).

Faria et al. (2013), avaliaram a qualidade da água do médio rio Araguaia, em 03 pontos de amostragem, nas proximidades da cidade turística de São Félix do Araguaia - MT. Foram realizadas análises físico-químicas como temperatura, OD, pH, amônia, ferro, manganês, nitrato, nitrito e sulfato. Os resultados foram comparados com a Resolução do CONAMA n° 357/2005 (Brasil 2005), sendo as amostras classificadas como Classe 02.

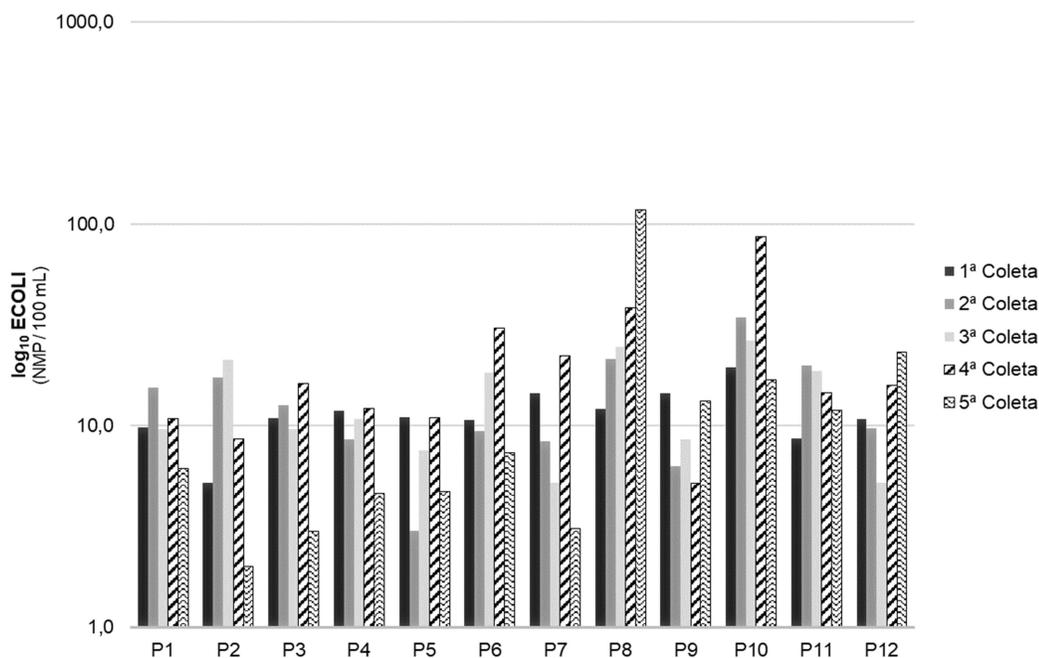
Um estudo sobre a qualidade da água de nascentes do alto rio Araguaia foi realizado por Barbosa et al. (2016). Os autores utilizaram o IQA para classificar as amostras de 11 pontos de coleta no início e no final da estação chuvosa. Os resultados dos IQAs variaram entre “ACEITÁVEL” e “RUIM” no início da estação chuvosa e entre “ACEITÁVEL” e “BOA” no final da estação. Segundo os autores a interferência antrópica juntamente com a sazonalidade possibilitou correlação das variáveis analisadas no estudo com a qualidade da água.

Em 2018, a Secretaria de Estado do Meio Ambiente do Mato Grosso (SEMA-MT) publicou o “Relatório de Monitoramento da Qualidade da Água do Estado de Mato Grosso 2015-2017” (Camargo e Figueiredo 2018). Foram analisados 03 pontos no rio Araguaia durante os anos de 2015, 2016 e 2017, nas proximidades das cidades de Alto Araguaia, Araguaiana e São Félix do Araguaia, por meio da análise de 28 parâmetros físicos, químicos, microbiológicos e do IQA.

Em geral, os resultados obtidos mostraram que o rio Araguaia tem águas oxigenadas e com baixas concentrações de nutrientes, reguladas principalmente pela sazonalidade do ciclo hidrológico. O IQA médio para o ponto Alto Araguaia foi “REGULAR” para todos os anos amostrados, já para o ponto Araguaiana o IQA médio foi “REGULAR” para os anos de 2015 e 2016 e “BOA” para ano de 2017. O ponto localizado próximo à cidade de São Félix do Araguaia obteve IQA médio classificado como “boa” para todos os anos.

### **3.2. Classificação conforme a CONAMA n° 274/2000**

A Figura 3 apresenta os resultados de *Escherichia coli* nas amostras do médio Rio Araguaia, encontrados para as 05 coletas consecutivas nos 12 pontos de amostragem.



**Figura 3.** Número mais provável de *Escherichia coli* por 100 mL de amostra.

Como pode ser visto na Figura 3, as concentrações de bactérias encontradas em todos os pontos estiveram abaixo dos valores indicados na Resolução n° 274/2000 do CONAMA, sendo as águas avaliadas como “PRÓPRIAS” e classificadas como “EXCELENTE” (80% ou mais do conjunto de amostras com concentrações  $\leq 200$  *E. coli*/100 mL).

As maiores concentrações foram encontradas na 5ª coleta do P8 (116,9 NMP/100 mL) e 4ª coleta do P10 (86,2 NMP/100 mL). Esses dois pontos foram localizados em praias com presença de acampamentos, em todo período analisado. Inversamente, os pontos P2 e P7 (pontos sem acampamentos) foram os que obtiveram as menores concentrações de *E. coli* (ambas na 5ª coleta), com concentrações de 2,0 e 3,1 NMP/100 mL respectivamente.

Os resultados obtidos nas coletas estiveram próximos aos resultados encontrados pela Secretaria do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável do estado de Goiás (SEMAD), que no mesmo período avaliou as condições de balneabilidade do médio Araguaia, nas proximidades das cidades de Aragarças e Aruanã (SEMAD, 2019).

A concentração de bactérias termotolerantes ao longo de corpos d'água depende essencialmente da variação sazonal, com concentrações mais altas nos meses de verão e menor concentração no inverno; das condições hidrológicas, com incremento nas estações chuvosas e de fatores antrópicos como lançamento de efluentes sanitários e sistemas sépticos (Rochelle-Newall et al., 2015; Stocker et al., 2016). As baixas concentrações de *E. coli* encontradas em todos os pontos amostrados (exceção para algumas amostragens no P8 e P10) podem ser explicadas pelo período em que as coletas foram realizadas: no inverno e no período de estiagem (mês de julho). Por outro lado, nesse período ocorre também um maior fluxo de turistas, ocasião em que são instalados os acampamentos com estruturas que incluem banheiros e fossas sanitárias (Silva e Rocha, 2017).

Com relação aos demais critérios mensurados no estudo, e que tornam a água imprópria para a recreação, como pH e turbidez, pôde-se observar que nenhuma das amostras das 12 praias amostradas foi considerada inadequada. O pH variou de 6,19 (P1) a 6,93 (P11) e turbidez com mínima de 10,5 UNT (P1) e máxima de 36,2 UNT (P9). Segundo a resolução CONAMA n° 274/2000 o pH de corpos hídricos de água doce, deve permanecer entre 6,0 e 9,0, excetuando-se condições naturais.

Valores de pH muito ácidos ou alcalinos afetam diretamente os usos recreativos da água, podendo contribuir para a problemas de saúde cutâneos e/ou oculares. O valor de pH ideal para recreação por contato primário, foi considerado como 7,4 (pH do líquido lacrimal), enquanto que um pH maior que 9 pode ocasionar erupções cutâneas e um pH menor que 6 acarreta irritação ocular (WHO, 2003; Lopes et al., 2016).

A presença de resíduos que comprometem a qualidade estética da água e a segurança dos usuários pode ser mensurada através da turbidez da água. A turbidez, uma propriedade física da água, é uma das variáveis previstas na Resolução CONAMA n° 357 de 2005, onde as Classes 01 e 02 são destinadas à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho. O valor máximo permitido é de 40,0 UNT para Classe 01 e 100,0 UNT para a Classe 02 (Parron et al., 2011; Brasil, 2005).

Outro parâmetro importante na avaliação da qualidade da água para recreação, previsto na CONAMA n° 274/2000 e no Índice de Condições de Balneabilidade (ICB) diz respeito à presença de florações de cianobactérias nocivas à saúde, responsáveis pela liberação de potentes toxinas. As

chamadas cianotoxinas podem afetar a saúde tanto pela ingestão de água contaminada, como por contato direto em atividades de recreação. Embora raras, hospitalizações e alguns casos de morte têm sido associados a atividades recreativas com exposição à cianobactérias (Bláha et al., 2009; Giannuzzi et al., 2011; Otten e Paerl, 2015; Silva et al., 2019).

Embora a presença de floração de cianobactérias potencialmente tóxicas seja mais comum em ambientes lênticos como lagos e reservatórios, há estudos, que demonstram a presença desses organismos em rios brasileiros (Sá et al., 2010; Ibelings et al., 2014; Jardim et al., 2014; Cardoso et al., 2017; Silva et al., 2019).

#### **4. Conclusões**

Foi possível observar por meio das análises físico-químicas e microbiológica que o Médio Rio Araguaia, trecho de Cocalinho-MT, apresenta alta oxigenação, pH ligeiramente ácido, baixas concentrações de coliformes termotolerantes, turbidez e baixos teores de carbono orgânico total, nitrogênio e fósforo total. Este estudo apresenta limitações uma vez que não foi realizada a quantificação de cianobactérias, variável importante na avaliação da qualidade da água para recreação.

Por meio da aplicação do IQA-CETESB constatou-se que as águas próximas às 12 praias amostradas foram enquadradas como “BOAS” (IQA entre 71 e 90). Apesar da escassez de estudos relativos à qualidade da água na região, foi possível comparar os resultados obtidos com estudos realizados em outras regiões no Médio Araguaia.

Apesar do IQA-CETESB abranger variáveis físico-químicas e microbiológica (*E. coli*) essenciais nos estudos de qualidade da água, cabe ressaltar a necessidade de ampliação dos parâmetros utilizados no monitoramento da qualidade da água em regiões com alto fluxo de turistas, como é o caso do Médio Araguaia. O monitoramento deve abranger variáveis importantes relativas à avaliação das condições de balneabilidade como a densidade de cianobactérias.

De acordo com a legislação brasileira relativa à balneabilidade, todas as amostras de água dos 12 pontos coletados foram enquadradas como “PRÓPRIA” e classificadas como “EXCELENTE”, por

apresentarem 80% ou mais do conjunto total de amostras, concentrações de *Escherichia coli* menores que 200 NMP/100 mL de água, pH entre 6,0 e 9,0 e turbidez abaixo de 100 UNT.

O Rio Araguaia é culturalmente e economicamente essencial para as cidades constituídas nas suas proximidades, além de ser ambientalmente importante para o Brasil Central. O turismo, em especial, tem se destacado como atividade econômica fundamental para o desenvolvimento sustentável da região.

Ainda que no presente trabalho os resultados demonstrem a boa qualidade da água do Rio Araguaia no trecho de Cocalinho-MT, deve-se atentar à preocupação com a mitigação de conflitos gerados pelos usos múltiplos da água, como preservação dos ecossistemas aquáticos, navegação, irrigação e atividades recreativas, afim de assegurar a utilização sustentável do recurso hídrico.

## 5. Referências

- Abbasi, T.; Abbasi, S.A. (2012). *Water quality indices*. Elsevier, UK, 384 pp.
- Alves, C.E.S.; Oliveira, M.F. (2016). Meu Araguaia, muitos rios no processo de apropriação do espaço. <https://www.anais.ueg.br/index.php/sepe/article/view/7517/5003.pdf>
- APHA – AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. (2012). *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 22 ed. Washington, DC.
- Aquino, S.; Stevaux, J.C.; Latrubresse, E.M. (2005). Regime hidrológico e aspectos do comportamento morfohidráulico do rio Araguaia. *Rev Bras Geomorf* 6(2): 29-41. <https://doi.org/10.20502/rbg.v6i2.49>
- Barbosa, P.M.; Campos, A.B.; Cherem, L.F.S.; Mendonça-Neto, W.L. (2016). Avaliação da qualidade das águas superficiais em áreas de cerrado: exemplo da região das nascentes do Rio Araguaia, GO. *Pluris*, 12 p.
- Bayer, M.; Zancopé, M.H.C. (2014). Ambientes sedimentares da planície aluvial do Rio Araguaia. *Rev Bras Geomorf* 15(2): 203-220. <https://doi.org/10.20502/rbg.v15i2.414>
- Bláha, L.; Babica, P.; Maršálek, B. (2009). Toxins produced in cyanobacterial water blooms - toxicity and risks. *Interdiscip Toxicol* 2(2): 36-41. <https://doi.org/10.2478/v10102-009-0006-2>
- Borges, H.B.N.; Silveira, E.A.; Vendramin, L.N. (2014). *Flora Arbórea de Mato Grosso -Tipologias Vegetais e Suas Espécies*, Entrelinhas, Cuiabá, 255 pp.
- Brandão, C.J. (2011). *Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos*. São Paulo: CETESB, 325 p. <https://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/2021/10/Guia-nacional-de-coleta-e-preservacao-de-amostras-2012.pdf>

- Brandelero, S.M.; Siqueira, E.Q.; Santiago, M.F. (2010). A cinética do nitrogênio em água superficial de ambiente lótico. *Rev Amb & Água* 5(3): 147-156. [https://doi.org/ 10.4136/ambi-agua.159](https://doi.org/10.4136/ambi-agua.159)
- Brasil (2001). Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 274, de 29 de novembro de 2000. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*. Brasília, DF, n. 18, 25 jan. 2001. Seção 1, p. 70-71.
- Brasil (2005). Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>
- Brasil (2018). Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2018: informe anual. ANA: Brasília-DF. [https:// http://arquivos.ana.gov.br/portal/publicacao/Conjuntura2018.pdf](https://arquivos.ana.gov.br/portal/publicacao/Conjuntura2018.pdf)
- Brasil (2019). Portal da Qualidade das Águas. ANA: Brasília-DF. <http://portalpnqa.ana.gov.br/default.aspx>.
- Braudes-Araújo, N.; Carvalho, R.A.; Tejerina-Garro, F.L. (2016). Pesca amadora e turismo no médio Rio Araguaia, Brasil Central. *Front J Soc Technol* 5(3): 136-150. <https://doi.org/10.21664/2238-8869.2016v5i3.p136-150>
- Brown, R. M., McClelland, N. I., Deininger, R. A., & Tozer, R. G. (1970). A water quality index - do we dare? *Water & Sewage Works*, 117, 339–343.
- Camargo, J.C.; Figueiredo, S.B. (2018). Relatório de Monitoramento da Qualidade da Água do Estado de Mato Grosso – 2015-2017. Cuiabá: SEMA-MT, SURH. 197 p.
- Cardoso, A.S.; Marwell, D.T.B.; Sobral, M.C.M.; Melo, G.L.; Casé, M.C.C. (2017). Análise da presença do fitoplâncton em bacia integrante do Projeto de Integração do Rio São Francisco, região semiárida, Nordeste brasileiro. *Eng Sanit Ambient* 22(2): 261-269. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522016146707>
- CETESB - COMPANHIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. (2004). Relatório de qualidade das águas litorâneas no Estado de São Paulo: balneabilidade das praias. São Paulo: CETESB, 183 p.
- CETESB - COMPANHIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. (2019). IQA Índice de qualidade das águas. [http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/%C3%81guasSuperficiais/42-%C3%8Dndice-de-qualida-de-%C3%81guas-\(iqa\)](http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/%C3%81guasSuperficiais/42-%C3%8Dndice-de-qualida-de-%C3%81guas-(iqa)).
- Dubber, D.; Gray, N.F. (2010). Replacement of chemical oxygen demand (COD) with total organic carbon (TOC) for monitoring wastewater treatment performance to minimize disposal of toxic analytical waste. *J Environ Sci Health A Tox Hazard Subst Environ Eng* 45(12): 1595-1600. <https://doi.org/10.1080/10934529.2010.506116>
- Fantin-Cruz, I.; Tondato, K.K.; Marques, D.M.; Pedrollo, O. (2010). Regime térmico em águas correntes e sua importância na estrutura dos organismos aquáticos. *Cam Geo* 11(36): 295-307.
- Faria, R.B.; Rodrigues, K.J.; Vasconcelos, M.G.M.; Araújo, C.S.R.; Silva, P.N.S.; Pimenta, V.M.S.D. (2013). Avaliação físico-química das águas do Rio Araguaia em São Félix do Araguaia – MT. In: 65ª Reunião Anual da SBPC. Recife: UFPE.

- Giannuzzi, L.; Sedan, D.; Echenique, R.; Andrinolo, D. (2011). An acute case of intoxication with cyanobacteria and cyanotoxins in recreational water in Salto Grande Dam, Argentina. *Mar Drugs* 9(11): 2154-2175. <https://doi.org/doi:10.3390/md9112164>
- Gomes, M.C.V. (2001). Zoneamento sócio-econômico-ecológico: diagnóstico sócio-econômico-ecológico do estado de Mato Grosso e assistência técnica na formulação da 2ª aproximação. Áreas de turismo existentes e potencial para exploração. SEPLAN/BIRD. Cuiabá, 391 p.
- Gomes, R.R.K.A.; Fernandes, L.L. (2017). Hydrological characterization of the Araguaia River through reference flows. *App Water Sci* 7: 4605-4614. <https://doi.org/10.1007/s13201-017-0622-5>
- Hirai, F.M.; Porto, M.F.A. (2014). Metodologias de previsão de balneabilidade e sua aplicação na gestão da qualidade da água destinada à recreação. *Rev Bras Recur Híd* 19: 339-345.
- IBAMA – INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. (2006). Relatório do projeto parcerias de ordenamento do turismo e ecoturismo no rio Araguaia. Goiânia-GO. 67p.
- Ibelings, B.W.; Backer, L.; Kardinaal, W.E.; Chorus I. (2014). Current approaches to cyanotoxin risk assessment and risk management around the globe. *Harmful Algae* 40(1): 63-74. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2014.10.002>.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. (2019). População estimada do Município de Cocalinho-MT.: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mt/cocalinho/panorama>.
- Irion, G.; Nunes, G.M.; Cunha, C.N.; Arruda, E.C.; Tsmbelini, M.S.; Dias, A.P.; Morais, J.O.; Junk, W.J. (2016). Araguaia River floodplain: size, age, and mineral composition of a large tropical savanna wetland. *Wetlands* 36(5): 945-956. <https://doi.org/10.1007/s13157-016-0807-y>
- Jardim, F.A.; Von Sperling, E.; Jardim, B.F.M.; Almeida, K.C.B. (2014). Fatores determinantes das florações de cianobactérias na água do Rio Doce, Minas Gerais, Brasil. *Eng Sanit Ambient* 19(3): 207-218. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522014019000001026>
- Latrubesse, E.M.; Stevaux, J.C. (2006). Características físico-bióticas e problemas ambientais associados à planície aluvial do Rio Araguaia, Brasil Central. *Geociências* 5(1): 67-75.
- Latrubesse, E.M.; Amsler, M.; Morais, R.P.; Aquino S. (2009). The Geomorphologic response of a large pristine alluvial river to tremendous deforestation in the South American tropics: the case of the Araguaia River. *Geomorphology* 113: 239-252. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2009.03.014>
- Lima, E.B.N.R.; Modesto-Filho, P.; Moura, R.M.P. (2018). Plano Municipal de Saneamento Básico: Cocalinho-MT. [http://pmsb106.ic.ufmt.br/wp-content/uploads/PMSB\\_Cocalinho.pdf](http://pmsb106.ic.ufmt.br/wp-content/uploads/PMSB_Cocalinho.pdf).
- Linger, K.B.; Latrubesse, E.M. (2016). Flooding hydrology and peak discharge attenuation along the middle Araguaia River in central Brazil. *Catena* 143: 90-101. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.03.043>
- Lopes, F.W.A.; Magalhães-Jr, A.P.; Von-Sperling, E. (2014). Metodologia para avaliação de condições de balneabilidade em águas doces no Brasil. *Rev Bras Recur Híd* 19: 124-136. <https://doi.org/10.21168/rbrh.v19n4.p124-136>

- Lopes, F.W.A.; Von-Sperling, E.; Magalhães-Jr, A.P. (2015). Indicadores para balneabilidade em águas doces no Brasil. *Geografias* 11(1): 6-22. <https://doi.org/10.35699/2237-549X..13390>
- Lopes, F.W.A.; Davis-Colley, R.J.; Von Sperling, E.; Magalhães-Jr, A.P. (2016). A water quality index for recreation in Brazilian freshwaters. *J Water Health* 14(2): 243-254. <https://doi.org/10.2166/wh.2015.117>.
- Moss, G.; Moss, M. (2007). Relatório Projeto Brasil Das Águas: Sete Rios. Araguaia. Brasília, DF. 107 p. [http://brasildasaguas.com.br/wp-content/uploads/sites/4/2013/05/Rio-Araguaia\\_Relatorio.pdf](http://brasildasaguas.com.br/wp-content/uploads/sites/4/2013/05/Rio-Araguaia_Relatorio.pdf)
- Otten, T.G.; Paerl, H.W. (2015). Health effects of toxic cyanobacteria in US drinking and recreational waters: our current understanding and proposed direction. *Curr Environ Health Rep* 2(1): 75-84. <https://doi.org/10.1007/s40572-014-0041-9>
- Parron, L.M.; Muniz, D.H.F.; Pereira, C.M. (2011). Manual de procedimentos de amostragem e análise físico-química de água - EMBRAPA Floresta. <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/921050/1/Doc232ultimaversao.pdf>.
- Passos, A.L.L.; Muniz, D.H.F.; Oliveira-Filho, E.C. (2018). Critérios para avaliação da qualidade de água no Brasil: um questionamento sobre os parâmetros utilizados. *Front J Soc Technol* 7(2): 290-303. <https://doi.org/10.21664/2238-8869.2018v7i2.p290-303>
- Pond, K. (2005). Water recreation and disease: plausibility of associated infections: acute effects, sequelae and mortality. IWA/WHO, London. 260 p. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/43338>
- Rochelle-Newall, E.; Nguyen, T.M.; Le, T.P.Q.; Sengtaheuanghoung, O.; Ribolzi, O. (2015). A shortreview of fecal indicator bacteria in tropical aquatic ecosystems: knowledge gaps and future directions. *Front Microbiol* 6: 15 p. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2015.00308>
- Sá, L.L.C.; Vieira, J.M.S.; Mendes, R.A.; Pinheiro, S.C.C.; Vale, E.R. (2010). Ocorrência de uma floração de cianobactérias tóxicas na margem direita do rio Tapajós, no Município de Santarém (Pará, Brasil). *Rev Pan-Amaz Saude* 1(1): 159-166. <http://dx.doi.org/10.5123/S2176-62232010000100022>
- SEMAD - SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. (2019). Qualidade da água do Rio Araguaia é considerada excelente. <http://www.goias.gov.br/noticias/65913-qualidade-da-%C3%A1gua-do-rio-araguaia-%C3%A9-considerada-excelente.html>
- Silva EBB, Rocha LM. (2017). É chegada a temporada de praias: com a palavra o rio Araguaia. In: Anais do VIII Simpósio Nacional de Ciência e Meio Ambiente – SNCMA. Anápolis: UniEvangélica: 8(1), 23p.
- Silva, S.C.F.; Peleja, J.R.P; Melo, S. (2019). Flutuação temporal de cianotoxinas (Microcistina-LR) no Rio Tapajós (Santarém, Amazônia-Brasil). *Scientia Plena* 15(8): 13 p. <https://doi.org/10.14808/sci.plena.2019.082402>
- Stocker, M.D.; Rodriguez-Valentín, J.G.; Pachepsky, Y.A.; Shelton, D.R. (2016). Spatial and temporal variation of fecal indicator organisms in two creeks in Beltsville, Maryland. *Water Qual Res J Can* 51(2): 167-179. <https://doi.org/10.2166/wqrjc.2016.044>

Tejerina-Garro, F.L.; Fortin, R.; Rodrigues, M.A. (1998). Fish community structure in relation to environmental variation in floodplain lakes of the Araguaia River, Amazon Basin. *Environ Biol Fishes* 51: 399-410. <https://doi.org/10.1023/A:1007401714671>

USEPA – UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. (2012). Recreational Water Quality Criteria. <http://water.epa.gov/scitech/swguidance/standards/criteria/health/recreation/upload/RWQC2012.pdf>.

WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION. (2003). Guidelines for safe recreational water environments: volume 1 coastal and fresh waters. World Health Organization. <http://www.who.int/publications/2003/9241545801.pdf>. 253 p.

Zagatto, P.A.; Lorenzetti, M.L.; Lamparelli, M.C.; Salvador, M.E.P.; Menegon-Jr, N.; Bertolotti E. (1999). Aperfeiçoamento de um índice de qualidade de águas. *Acta Limnol Bras* 11: 111-126.

## CAPÍTULO 4

### AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA SUPERFICIAL NO DISTRITO FEDERAL (BRASIL) ENTRE 2017 E 2019: APLICAÇÃO DE ANÁLISES ESTATÍSTICAS MULTIVARIADAS E ÍNDICES DE QUALIDADE DA ÁGUA

### SURFACE WATER QUALITY ASSESSMENT IN THE FEDERAL DISTRICT (BRAZIL) BETWEEN 2017 AND 2019: APPLICATION OF MULTIVARIATE STATISTICAL ANALYSIS AND WATER QUALITY INDICES

Capítulo submetido na revista “*Water Research*” (Qualis A1 em Ciências Ambientais).

**RESUMO:** O monitoramento e avaliação da qualidade da água em grandes centros urbanos tem se destacado como uma importante ferramenta na gestão dos recursos hídricos. O Distrito Federal (DF) do Brasil possui o menor território entre os estados brasileiros e abriga a terceira cidade mais populosa do País. O DF enfrentou uma grave crise hídrica nos últimos anos (2016-2018), o que acarretou aumento no padrão de consumo de água, mudanças de uso do solo e conflitos de uso da água. A partir daí, houve uma crescente necessidade na melhoria dos instrumentos de gestão, incluindo o monitoramento da qualidade da água. Neste estudo, utilizamos análise estatística multivariada como Análise de Agrupamento Hierárquica (AAH), Análise das Componentes Principais (ACP) e Análise Fatorial (AF); e Índices de Qualidade da Água (IQA) para abastecimento humano (IQA<sub>CETESB</sub>) e irrigação (IQAI<sub>DF</sub>) para avaliar a qualidade da água superficial de diferentes rios, sob diferentes usos e cobertura do solo (rural, urbano e natural) no DF. Para isso foram analisadas 29 variáveis de qualidade da água, em 18 pontos amostrais, entre os anos de 2017 e 2019. A AAH agrupou os pontos em 4 *clusters* estatisticamente significativos, levando em conta as características e tipos de fontes semelhantes entre os pontos amostrais. A ACP foi aplicada a cada matriz de dados, explicando 59,4% (rural), 66,9% (urbano) e 58,7% (natural) da variação total de dados nas duas primeiras componentes principais. Através da AF foi possível identificar as variáveis-chave para cada uma das matrizes por meio dos três primeiros fatores. O IQA<sub>CETESB</sub> (abastecimento humano) classificou 16 dos 18 pontos amostrais como “BOA”, demonstrando sua adequação para o consumo humano após tratamento simplificado. Já o IQAI<sub>DF</sub> (irrigação) classificou 10 pontos como “BOA” e oito pontos como “REGULAR”, demonstrando a restrição dos pontos considerados “REGULAR” para irrigação de vegetais crus e frutas que crescem no chão e são consumidas cruas ou sem remoção da casca. O presente trabalho demonstra que as ferramentas aplicadas na avaliação da qualidade da água dos rios foram consideradas promissoras, com grande potencial na aplicação de programas de monitoramento da qualidade da água superficial no DF.

**Palavras-chave:** água superficial, rios, análise estatística multivariada, IQA.

**ABSTRACT:** The monitoring and evaluation of water quality in large urban centers has been highlighted as an important tool in the water resources management. The Federal District (FD) of Brazil has the smallest territory among Brazilian states and is home to the third most populous city in the country. The FD faced a serious water crisis in recent years (2016-2018), which led to an increase in the pattern of water consumption, land use changes and water use conflicts. Since then, there has been a growing need to improve management tools, including water quality monitoring. In this study, we used multivariate statistical analysis such as Hierarchical Cluster Analysis (HCA), Principal Component Analysis (PCA) and Factor Analysis (FA); and Water Quality Indexes (WQI) for human supply ( $WQI_{CETESB}$ ) and irrigation ( $IWQI_{FD}$ ) to assess the surface water quality of different rivers, under different land uses and occupation (rural, urban and natural) in the DF. For this, 29 water quality variables were analyzed at 18 sample points between 2017 and 2019. The HCA grouped the points into 4 statistically significant clusters, taking into account the characteristics and types of similar sources. PCA was applied to each data matrix, explaining 59.4% (rural), 66.9% (urban) and 58.7% (natural) of the total data variation in the first two principal components. Through the FA, it was possible to identify the key variables for each data matrix through the first three factors. The  $WQI_{CETESB}$  (human supply) classified 16 of the 18 sample points as “good”, demonstrating its suitability for human consumption after simplified treatment. The  $WQI_{FD}$  (irrigation) classified 10 points as “good” and eight points as “average”, demonstrating the restriction of points considered “average” for irrigation of plants with low tolerance to salinity and for raw vegetables and fruits that grow on the ground and are eaten raw without removing the skin. The present study demonstrates that the tools applied in the evaluation of the water quality of the rivers were considered promising, with great potential in the application of programs for monitoring the quality of surface water in the FD.

**Keywords:** superficial water, rivers, multivariate analysis, WQI.

## 1. Introdução

O acesso universal à água em quantidade e qualidade desejáveis é um dos grandes desafios para as sociedades no século 21 (Connor et al., 2021). Recurso limitado e dotado de valor socioeconômico e ambiental, a água tem recebido cada vez mais atenção na agenda de sustentabilidade global, como consequência da pressão cada vez maior de fatores como mudanças climáticas, modelos de desenvolvimento econômico e crescimento populacional acelerado (Mehmood, 2019). Estima-se que cerca de dois terços da população global, quase 4 bilhões de pessoas, vivenciam a escassez de água durante pelo menos um mês do ano (Mekonnen e Hoekstra, 2016).

Em todo o mundo, grandes metrópoles têm enfrentado graves crises hídricas na última década. Em 2050 o número de grandes cidades que serão expostas à escassez de água está projetado para aumentar de 193 para 284, incluindo 10 a 20 megacidades, entre elas cidades do Brasil (He et al., 2021). País com dimensões continentais e abundância de recursos hídricos, onde cerca de 20% de toda a água continental global que flui para os oceanos é gerada em território brasileiro e aproximadamente 85% das necessidades de água doce do País são supridas por águas superficiais, como rios e lagos (Getirana et al., 2021).

Os problemas relacionados à água no Brasil decorrem de fragilidades contrastantes, onde regiões apresentam contextos climáticos e socioambientais bastante diversos (Gesualdo et al., 2021). Enquanto algumas regiões convivem historicamente com as secas, como a região Nordeste, outras possuem demanda que ultrapassa a capacidade dos sistemas hídricos devido a pressões de ordem populacional, como a região Sudeste, ou pela sazonalidade bem marcada, com longos períodos de estiagem, no caso da região Centro-Oeste (Cunha et al., 2019; Pereira et al., 2020).

O Distrito Federal (DF) localizado na região Centro-Oeste do Brasil, possui o menor território entre os estados brasileiros e está inserido no Bioma Cerrado (savana brasileira), abrigando grande quantidade de nascentes devido à sua importante característica natural de divisor de águas. É, portanto, a terceira Unidade da Federação com menor disponibilidade hídrica superficial *per capita* por ano (Lima e Silva, 2020). Somado a isso, o DF abriga a terceira cidade mais populosa do País com aproximadamente três milhões de habitantes. A região metropolitana da cidade de Brasília, capital federal do Brasil, apresentou o crescimento mais rápido de todas as grandes cidades brasileiras, com aumento de 16,9% da população nos últimos onze anos (Strauch et al., 2013; IBGE 2021). O DF possui ainda uma crescente atividade agrícola, importante para a economia local, sendo a agricultura irrigada o setor que apresentou o maior aumento na demanda de consumo de água na região nos últimos anos (Muniz et al., 2020).

Entre os anos de 2016 e 2018, o DF enfrentou uma grave crise hídrica, devido a precipitações irregulares em anos subsequentes e crescimento populacional acelerado que culminou no aumento dos padrões de consumo de água (com maiores demandas para abastecimento público e irrigação), mudanças de uso do solo, conflitos de uso da água, entre outros fatores. Essa experiência revelou as

preocupações acerca das fragilidades no sistema de Gestão Integrada dos Recursos Hídricos (GIRH) do DF que inclui a melhoria nos instrumentos de gestão, gestão estratégica, planejamento e ampliação do conhecimento, incluindo o monitoramento hidrológico e de qualidade da água (Lima et al., 2018; ADASA, 2012).

Importante pilar da GIRH, o monitoramento da qualidade da água é uma ferramenta que vem alcançando relevância ao longo dos últimos anos. Tão importante quanto a quantidade, monitorar a qualidade da água fornece evidências empíricas para apoiar a decisão sobre questões sociais, econômicas, de saúde e ambientais. Avaliações baseadas em dados de monitoramento ajudam legisladores e gestores de recursos hídricos a medir a eficácia das políticas de água (Damania et al., 2019; Myers, 2022).

A gestão da qualidade da água requer a coleta e análise de grandes conjuntos de dados que podem ser de difícil sintetização e avaliação. Com isso, uma série de ferramentas tem sido desenvolvida com o intuito de avaliar os dados de qualidade dos recursos hídricos (Uddin et al., 2021). Importante instrumento na avaliação da qualidade da água, a Análise Estatística Multivariada (AEM) tem sido cada vez mais empregada em muitas áreas da ciência, devido à natureza cada vez mais complexa das questões de pesquisa (Fu e Wang, 2012).

Técnicas como Análise das Componentes Principais (ACP), Análise Fatorial Exploratória (AFE), Análise de Agrupamento Hierárquica (AAH) e Análise Discriminante (DA) tem sido largamente utilizadas como ferramenta na avaliação da qualidade da água de rios (Shrestha e Kazama 2007; Wang et al. 2013; Jung et al. 2016), águas subterrâneas ( Machiwal e Jha 2015; Khanoranga e Khalid 2019; Barbosa-Filho e de Oliveira, 2021), lagos (Kazi et al. 2009; Iqbal e Shah, 2012; Han et al, 2020), reservatórios (Varol et al., 2012; Siepak e Sojka, 2017; Golshan et al., 2020) e água potável (Astel et al., 2006; Güler, 2007; Felipe-Sotelo et al., 2015). Esses trabalhos empregam AEM com objetivos diversos, tais como: analisar as relações entre qualidade da água, uso e cobertura do solo; avaliar semelhanças e diferenças entre períodos e pontos de amostragem; reconhecer variáveis responsáveis por tendências espaciais e temporais de qualidade da água e ainda selecionar variáveis para compor Índices de Qualidade da Água (IQA), reduzindo o viés e a necessidade de tempo e custo para monitorar grande número de variáveis.

O IQA é outra ferramenta bastante empregada na avaliação da qualidade da água, provando ser bastante eficiente e desempenhando um importante papel na gestão dos recursos hídricos, além de expressar a qualidade da água de forma simples e lógica para o público leigo (Dash e Kalamdhad, 2021; Gupta e Gupta, 2021). O IQA visa dar um único valor à qualidade da água de uma fonte, com base em um ou outro sistema que traduz uma série de variáveis e suas concentrações presentes em uma amostra, em um único valor. Pode-se então comparar diferentes amostras para qualidade com base no valor do índice de cada amostra (Abbasi e Abbasi, 2012; Uddin et al., 2021). Podem ser utilizados para diversas finalidades entre elas: alocações de recursos financeiros na gestão dos recursos hídricos, classificação de alocações, aplicação de normas e legislações, análise de tendências (espaciais e temporais), informação pública e pesquisa científica para avaliar a saúde dos corpos hídricos (Abbasi e Abbasi, 2012; Gitau et al., 2016; Gupta e Gupta, 2021).

No Brasil, o índice da *National Sanitation Foundation* dos EUA (IQA-NSF) foi adaptado e é o índice mais utilizado em programas nacionais e estaduais de avaliação da qualidade da água, sendo que os parâmetros de qualidade que compõem o índice estão relacionados à qualidade da água para fins de abastecimento público (Zagatto et al., 1999; Abbasi e Abbasi, 2012; ANA, 2021). No contexto do DF, esse IQA é o principal indicador utilizado no monitoramento da qualidade da água superficial de ambientes lóticos (rios e córregos), com uma rede de monitoramento que não contempla todas as unidades hidrográficas (ADASA, 2022).

Os IQAs têm sido amplamente utilizados na avaliação da qualidade da água de corpos hídricos no Brasil para diversas finalidades (Ramos et al. 2016; Medeiros et al., 2017; Costa et al., 2020; Cicilinski e Virgens-Filho, 2020). Apesar de ser uma ferramenta bastante utilizada em todo o mundo (Dash e Kalamdhad 2021), os IQAs apresentam alguns problemas, entre os mais significativos deles está a alocação aplicada à água. O recurso hídrico pode ser utilizado para fins diversificados, considerando seus múltiplos usos (Kachroud et al., 2019). Nesse sentido, visando avaliar a qualidade da água para fins de irrigação, Muniz et al. (2020) propuseram um índice de qualidade da água para o contexto do DF (IQAI<sub>DF</sub>), o qual leva em consideração as características regionais dos recursos hídricos e auxilia na avaliação de problemas no solo e plantas irrigadas.

Diante do exposto, este artigo tem como objetivo avaliar a qualidade da água superficial de unidades hidrográficas, sob diferentes usos do solo, por meio da aplicação de ferramentas como a Análise Estatística Multivariada e dos Índices de Qualidade da Água para abastecimento público e irrigação, visando subsidiar a GIRH no DF.

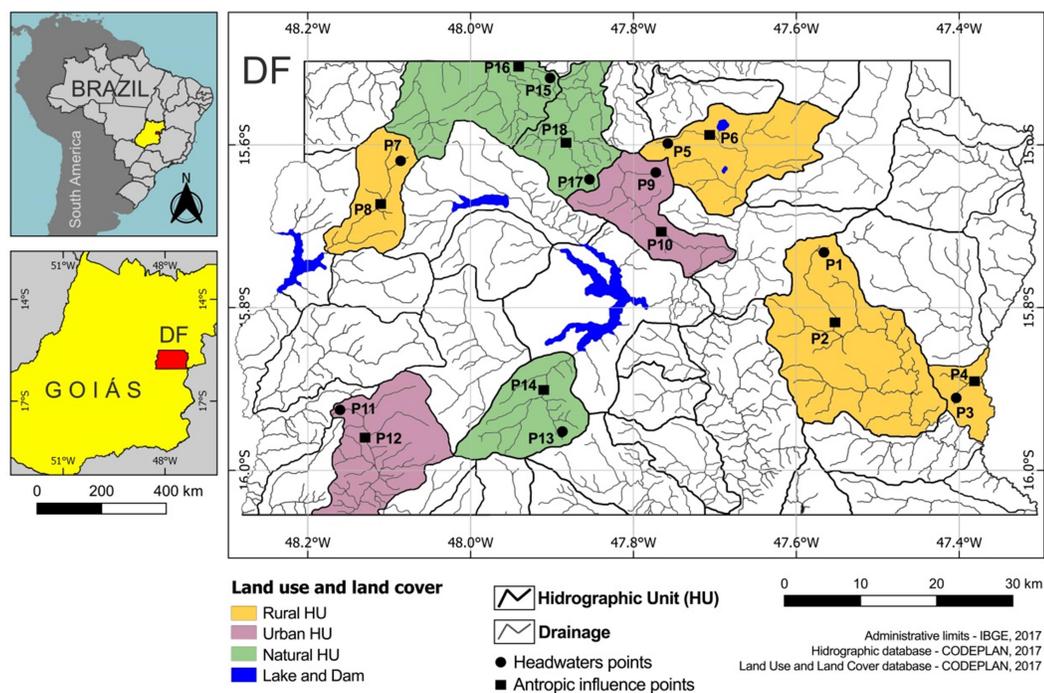
## **2. Materiais e métodos**

### *2.1. Área de Estudo e Pontos amostrais*

O DF localiza-se na região Centro-Oeste do Brasil. Possui um clima caracterizado pela forte sazonalidade e dois períodos hidrológicos distintos: seco (de maio a setembro) e chuvoso (de outubro a abril) com precipitação anual entre 1500 e 1700 mm. A vegetação natural abrange diferentes tipos de Cerrado e matas de galeria por toda a extensão dos rios. O principal uso da terra é urbano, seguido por áreas de cultivo extensivo (soja e milho), hortaliças e frutas, principalmente com foco no abastecimento local (Castro et al., 2019; Muniz et al., 2020).

Os pontos de coleta foram definidos com base no objetivo do estudo e foram considerados estudos preliminares, uso/cobertura do solo, bem como o acesso aos pontos. Foram definidos 18 pontos (P1 a P18) em locais estratégicos. Os pontos de coleta estão localizados em nove unidades hidrográficas (UH) do DF. Para cada UH foram selecionados dois pontos amostrais, sendo oito pontos localizados em nascentes de rios e oito pontos em locais com influência antrópica (Figura 1).

Na definição dos pontos foi levada em consideração o uso e cobertura do solo das unidades hidrográficas, sendo essas classificadas como UH-RURAL (porcentagem de área agropastoril incluindo pivôs de irrigação), UH-URBANA (porcentagem de área construída) ou UH-NATURAL (porcentagem de formação natural), conforme Mapeamento da Cobertura da Terra do Distrito Federal, da Companhia de Planejamento do Distrito Federal (CODEPLAN, 2017). A Tabela 1 apresenta a descrição dos pontos amostrais.



**Figura 1** Localização dos pontos amostrais.

**Tabela 1** Descrição dos pontos amostrais.

Ponto	Rio	Uso e Cobertura do Solo	Bacia	Unidade Hidrográfica (UH)	%AP	%AC	%FN
P1	Várzea do Buracão	Rural	Preto	UH 35 - Alto Rio Jardim	80,3	1,19	17,6
P2	Jardim						
P3	Buriti Vermelho	Rural	Preto	UH 3 - Alto Rio Preto	88,2	0,5	11,1
P4	Buriti Vermelho						
P5	Chapadinha	Rural	São Bartolomeu	UH 4 - Alto Rio São Bartolomeu	52,3	10,2	34,8
P6	Sarandi						
P7	Cabeceira Comprida	Rural	Descoberto	UH 26 - Ribeirão Rodeador	47,6	8,8	30,4
P8	Rodeador						
P9	Sobradinho	Urbana	São Bartolomeu	UH 30 - Ribeirão Sobradinho	40,8	44,2	12,1
P10	Sobradinho						
P11	Tamanduá	Urbana	Corumbá	UH 25 - Rio Ponte Alta	24,3	18,9	56,3
P12	Ponte Alta						

P13	Taquara	Natural	Paranoá	UH 17 - Ribeirão do Gama	1,9	30,8	66,9
P14	Taquara						
P15	Ouro	Natural	Maranhão	UH 12 - Rio da Palma	4,5	8,4	87,1
P16	Ouro						
P17	Covancas	Natural	Maranhão	UH 15 - Ribeirão da Contagem	4,4	5,3	87,9
P18	Contagem						

%AP = porcentagem de área agropastoril da UH (incluindo pivôs) / % AC = porcentagem de área construída da UH / % FN = porcentagem de formação natural da UH

## 2.2. Amostragem e Métodos Analíticos

As coletas ocorreram com frequência bimestral entre dezembro de 2017 e outubro de 2019, totalizando 12 campanhas. Em cada amostra foram realizadas análises de 29 variáveis físicas, químicas e microbiológica de qualidade da água. Foram coletadas amostras de água superficial em frascos de polietileno de 500 mL. Na coleta de amostras para determinação da demanda bioquímica de oxigênio foram utilizados frascos *Winkler* de 300 mL. Para determinação de *Escherichia coli*, as amostras foram coletadas em recipientes estéreis contendo tiosulfato de sódio 0,1 mg/100mL de amostra.

As variáveis temperatura, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos e pH foram determinados em campo, nos dias das coletas, com a utilização de medidor multiparâmetros portátil modelo HQ40d (Hach, EUA). A turbidez foi medida por meio de um turbidímetro portátil modelo 2100P (Hach, EUA) e a cor aparente foi obtida através de medidor de cor *Checker*HC (Hanna, EUA). Para garantir o controle de qualidade na amostragem e das medições, foram utilizados brancos de campo, de equipamentos e frascaria. Todos os reagentes e padrões utilizados nas calibrações dos equipamentos foram de grau analítico. Os coeficientes de calibração para todos os métodos foram mantidos em um nível maior que 0,999.

Os procedimentos de coleta, preservação e análises seguiram recomendações *do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (SMEWW), *da International Organization for Standardization* (ISO) e *American Society for Testing and Materials* (ASTM) (APHA, 2018; ISO, 1998; ASTM, 2016). Um resumo dos métodos e metodologias analíticas pode ser visto na Tabela 2.

**Tabela 2** Variáveis analisadas, abreviações, unidades, métodos e metodologias analíticas.

Variável	Abreviação	Unidade	Método	Metodologia
Alcalinidade total	AT	mg/L CaCO <sub>3</sub>	Titulométrico	APHA, 2018, 2320 B
Amônio	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	mg/L	Cromatografia iônica	ISO 14911:1998
Bicarbonato	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/L	Cálculo alcalinidade	APHA, 2018, 2320 B
Brometo	Br <sup>-</sup>	mg/L	Cromatografia iônica	APHA, 2018, 4110 B
Cálcio	Ca <sup>2+</sup>	mg/L	Cromatografia iônica	ISO 14911:1998
Cloreto	Cl <sup>-</sup>	mg/L	Cromatografia iônica	APHA, 2018, 4110 B
Carbono total	CT	mg/L	Combustão	APHA, 2018, 5310 B
Condutividade elétrica	CE	µS/cm	Eletrométrico	APHA, 2018, 2510 B
Cor aparente	COR	PCU	Espectrofotométrico	APHA, 2018, 2120 C
Demanda bioquímica de oxigênio	DBO	mg/L	Incubação 5 dias	APHA, 2018, 5210 B
Dureza total	DT	mg/L CaCO <sub>3</sub>	Titulométrico EDTA Na	APHA, 2018, 2340 B
<i>Escherichia coli</i>	ECOLI	NMP/100 mL	Substrato enzimático	APHA, 2018, 9223 B
Fluoreto	F <sup>-</sup>	mg/L	Cromatografia iônica	APHA, 2018, 4110 B
Fosfato	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	mg/L	Cromatografia iônica	APHA, 2018, 4110 B
Fósforo total	PT	mg/L	Ácido Ascórbico	APHA, 2018, 4500P E
Magnésio	Mg <sup>2+</sup>	mg/L	Cromatografia iônica	ISO 14911:1998
Nitrato	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/L	Cromatografia iônica	APHA, 2018, 4110 B
Nitrito	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	mg/L	Cromatografia iônica	APHA, 2018, 4110 B
Nitrogênio total	NT	mg/L	Combustão	ASTM D8083 - 2016
Oxigênio dissolvido	OD	mg/L O <sub>2</sub>	Eletrométrico	ISO 17289:2014
Potencial hidrogeniônico	pH	-	Eletrométrico	APHA, 2018, 4500H <sup>+</sup> B
Potássio	K <sup>+</sup>	mg/L	Cromatografia iônica	ISO 14911:1998
Razão de adsorção de sódio	RAS	meq/L	Cálculo	Suarez et al., 2008
Resíduo total	RT	mg/L	Gravimétrico	APHA, 2018, 2540 B
Sódio	Na <sup>+</sup>	mg/L	Cromatografia iônica	ISO 14911:1998
Sólidos totais dissolvidos	STD	mg/L	Eletrométrico	APHA, 2018, 2510 A
Sulfato	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	mg/L	Cromatografia iônica	APHA, 2018, 4110 B
Temperatura	TEMP	°C	Eletrométrico	APHA, 2018, 2550
Turbidez	TURB	UNT	Turbidimétrico	APHA, 2018, 2130 B

### 2.3. Análise Estatística Multivariada

A análise de agrupamento é um grupo de técnicas multivariadas cuja finalidade principal é reunir objetos com base nas características que eles possuem (Kimes et al., 2017). Os clusters de variáveis resultantes devem exibir alta homogeneidade interna (dentro do cluster) e alta heterogeneidade externa (entre clusters). A análise de agrupamento hierárquico (AAH) é a abordagem mais comum, bastante utilizada em estudos de qualidade da água, e fornece relações de similaridade intuitivas entre qualquer amostra e todo o conjunto de dados, e é tipicamente ilustrada por um dendrograma (diagrama de árvore) (Shrestha e Kazama 2007; Ogwueleka, 2014; Bouguerne et al., 2017). Neste trabalho, a AAC foi realizada na matriz de dados normalizados para a classificação dos locais de monitoramento em diferentes grupos. A obtenção da AHC foi através do método de *Ward* usando distâncias euclidianas como medida de similaridade (Wang et al., 2013; Barakat et al., 2016).

A Análise de Componentes Principais (ACP) é uma técnica de análise multivariada que visa reduzir a dimensão de uma matriz com um grande número de variáveis inter-relacionadas, mantendo tanto quanto possível, a variabilidade presente na matriz de dados (Jolliffe e Cadima 2016). Ela converte as variáveis originais em novas variáveis não relacionadas (eixos), chamadas de Componentes Principais (CP) ou autovetores, que são combinações lineares das variáveis originais e fornece informações sobre os parâmetros mais significativos (Wang et al., 2017; Holland, 2019). As CPs geradas pela ACP muitas vezes não são prontamente interpretadas. Este propósito pode ser alcançado girando o eixo definido na ACP, de acordo métodos estabelecidos, e construindo novas variáveis (varifatores), por meio da Análise Fatorial Exploratória (AFE) (Azid et al., 2014). A utilização AFE após a ACP tem como principal objetivo reduzir a contribuição das variáveis menos significativas e simplificar ainda mais a estrutura de dados retirada da ACP (Ouyang et al., 2006; Shresta e Kazama, 2007).

Antes da ACP foram realizadas medidas de adequação de amostragem pelo índice de *Kaiser-Meyer-Olkin* (KMO) e teste de esfericidade de *Bartlett* ( $p < 0.05$ ). Valores de KMO maiores que 0,5 a 1,0, são considerados aceitáveis para aplicação da ACP (Hair et al., 2014). Neste estudo utilizou-se o modelo *broken-stick* para seleção das componentes principais a serem interpretadas e a rotação *varimax* na AFE. ACP foi aplicada com o intuito de extrair informações importantes relacionadas às variáveis mais significativas, para as três matrizes de dados (rural, urbana e natural) separadamente. Todos os tratamentos estatísticos dos dados foram realizados com o auxílio do software R versão 3.6.3 (R Core Team, 2021).

#### 2.4. Índices de Qualidade da Água (IQA)

Para avaliação da qualidade da água para fins de abastecimento, foi aplicado um índice de abrangência nacional (IQA<sub>CETESB</sub>), já para avaliação da qualidade da água para irrigação foi aplicado um índice regional (IQA<sub>IDF</sub>). O IQA<sub>CETESB</sub> foi adaptado em 1977 pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) do índice da NSF, EUA. Nas décadas

seguintes, outros estados brasileiros adotaram o  $IQA_{CETESB}$ , que hoje é o índice de qualidade da água mais utilizado no País. (Zagatto et al., 1999; ANA, 2021).

O IQA da NSF foi desenvolvido por Brown et al. (1970) como uma versão modificada do modelo de Horton e tem sido utilizado para avaliar a qualidade da água superficial de vários locais no mundo. Tem como objetivo avaliar a qualidade da água bruta visando seu uso para o abastecimento público após tratamento convencional e suas variáveis refletem, principalmente, a poluição causada pelo lançamento de esgotos domésticos (Brown et al., 1970; Abbasi e Abbasi, 2012; Uddin et al. 2021).

Esse índice é calculado pelo produtório ponderado de nove variáveis que o compõe, de acordo com a Equação 1:

$$IQA_{CETESB} = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i} \quad (1)$$

onde  $q_i$  é a qualidade do  $i$ -ésimo parâmetro, um número entre 0 e 100, obtido da respectiva curva média de variação de qualidade, em função de sua concentração ou medida (resultado da análise) e,  $w_i$  é o peso correspondente ao  $i$ -ésimo parâmetro, um número entre 0 e 1, atribuído em função da sua importância para a conformação global de qualidade, sendo que  $n$  é o número de variáveis que entram no cálculo do  $IQA_{CETESB}$  (Abbasi e Abbasi, 2012).

O Índice de Qualidade da Água para Irrigação ( $IQA_{DF}$ ) foi proposto com o objetivo de utilização da água para fins de irrigação no DF. Esse IQA foi adaptado de Meireles et al. (2010) e a seleção das variáveis e dos pesos foi realizada a partir de métodos estatísticos multivariados (ACP) (Muniz et al., 2020). Esse índice abrange restrições de uso da água para planta e solo como medida de avaliação da qualidade e é calculado pelo somatório da qualidade individual ( $q_i$ ) de cada variável ponderada pelo peso desta variável ( $w_i$ ) na avaliação da qualidade da água para irrigação conforme a Equação 2:

$$IQA_{DF} = \sum_{i=1}^n q_i w_i \quad (2)$$

Na Tabela 3 estão descritas as faixas, classes, variáveis e seus respectivos pesos para o  $IQA_{CETESB}$  e  $IQAI_{DF}$ .

**Tabela 3.** Faixas, classes, variáveis e pesos do  $IQA_{CETESB}$  e  $IQAI_{DF}$

$IQA_{CETESB}$				$IQAI_{DF}$			
<i>Faixa</i>	<i>Classe</i>	<i>Variável</i>	<i>Peso</i>	<i>Faixa</i>	<i>Classe</i>	<i>Variável</i>	<i>Peso</i>
80-100	ÓTIMA	OD	0,17	86-100	MUITO BOA	pH	0,24
52-79	BOA	ECOLI	0,15	71-85	BOA	CE	0,22
37-51	REGULAR	pH	0,12	56-70	REGULAR	NO <sub>3</sub>	0,21
20-36	RUIM	DBO	0,10	41-55	RUIM	DT	0,13
0-19	PÉSSIMA	TEMP	0,10	0-40	MUITO RUIM	ECOLI	0,12
		NT	0,10			SAR	0,08
		PT	0,10				$\Sigma = 1,0$
		TURB	0,08				
		RT	0,08				
			$\Sigma = 1,0$				

As classes do  $IQA_{CETESB}$  foram divididas levando em consideração a adequação da água para o abastecimento humano. Já as classes do  $IQAI_{DF}$  foram divididas com base em índices de qualidade da água para irrigação existentes, levando em consideração o risco de problemas de salinidade, redução da infiltração de água no solo, bem como contaminação por patógenos.

### 3. Resultados e Discussão

#### 3.1. Estatística Descritiva

Com o objetivo de auxiliar na discussão dos resultados, as tabelas 4, 5, 6 e 7 apresentam a média, mediana, desvio padrão, valores máximo e mínimo para as 29 variáveis analisadas, em todos os 18 pontos de amostragem. Como pode ser visto nas Tabelas 5 e 7, a variável Br<sup>-</sup> (brometo) apresentou valores abaixo do limite de detecção em todos os meses analisados para todos os pontos. Para a variável NO<sub>2</sub><sup>-</sup> (nitrito) as concentrações foram acima do limite de detecção, somente para P10 e P12 (Tabla 7), para o restante dos pontos apresentou valores abaixo do limite de detecção.

**Tabela 4.** Média, mediana, desvio padrão, máximo e mínimo dos variáveis de qualidade da água dos pontos P1 a P9.

Ponto	n=12	TEMP	OD	DBO	pH	CE	STD	AT	DT	TURB	RT	COR	NT	PT	CT	ECOLI
P1 <sup>R</sup>	Média	23.1	6.56	0.21	5.14	5.75	2.2	2.28	3.44	15.81	35.13	25.1	0.872	0.005	2.318	7.5
	Mediana	23.2	6.49	0.14	5.02	5.74	2.3	1.92	2.14	0.66	21.77	0.5	0.662	0.004	1.779	1.0
	DP	0.6	0.21	0.19	0.55	0.36	0.2	1.17	2.65	52.37	47.52	85.0	0.937	0.004	1.809	22.6
	Máx	23.9	7.10	0.58	6.43	6.36	2.5	5.38	10.20	182.1	172.7	295.0	3.600	0.013	7.350	79.3
	Mín	21.5	6.35	0.04	4.64	5.19	2.0	1.28	1.60	0.41	3.91	0.2	0.150	0.002	0.490	1.0
P2 <sup>R</sup>	Média	21.7	7.15	0.54	6.46	20.13	9.1	9.46	9.87	23.59	70.77	71.4	0.676	0.005	4.105	13,15.9
	Mediana	22.4	7.09	0.55	6.51	18.55	8.4	8.73	9.20	9.12	68.07	47.5	0.662	0.004	4.127	1,009.9
	DP	2.2	0.59	0.27	0.39	5.64	2.7	4.07	3.48	32.23	41.48	73.9	0.257	0.005	1.351	960.3
	Máx	24.3	7.94	0.91	7.04	30.40	14.1	16.52	18.80	109.0	166.4	230.0	1.256	0.019	6.179	2,419.6
	Mín	17.5	6.36	0.02	5.62	11.96	5.2	1.52	5.70	3.05	12.62	2.0	0.399	0.002	1.081	52.7
P3 <sup>R</sup>	Média	23.6	5.00	0.64	5.03	6.29	2.5	2.40	3.06	2.33	31.47	4.3	0.642	0.006	1.647	495.5
	Mediana	23.6	4.92	0.32	5.04	5.95	2.3	2.21	2.98	1.61	26.70	0.8	0.585	0.003	1.576	177.1
	DP	0.4	0.35	0.72	0.27	0.83	0.4	0.88	1.31	1.62	23.89	5.7	0.295	0.009	0.543	769.6
	Máx	24.1	5.43	2.58	5.43	8.05	3.3	4.08	5.34	6.5	77.8	15.0	1.165	0.032	2.667	2,419.6
	Mín	22.9	4.30	0.12	4.48	5.53	2.1	1.32	1.38	0.95	3.93	0.3	0.192	0.002	0.993	13.2
P4 <sup>R</sup>	Média	22.7	7.45	0.68	5.75	4.83	1.8	3.17	4.33	14.91	43.69	46.8	0.615	0.003	1.665	559.2
	Mediana	22.9	7.32	0.62	5.68	4.29	1.5	2.73	4.28	11.97	41.37	36.0	0.686	0.003	1.470	251.1
	DP	1.1	0.31	0.45	0.33	1.89	0.9	1.06	2.66	10.86	30.59	35.3	0.257	0.004	0.614	676.4
	Máx	24.2	7.96	1.42	6.16	10.33	4.4	5.36	11.84	43.0	93.1	120.0	1.000	0.014	3.025	2,419.6
	Mín	20.6	6.99	0.13	5.17	3.37	1.1	2.16	1.70	4.79	9.78	10.0	0.114	0.001	0.923	97.9
P5 <sup>R</sup>	Média	23.7	4.82	0.59	5.20	9.15	3.8	3.10	3.41	1.44	21.97	7.5	0.703	0.003	1.794	508.5
	Mediana	23.5	4.72	0.40	5.10	8.74	3.7	2.69	3.11	1.18	15.68	3.5	0.645	0.002	1.779	152.7
	DP	0.7	0.48	0.69	0.45	2.05	1.0	1.24	1.42	0.77	13.26	10.4	0.319	0.003	0.430	809.3
	Máx	25.0	5.92	2.55	6.47	13.03	5.7	6.38	6.30	3.4	45.2	30.0	1.314	0.009	2.849	2,419.6
	Mín	22.9	4.19	0.02	4.65	5.58	2.1	2.03	1.52	0.81	3.95	0.2	0.164	0.001	1.175	13.4
P6 <sup>R</sup>	Média	23.4	6.83	0.59	5.85	6.06	2.4	3.66	4.13	10.40	33.40	35.9	0.799	0.005	2.082	248.2
	Mediana	23.5	6.78	0.58	5.90	6.50	2.6	3.38	3.80	4.38	33.37	20.0	0.812	0.003	2.015	255.6
	DP	1.0	0.28	0.38	0.36	1.66	0.8	1.18	1.38	19.03	15.77	60.6	0.531	0.004	0.458	123.1
	Máx	25.1	7.28	1.49	6.32	8.41	3.5	6.71	6.50	70.1	55.5	225.0	2.235	0.012	2.818	461.1
	Mín	21.7	6.49	0.12	5.08	3.15	1.0	2.43	2.42	2.37	1.98	0.5	0.187	0.001	1.363	71.2
P7 <sup>R</sup>	Média	21.6	7.31	0.80	6.22	5.65	2.2	4.20	5.00	5.29	36.40	14.9	0.699	0.008	2.118	449.3
	Mediana	22.0	7.31	0.63	6.30	5.43	2.1	3.52	3.24	4.33	33.26	10.0	0.603	0.007	2.180	269.5
	DP	2.3	0.44	0.61	0.36	1.57	0.7	1.56	3.25	3.20	28.74	16.7	0.297	0.007	0.541	462.3
	Máx	25.3	7.93	1.89	6.59	8.69	3.6	6.73	12.25	11.6	89.2	55.0	1.358	0.023	2.990	1,553.1
	Mín	18.2	6.52	0.05	5.34	3.65	1.2	2.51	2.20	1.55	3.91	0.8	0.396	0.001	1.145	43.9
P8 <sup>R</sup>	Média	22.2	7.39	0.36	6.32	6.86	2.8	4.44	4.62	26.76	65.83	82.7	0.532	0.006	2.054	686.7
	Mediana	22.6	7.35	0.17	6.35	7.17	2.9	4.07	3.83	6.43	35.44	32.5	0.521	0.004	1.982	518.0
	DP	1.5	0.30	0.36	0.30	1.30	0.6	1.46	2.05	63.01	72.15	170.1	0.234	0.008	0.609	602.3
	Máx	24.1	7.94	1.21	7.01	8.27	3.4	7.04	9.44	226.0	257.1	620.0	0.887	0.029	3.084	1,986.3
	Mín	19.6	6.97	0.06	5.86	4.94	1.8	2.56	2.62	3.30	15.66	10.0	0.194	0.002	1.078	26.2
P9 <sup>U</sup>	Média	22.4	5.34	0.45	5.05	6.25	2.5	1.95	2.19	3.52	25.63	3.9	0.531	0.002	1.286	6.8
	Mediana	22.9	4.91	0.25	4.98	6.42	2.5	1.95	2.16	1.07	23.58	0.9	0.518	0.002	1.186	3.0
	DP	1.6	0.99	0.71	0.18	1.36	0.6	0.63	0.62	5.01	16.45	6.6	0.298	0.002	0.509	10.3
	Máx	23.1	7.55	2.57	5.39	7.82	3.2	3.46	3.42	15.1	61.0	20.0	1.073	0.006	2.327	35.5
	Mín	17.5	4.45	0.02	4.85	3.54	1.2	0.98	1.30	0.44	3.93	0.1	0.080	0.001	0.478	1.0

**Tabela 5** Média, mediana, desvio padrão, máximo e mínimo dos variáveis de qualidade da água dos pontos P1 a P9 (continuação).

Ponto	n=12	RAS	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	F	Cl	Br	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Na <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>
P2 <sup>R</sup>	Mediana	0.209	2.342	0.007	0.071			0.112	0.002	0.008	0.438	0.002	0.076	0.643	0.105
	DP	0.087	1.426	0.018	0.165		< LD	0.177	0.001	0.038	0.415	0.002	0.291	1.517	0.330
	Máx	0.293	6.564	0.050	0.591			0.697	0.005	0.117	1.777	0.006	0.951	4.303	1.165
	Mín	0.047	1.562	0.001	0.010			0.009	0.001	0.001	0.336	0.001	0.020	0.078	0.005
P3 <sup>R</sup>	Média	1.242	11.542	0.019	0.485			0.082	0.002	0.078	1.774	0.002	0.754	3.278	0.764
	Mediana	1.430	10.651	0.019	0.427			0.070	0.001	0.070	1.839	0.002	0.758	3.141	0.679
	DP	0.384	4.961	0.010	0.268		< LD	0.056	0.001	0.041	0.515	0.001	0.403	1.516	0.354
	Máx	3.378	20.154	0.032	1.268			0.210	0.006	0.153	6.285	0.005	1.769	8.992	3.421
P4 <sup>R</sup>	Mín	0.903	1.854	0.001	0.231			0.025	0.001	0.003	0.608	0.001	0.173	1.522	0.120
	Média	0.091	2.928	0.010	0.191			0.059	0.002	0.011	0.473	0.002	0.333	1.731	0.255
	Mediana	0.088	2.696	0.002	0.148			0.043	0.002	0.006	0.448	0.002	0.409	1.636	0.254
	DP	0.022	1.068	0.015	0.135		< LD	0.045	0.001	0.016	0.130	0.001	0.282	0.777	0.074
P5 <sup>R</sup>	Máx	0.135	4.978	0.043	0.507			0.149	0.005	0.058	0.721	0.004	0.705	3.221	0.360
	Mín	0.060	1.610	0.001	0.025			0.004	0.001	0.002	0.335	0.001	0.002	0.953	0.111
	Média	0.222	3.866	0.007	0.274			0.279	0.002	0.029	1.038	0.002	0.511	1.568	0.263
	Mediana	0.212	3.331	0.002	0.209			0.210	0.002	0.009	0.997	0.002	0.402	1.518	0.209
P6 <sup>R</sup>	DP	0.081	1.295	0.010	0.187		< LD	0.217	0.001	0.035	0.382	0.002	0.410	0.928	0.175
	Máx	0.395	6.539	0.034	0.789			0.962	0.004	0.092	2.080	0.006	1.227	3.876	0.771
	Mín	0.071	2.635	0.001	0.121			0.184	0.001	0.002	0.586	0.001	0.040	0.526	0.121
	Média	0.452	3.785	0.010	0.420			0.380	0.002	0.021	1.828	0.002	0.270	1.359	0.202
P7 <sup>R</sup>	Mediana	0.378	3.282	0.004	0.460			0.367	0.002	0.011	1.915	0.002	0.250	1.250	0.204
	DP	0.199	1.510	0.017	0.164		< LD	0.232	0.002	0.043	0.389	0.001	0.120	0.735	0.111
	Máx	0.751	7.784	0.060	0.708			0.866	0.006	0.156	2.252	0.004	0.598	2.334	0.332
	Mín	0.127	2.477	0.001	0.071			0.076	0.001	0.001	0.781	0.001	0.145	0.419	0.053
P8 <sup>R</sup>	Média	0.184	4.468	0.008	0.215			0.208	0.002	0.072	0.853	0.003	0.407	1.381	0.274
	Mediana	0.183	4.124	0.006	0.218			0.229	0.002	0.063	0.869	0.002	0.391	1.094	0.300
	DP	0.033	1.444	0.010	0.087		< LD	0.160	0.001	0.054	0.149	0.002	0.196	0.756	0.113
	Máx	0.260	8.186	0.037	0.367			0.524	0.005	0.204	1.184	0.006	0.677	2.729	0.418
P9 <sup>U</sup>	Mín	0.145	2.965	0.001	0.035			0.002	0.001	0.006	0.632	0.001	0.158	0.477	0.116
	Média	0.227	5.127	0.004	0.415			0.051	0.002	0.063	1.409	0.002	0.452	2.680	0.320
	Mediana	0.225	4.294	0.002	0.386			0.052	0.002	0.068	1.526	0.002	0.415	2.737	0.305
	DP	0.062	1.900	0.007	0.225		< LD	0.036	0.001	0.048	0.348	0.001	0.347	1.061	0.181
P9 <sup>U</sup>	Máx	0.348	8.211	0.025	0.834			0.119	0.004	0.144	1.859	0.003	1.039	3.993	0.821
	Mín	0.103	3.062	0.001	0.104			0.007	0.001	0.002	0.831	0.001	0.063	1.095	0.149
	Média	1.245	5.422	0.004	0.533			0.078	0.003	0.094	1.312	0.002	0.293	1.921	0.287
	Mediana	1.555	4.965	0.002	0.547			0.053	0.002	0.062	1.297	0.002	0.211	1.923	0.304
P9 <sup>U</sup>	DP	0.374	1.778	0.005	0.134		< LD	0.072	0.004	0.089	0.323	0.001	0.211	0.751	0.071
	Máx	3.462	8.589	0.016	0.769			0.260	0.014	0.354	1.665	0.004	0.654	3.036	0.394
	Mín	0.115	3.123	0.001	0.275			0.001	0.001	0.024	0.740	0.001	0.022	0.873	0.188
	Média	0.157	2.383	0.093	0.258			0.076	0.003	0.029	0.649	0.002	0.255	1.110	0.157
P9 <sup>U</sup>	Mediana	0.142	2.379	0.004	0.208			0.072	0.002	0.018	0.632	0.002	0.162	1.208	0.137
	DP	0.049	0.766	0.288	0.201		< LD	0.035	0.002	0.030	0.236	0.001	0.195	0.497	0.067
	Máx	0.261	4.221	1.006	0.832			0.152	0.007	0.083	1.131	0.006	0.622	1.845	0.297
	Mín	0.089	1.196	0.001	0.095			0.023	0.001	0.001	0.361	0.001	0.047	0.417	0.082

**Tabela 6** Média, mediana, desvio padrão, máximo e mínimo dos variáveis de qualidade da água dos pontos P10 a P18.

Ponto	n=12	TEMP	OD	DBO	pH	CE	STD	AT	DT	TURB	RT	COR	NT	PT	CT	ECOLI
P10 <sup>U</sup>	Média	21.0	4.33	2.35	6.55	123.31	58.7	17.89	21.61	24.09	115.84	71.4	10.216	0.079	6.627	2.634.8
	Mediana	21.6	3.92	2.22	6.60	117.85	56.1	16.69	21.94	9.03	98.89	58.4	7.691	0.075	6.019	2.419.6
	DP	1.5	1.38	0.66	0.14	50.86	24.5	10.87	5.24	40.35	63.90	52.2	9.226	0.069	2.510	3.129.7
	Máx	22.6	7.73	3.87	6.74	196.50	93.8	40.38	32.00	150.0	233.4	230.0	35.843	0.242	12.083	12.200
	Mín	18.5	2.92	1.39	6.29	39.40	18.3	1.70	14.10	6.80	13.81	35.0	1.695	0.016	3.473	344.8
P11 <sup>U</sup>	Média	22.1	5.66	0.54	5.85	6.81	2.7	3.84	2.90	6.30	36.47	16.6	0.589	0.008	2.168	105.1
	Mediana	22.6	5.54	0.42	5.90	6.19	2.4	3.84	2.12	1.46	25.64	0.9	0.527	0.007	2.212	28.2
	DP	1.5	0.97	0.55	0.37	2.26	1.1	0.96	2.00	15.13	24.46	53.0	0.268	0.006	0.431	220.8
	Máx	24.5	7.22	2.10	6.47	11.96	5.2	5.22	8.10	54.2	83.4	185.0	1.331	0.023	2.733	770.1
	Mín	19.9	3.85	0.11	5.10	4.45	1.6	2.02	1.48	0.76	5.89	0.2	0.334	0.001	1.501	1.0
P12 <sup>U</sup>	Média	23.4	7.14	4.97	7.06	208.73	100.0	35.76	28.37	20.18	139.27	71.9	15.082	0.081	7.414	8.669.3
	Mediana	23.5	7.14	5.58	7.09	184.95	88.5	27.96	21.00	6.79	106.20	40.0	10.336	0.057	6.257	3.566.2
	DP	1.6	0.31	1.46	0.37	112.09	54.3	26.96	19.74	33.76	114.23	94.2	10.554	0.075	6.476	13.477
	Máx	25.9	7.64	6.42	7.54	448.00	216.0	76.62	85.32	124.0	450.9	355.0	41.396	0.282	26.600	48.392
	Mín	20.9	6.61	2.38	6.16	88.60	41.9	0.42	15.04	2.56	52.80	12.6	3.113	0.013	1.681	686.7
P13 <sup>N</sup>	Média	22.5	5.58	0.31	5.28	4.27	1.5	2.20	3.55	1.85	28.53	6.7	0.463	0.003	1.733	73.6
	Mediana	22.4	6.10	0.21	5.24	3.65	1.2	2.05	1.96	1.11	19.70	0.7	0.458	0.002	1.565	8.6
	DP	0.6	1.33	0.26	0.13	1.50	0.7	0.99	3.33	1.98	29.58	15.5	0.222	0.004	0.556	189.3
	Máx	24.0	6.57	0.98	5.47	8.13	3.4	5.08	12.20	7.6	102.5	55.0	0.838	0.013	2.808	665.3
	Mín	21.7	1.83	0.02	5.13	3.28	1.0	1.24	1.02	0.66	3.94	0.3	0.150	0.002	1.115	1.0
P14 <sup>N</sup>	Média	21.4	7.21	0.49	6.47	21.97	10.0	11.40	11.97	5.33	35.13	20.5	0.584	0.005	3.830	244.3
	Mediana	22.1	7.04	0.45	6.49	19.71	8.9	10.39	12.06	3.34	33.52	15.2	0.633	0.003	3.800	243.6
	DP	2.0	0.53	0.31	0.25	8.40	4.0	4.81	3.58	4.80	17.04	11.6	0.250	0.005	1.180	162.0
	Máx	23.6	8.08	1.20	6.81	39.40	18.3	19.88	19.72	16.8	72.4	40.0	0.898	0.015	5.980	517.2
	Mín	18.0	6.45	0.08	6.01	7.90	3.3	5.27	7.36	0.80	9.81	8.0	0.061	0.001	2.582	7.5
P15 <sup>N</sup>	Média	23.1	5.22	0.56	7.02	206.01	98.7	100.60	103.19	6.57	132.57	18.7	0.609	0.005	23.145	428.0
	Mediana	23.0	5.18	0.26	7.02	233.00	111.6	100.64	107.40	4.37	133.14	12.5	0.594	0.003	23.925	149.8
	DP	0.7	0.59	0.64	0.13	40.25	19.5	23.15	22.15	6.67	41.40	21.9	0.266	0.005	4.998	538.9
	Máx	24.2	6.05	1.87	7.28	238.00	114.1	137.40	136.42	22.6	212.6	65.0	1.044	0.016	29.306	1413.6
	Mín	21.9	4.18	0.09	6.79	131.30	62.5	67.90	65.44	0.90	80.31	0.2	0.221	0.001	14.920	24.6
P16 <sup>N</sup>	Média	22.6	6.65	0.36	7.55	212.31	101.6	104.96	107.06	10.71	145.67	64.1	0.743	0.005	23.027	1171.9
	Mediana	22.7	6.98	0.33	7.55	230.50	110.4	101.41	111.03	3.77	149.66	22.5	0.536	0.003	24.430	833.6
	DP	1.9	0.92	0.24	0.25	38.80	18.8	23.18	22.88	15.94	39.07	106.6	0.549	0.006	6.311	925.8
	Máx	24.7	7.77	0.74	7.95	251.00	120.5	139.60	140.51	53.2	209.1	375.0	2.310	0.022	32.514	2419.6
	Mín	19.4	4.81	0.07	7.03	154.50	73.7	65.56	67.72	1.30	82.75	0.7	0.231	0.001	13.558	172.6
P17 <sup>N</sup>	Média	21.2	6.83	0.34	6.78	34.30	16.2	15.06	14.89	2.98	39.64	28.6	0.752	0.007	4.788	1204.2
	Mediana	21.6	7.43	0.27	6.85	21.85	9.9	10.13	7.96	2.15	23.67	12.5	0.761	0.002	3.314	1046.2
	DP	2.6	1.97	0.28	0.29	55.38	26.6	20.05	20.65	3.05	55.54	56.7	0.333	0.015	5.408	708.5
	Máx	25.4	7.85	1.10	7.10	208.00	99.6	78.04	78.18	12.3	201.9	204.0	1.335	0.055	21.639	2419.6
	Mín	17.1	0.67	0.04	6.27	3.83	1.3	2.59	2.15	1.04	1.96	0.3	0.210	0.002	1.119	190.4
P18 <sup>N</sup>	Média	22.9	7.48	1.23	7.63	190.35	91.0	86.53	88.63	17.70	132.92	31.8	1.387	0.006	19.715	1779.6
	Mediana	22.5	7.45	1.15	7.65	189.85	90.8	91.23	91.68	6.63	135.17	17.5	1.172	0.003	19.318	1811.5
	DP	1.7	0.40	1.07	0.23	13.11	6.4	12.29	12.13	28.30	32.07	41.4	0.657	0.006	3.798	743.1
	Máx	25.9	8.11	4.37	7.98	212.00	101.4	100.56	103.48	99.0	190.8	145.0	2.560	0.019	26.726	2419.6
	Mín	20.9	6.75	0.32	7.19	171.80	82.0	61.42	64.58	1.32	90.63	0.5	0.490	0.001	14.804	866.4

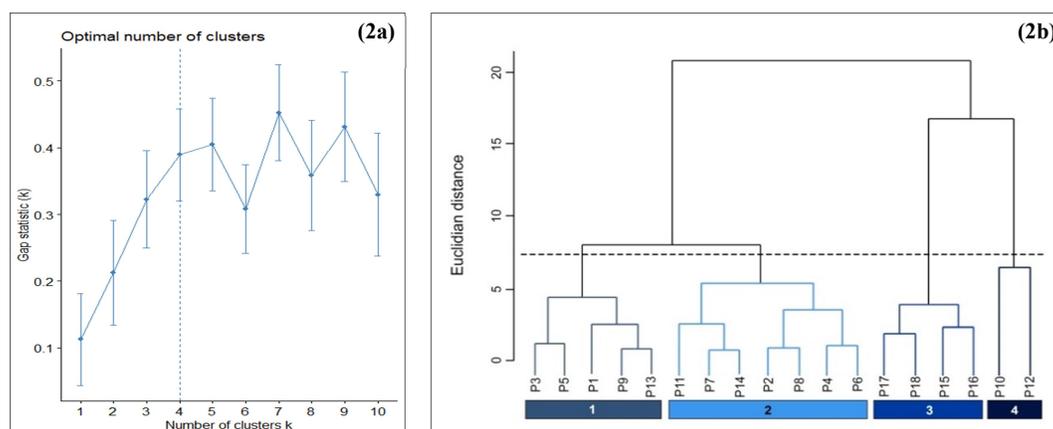
Tabela 7 Média, mediana, desvio padrão, máximo e mínimo dos variáveis de qualidade da água dos pontos P10 a P18 (continuação).

Ponto	n=12	RAS	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	F	Cl <sup>-</sup>	Br <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Na <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>
P10 <sup>U</sup>	Média	1.060	21.827	0.047	7.008		4.018	4.104	0.103	8.523	12.004	6.756	2.674	8.721	1.044
	Mediana	0.989	20.362	0.055	6.842		0.569	2.648	0.043	5.174	11.331	5.666	2.137	9.327	1.017
	DP	0.340	13.257	0.023	4.135	< LD	8.245	4.948	0.169	7.408	3.439	4.310	1.631	3.083	0.217
	Máx	1.577	49.264	0.077	12.644		28.195	18.342	0.602	21.637	19.027	16.014	6.339	13.008	1.423
P11 <sup>U</sup>	Mín	0.485	2.074	0.002	0.262		0.005	0.138	0.001	0.425	4.984	2.008	0.986	4.183	0.727
	Média	0.516	4.682	0.009	0.440		0.095	0.095	0.002	0.021	2.844	0.002	0.756	2.330	0.214
	Mediana	0.504	4.685	0.004	0.343		0.072	0.072	0.002	0.011	3.040	0.002	0.822	2.300	0.204
	DP	0.254	1.168	0.014	0.448	< LD		0.078	0.002	0.025	1.090	0.001	0.221	0.800	0.072
P12 <sup>U</sup>	Máx	0.874	6.368	0.044	1.775		0.280	0.007	0.007	0.078	4.389	0.003	1.013	3.342	0.312
	Mín	0.244	2.464	0.001	0.032		0.003	0.001	0.001	0.002	1.564	0.001	0.340	0.846	0.098
	Média	0.888	43.628	0.093	10.293		7.393	3.855	0.086	20.866	11.139	6.740	2.492	10.444	1.003
	Mediana	0.663	34.105	0.072	8.441		4.550	2.543	0.054	18.435	9.207	5.158	1.565	10.279	0.909
P13 <sup>N</sup>	DP	0.461	32.894	0.060	6.883	< LD	10.165	4.402	0.109	13.937	6.230	4.464	1.726	3.073	0.287
	Máx	1.533	93.476	0.204	24.441		36.564	16.857	0.347	46.375	21.241	15.896	6.770	15.987	1.625
	Mín	0.409	0.512	0.021	3.389		0.486	0.782	0.001	5.856	5.217	2.123	0.995	3.932	0.710
	Média	0.037	2.678	0.004	0.141		0.012	0.012	0.002	0.017	0.281	0.002	0.105	3.487	0.426
P14 <sup>N</sup>	Mediana	0.032	2.501	0.002	0.084		0.010	0.010	0.002	0.007	0.199	0.002	0.061	3.596	0.410
	DP	0.020	1.204	0.007	0.141	< LD		0.012	0.001	0.024	0.181	0.001	0.145	1.285	0.086
	Máx	0.069	6.198	0.025	0.426		0.042	0.004	0.004	0.067	0.598	0.003	0.498	5.173	0.611
	Mín	0.009	1.513	0.001	0.016		0.001	0.001	0.001	0.001	0.076	0.001	0.002	1.856	0.321
P15 <sup>N</sup>	Média	0.144	13.909	0.010	0.573		0.202	0.002	0.002	0.425	1.270	0.002	0.380	5.536	0.487
	Mediana	0.148	12.676	0.003	0.565		0.169	0.002	0.002	0.391	1.273	0.002	0.407	5.040	0.472
	DP	0.025	5.869	0.013	0.174	< LD	0.172	0.001	0.001	0.185	0.147	0.001	0.185	1.972	0.126
	Máx	0.179	24.254	0.035	0.940		0.616	0.003	0.003	0.760	1.653	0.004	0.771	10.158	0.711
P16 <sup>N</sup>	Mín	0.097	6.429	0.001	0.305		0.011	0.001	0.001	0.127	1.065	0.001	0.024	3.303	0.314
	Média	0.068	122.73	0.100	1.257		0.181	0.181	0.003	0.237	1.391	0.002	4.498	17.997	9.653
	Mediana	0.068	122.78	0.099	1.252		0.198	0.198	0.002	0.238	1.366	0.002	4.291	16.324	9.362
	DP	0.023	28.248	0.018	0.409	< LD	0.090	0.090	0.001	0.057	0.430	0.001	1.398	4.804	2.238
P17 <sup>N</sup>	Máx	0.101	167.62	0.130	2.141		0.321	0.321	0.004	0.341	2.025	0.003	7.108	27.187	13.611
	Mín	0.031	82.838	0.073	0.649		0.002	0.001	0.001	0.162	0.760	0.001	2.969	12.396	6.115
	Média	0.076	128.04	0.101	1.007		0.137	0.137	0.002	0.315	1.583	0.002	5.312	18.997	9.795
	Mediana	0.079	123.72	0.101	0.971		0.133	0.133	0.002	0.308	1.548	0.002	5.310	17.096	9.054
P18 <sup>N</sup>	DP	0.015	28.276	0.021	0.200	< LD	0.079	0.079	0.002	0.096	0.176	0.001	1.605	5.995	1.971
	Máx	0.099	170.31	0.134	1.562		0.246	0.246	0.006	0.467	1.889	0.004	7.981	29.415	13.522
	Mín	0.051	79.983	0.072	0.733		0.003	0.003	0.001	0.165	1.321	0.001	2.735	11.564	7.251
	Média	0.632	18.373	0.007	1.951		0.389	0.389	0.002	0.641	6.560	0.003	1.830	6.028	1.210
P18 <sup>N</sup>	Mediana	0.558	12.359	0.003	1.100		0.406	0.406	0.002	0.228	5.549	0.003	0.399	4.481	0.986
	DP	0.519	24.466	0.009	3.316	< LD	0.326	0.326	0.001	1.405	6.031	0.001	3.542	6.785	1.035
	Máx	2.063	95.209	0.030	12.320		1.036	1.036	0.005	5.075	20.442	0.004	11.637	26.426	4.084
	Mín	0.127	3.160	0.001	0.239		0.028	0.028	0.001	0.001	0.611	0.001	0.020	1.280	0.116
P18 <sup>N</sup>	Média	0.350	105.56	0.086	2.126		0.957	0.957	0.002	2.384	6.675	0.002	3.749	20.323	4.706
	Mediana	0.348	111.30	0.088	2.057		0.919	0.919	0.002	2.279	7.075	0.002	4.044	20.940	4.965
	DP	0.032	14.99	0.018	0.403	< LD	0.210	0.210	0.001	0.892	1.142	0.001	1.393	6.448	0.963
	Máx	0.397	122.68	0.111	2.765		1.442	1.442	0.004	3.717	8.147	0.003	5.480	31.355	6.090
Mín	0.284	74.932	0.055	1.331		0.705	0.705	0.001	0.916	4.998	0.001	1.858	11.578	3.068	

### 3.2. Análise Estatística Multivariada

#### 3.2.1 Análise de Agrupamento Hierárquico (AAH)

A AAH foi aplicada à matriz de dados incluindo os 18 pontos amostrais e 29 variáveis. A variável Br foi retirada da análise por apresentar valores abaixo do limite de detecção em todos os meses analisados para todos os pontos (Tabelas 4 e 6). A escolha do número de clusters foi realizada pelo método estatístico de lacunas (*Gap statistic method*), que utiliza a saída de qualquer algoritmo do agrupamento hierárquico, comparando a mudança na dispersão dentro do cluster com a esperada, sob uma distribuição nula de referência apropriada (Tibshirani et al., 2001) (Figura 2a). A partir daí, foi obtido um dendrograma que reuniu os 18 pontos amostrais em quatro agrupamentos estatisticamente significativos (Figura 2b). Os agrupamentos gerados possuem características e tipos de fontes semelhantes.



**Figura 2.** (2a) Número ótimo de clusters pelo método *Gap statistic*. (2b) Dendrograma apresentando semelhanças entre os pontos amostrais.

No primeiro agrupamento do Cluster 1 (P1, P3, P5, P9 e P13) estão os pontos considerados mais preservados, incluindo nascentes de UHs com uso/cobertura rural, urbana e natural. As nascentes do Rio Jardim (P1) e Buriti Vermelho (P3) pertencem à bacia do Rio Preto, região com forte atividade agrícola do DF. Apesar da intensa atividade na região, as amostras desses pontos possuem características semelhantes, como baixa concentração de íons (Muniz et al., 2011).

As nascentes do Córrego Chapadinha (P5) e Ribeirão Sobradinho (P9) pertencem à Bacia do Rio São Bartolomeu, a primeira inserida em UH-RURAL e a segunda em UH-URBANA. Apesar de inserida em área urbana, a nascente do Ribeirão Sobradinho encontra-se em Área de Preservação Permanente (APP). A nascente do Córrego Taquara (P13), por sua vez, pertence à Bacia do Ribeirão do Gama e está inserida em uma Reserva Ecológica.

Os Pontos P2, P4, P6, P7, P8, P11 e P14 compõem o segundo agrupamento (Cluster 2). Os pontos P2, P4, P6 e P8 pontos de amostragem pertencem à UHs com influência antrópica rural e intensa atividade agrícola nas proximidades. Os demais pontos do Cluster 2 (P7, P11 e P14) possuem similaridades apesar de ser composto por nascente inserida em UH-RURAL (Córrego Cabeceira Comprida P7) e UH-URBANA (Córrego Tamanduá P11) e um ponto com influência antrópica em UH-NATURAL (Córrego Taquara P14).

No Cluster 3 estão agrupados os pontos P15 e P16 (ambos no Córrego do Ouro) e os pontos P17 e P18 (nascente e ponto com influência antrópica no Ribeirão da Contagem). Os pontos pertencentes ao cluster estão inseridos na bacia do Rio Maranhão e possuem características hidrogeológicas semelhantes, não havendo diferenciação entre a nascente e o ponto com influência antrópica. Nessa região ocorrem as maiores concentrações de minerais e jazidas do DF (Lima et al., 2006), evidenciados nos altos teores de íons ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ) e pH, dureza total, alcalinidade total e carbono total acima da média em relação aos outros pontos (Tabela 4).

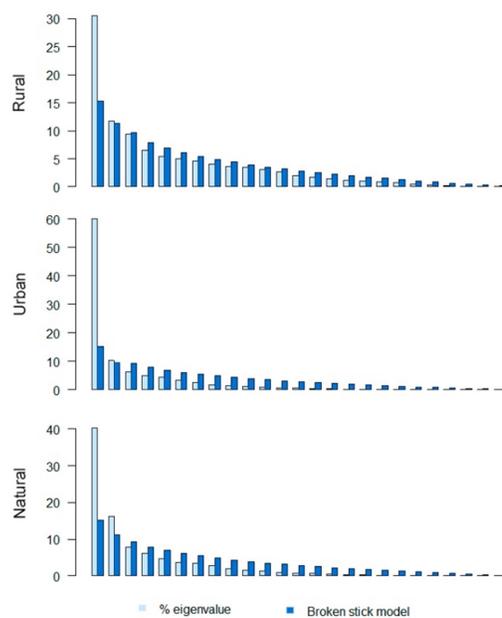
Já o Cluster 4 corresponde aos pontos P10 (ponto com influência antrópica no Ribeirão Sobradinho) e P12 (ponto com influência antrópica no Rio Ponte Alta). Os dois pontos estão inseridos em UHs com uso do solo urbano e ambos recebem efluentes de Estações de Tratamento de Esgotos - ETE de três importantes cidades do DF (Muniz et al., 2011). Esses pontos apresentaram baixos valores de oxigênio dissolvido, altos valores de  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ , fósforo total, nitrogênio total, demanda bioquímica de oxigênio e *Escherichia coli*, em todos os meses amostrados (Tabela 4).

### 3.2.2. Análise das Componentes Principais (ACP) e Análise Fatorial Exploratória (AFE)

A ACP foi aplicada às matrizes de dados separadamente, de acordo com o uso do solo das UHs. incluindo 27 variáveis. O valor do índice KMO foi de 0,708 para matriz de dados UH-RURAL,

0,744 para UH-URBANA e 0,792 para UH-NATURAL. Para todos os conjuntos de dados o valor de  $p$  no teste de esfericidade de *Bartlett* foi considerado significativo ( $p < 0,000$ ), evidenciando adequação para aplicação da ACP.

A determinação do número de Componentes Principais (CP) interpretadas foi realizada por meio do modelo *broken-stick*. Este método seleciona com maior exatidão o número apropriado de PCs em relação a métodos de regra comum (i.e. autovalores  $> 1$ ) e é normalmente mais robusto que métodos estatisticamente derivados (Olsen et al., 2012; Sergeant et al., 2016). A Figura 3 apresenta o gráfico do autovalor e do modelo *broken-stick* para cada componente das três diferentes matrizes. Como pode ser observado na figura as duas primeiras CPs foram selecionadas para as três matrizes de dados.



**Figura 3.** Gráficos dos autovalores e do modelo *broken-stick* para cada componente principal.

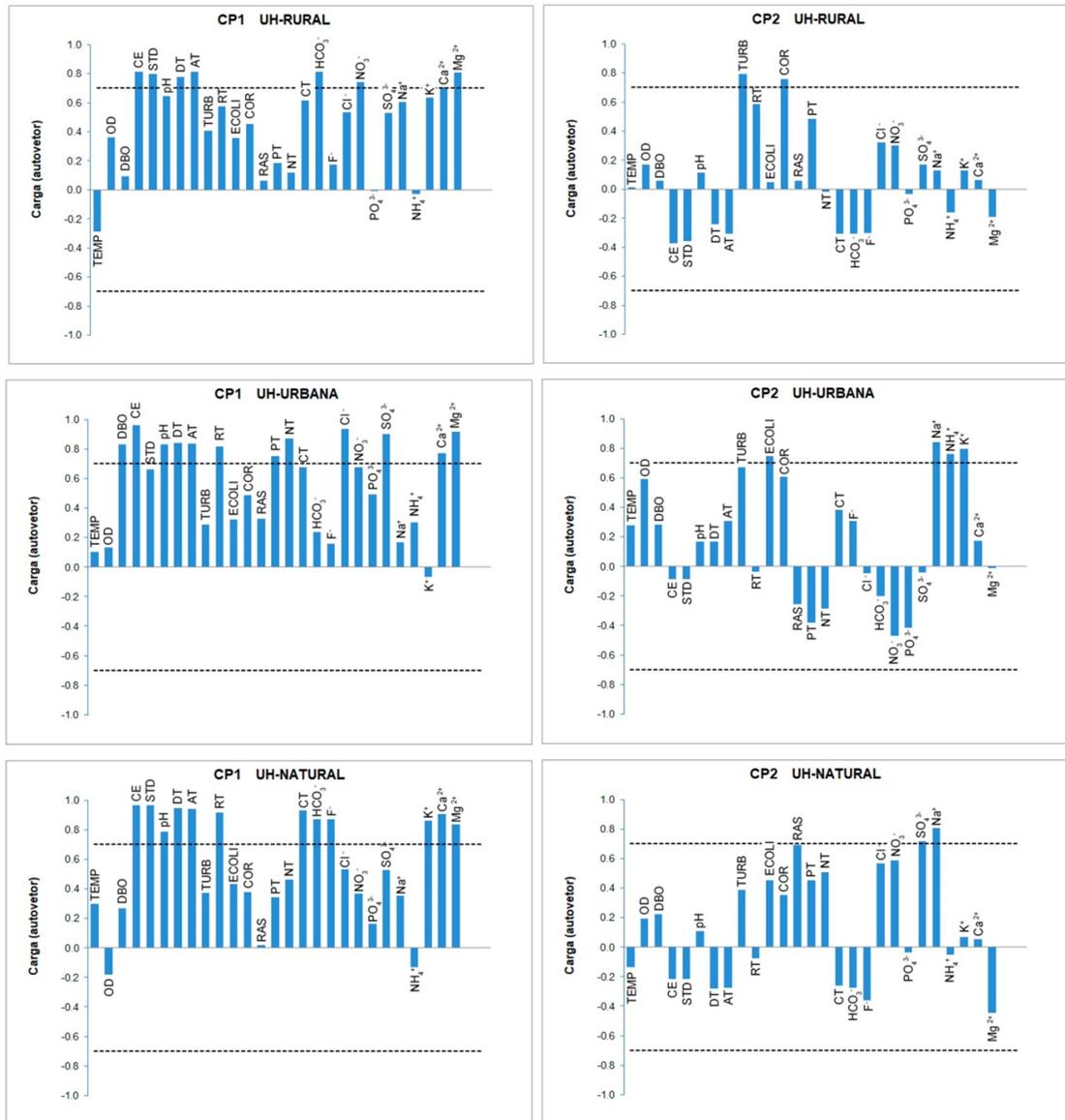
As cargas das duas primeiras CPs retidas para cada matriz de dados (rural, urbana e natural) são apresentadas na Figura 4. As cargas das componentes principais podem ser utilizadas para determinar a importância relativa de uma variável de qualidade da água em comparação com outras variáveis da CP, não refletindo a importância da própria componente (Ouyang et al., 2006).

Para a UH-RURAL, a componente principal 1 (CP1) explicou 48,8% da variância total e foi positivamente formada por variáveis físicas, minerais e nutrientes inorgânicos (CE, STD, DT, AT,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ ) que apresentaram cargas superiores a 0,7. Isso indica que essas variáveis são as mais representativas na definição da qualidade da água dos corpos hídricos analisados. Variáveis com cargas superiores a  $\pm 0,70$  são as que contribuem apropriadamente para a variação dos dados (Gvozdić *et al.*, 2011).

A CP2 explicou 10,6% da variância total com variáveis físicas relacionadas à carga de substâncias dissolvidas na água (TURB e COR). Para essas duas componentes as variáveis de qualidade de água relacionadas às características físicas e inorgânicas predominam em relação às propriedades orgânicas e biológicas das amostras. Essas duas componentes explicaram 59,4% da variação total dos dados. Em estudos que aplicam a ACP na avaliação da qualidade da água, as duas ou três primeiras componentes principais geradas explicam boa parte da variação dos dados originais (50 a 80%), sem perda significativa de informação (Simeonov *et al.*, 2003).

Na UH-URBANA, a variação total explicada para CP1 foi de 52,7%. Nessa primeira componente, as variáveis que mais contribuíram para a explicação total incluíram DBO, PT e NT (como contribuintes orgânicos) e CE, pH, DT, AT, RT, Cl<sup>-</sup> e  $\text{SO}_4^{2-}$  (como variáveis físicas e químicas relacionadas às características minerais e acidez da água). Para a CP2, que explicou 14,2% da variação total, ECOLI,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$  e  $\text{K}^+$  foram as variáveis que contribuíram para a componente, todas positivamente (Figura 4).

A CP1 da UH-NATURAL explicou 43,5% da variância total de dados com as variáveis físicas, minerais e nutrientes inorgânicos responsáveis pela contribuição nessa componente (CE, STD, pH, DT, AT, RT, CT,  $\text{HCO}_3^-$ , F<sup>-</sup>,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ ). Como pode ser visto na Figura 4, para a CP2 dessa UH (variância total explicada de 15,2%), as variáveis que mais contribuíram foram  $\text{Na}^+$  e  $\text{SO}_4^{2-}$ . As duas componentes juntas explicaram 58,7% da variação dos dados.



**Figura 4.** Cargas das duas primeiras componentes principais para as três matrizes de dados.

Esses resultados mostram que as variáveis que influenciam a qualidade da água de um grupo de corpos d'água (UHs) podem não ser importantes para outros grupos. As cargas das duas primeiras componentes, para as três matrizes, revelam ainda que variáveis como TEMP, OD e RAS foram menos importantes na variação geral da qualidade da água, com autovetores baixos para essas três variáveis (<0,6).

Como pode ser visto na Figura 4, as CP1 e CP2 para todas as matrizes foram influenciadas (positivamente) por um grande número de variáveis, dificultando a interpretação de quais variáveis são mais importantes na variação geral da qualidade da água para um determinado uso ou cobertura do solo. Assim, a Análise Fatorial Exploratória (AFE) foi aplicada com o intuito a importância relativa das variáveis de qualidade da água.

A Tabela 8 apresenta os coeficientes de correlação rotacionados na AFE para os três primeiros fatores, em cada matriz de dados. Os três fatores responderam por 84,3%, 88,7% e 89,1% das variações totais na UH-RURAL, UH-URBANA e UH-NATURAL, respectivamente. Fatores rotacionados com carga acima de 0,75 são considerados fortes, cargas entre 0,75 e 0,5 moderadas e cargas entre 0,5 e 0,3 são consideradas fracas (Shrestha e Kazama, 2007). Neste estudo, apenas as variáveis com cargas dos fatores consideradas fortes ( $> 0,75$ ) foram consideradas relevantes, contribuindo para as variações sazonais da qualidade da água em cada grupo.

**Tabela 8.** Variáveis de qualidade da água mais importantes para cada grupo de uso ou cobertura do solo.

Grupo	Fator	Principais Variáveis	Cargas*
UH-RURAL	F1	DT	0.796
		AT	0.821
		HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.952
		NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.909
	F2	TURB	0.856
	F3	RAS	0.883
UHURBANA	F1	CE	0.834
		PT	0.820
		NT	0.925
		NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0.912
	F2	RT	0.903
		ECOLI	0.738
F3	DBO	0.761	
UH-NATURAL	F1	CE	0.954
		STD	0.886
		DT	0.976
		CT	0.946
	F2	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.961
		Ca <sup>2+</sup>	0.798
		Mg <sup>2+</sup>	0.940
F3	F <sup>-</sup>	0.816	

\* Somente variáveis com cargas  $> 0,75$

As variáveis-chave para a UH-RURAL, nos três primeiros fatores rotacionados, foram DT, AT,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ , TURB e RAS. Essas variáveis são importantes quando o uso da água é direcionado à irrigação. A dureza da água diz respeito à presença de metais alcalino-terrosos, principalmente  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ , que são os principais encontrados em águas naturais (Muniz et al., 2020). Uma água muito dura ( $>180,0$  mg/L de  $\text{CaCO}_3$ ) pode afetar sua adequação para determinadas técnicas como aspersão ou gotejamento (Rawat et al., 2018; Malakar et al., 2019). A alta dureza da água também pode ser limitante para a fertirrigação, onde valores acima de 100 mg/L de cálcio e 43 mg/L de magnésio aumentam o risco de precipitação de fertilizantes fosfatados no interior das tubulações (Kafkafi e Tarchitzky, 2011). Nos pontos P1 a P8 (UH-RURAL) os valores de DT variaram de 1,38 mg/L (P3) a 18,8 mg/L (P8). Cálcio variou de 0,078 mg/L (P1) a 5,992 mg/L (P2) e magnésio teve mínima de 0,005 mg/L (P1) e máxima de 1,421 (P2) (Tabelas 4 e 5).

AT e  $\text{HCO}_3^-$  são variáveis igualmente importantes para avaliação da qualidade da água para irrigação. A alcalinidade total de uma água é a soma de todas as bases tituláveis, em especial carbonato e bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ). Águas ricas em bicarbonatos tendem a precipitar carbonato de cálcio e carbonato de magnésio, quando a solução do solo se concentra por evapotranspiração, aumentando a sodicidade do solo e consequentemente a RAS. Teores acima de 518 mg/L de  $\text{HCO}_3^-$  na água pode causar danos a culturas suscetíveis (Ayers e Wetcost, 1999; Zaman et al., 2018). Neste estudo AT, para os pontos da UH-RURAL, o valor máximo foi de 16,52 mg/L de  $\text{CaCO}_3$  no P2 e mínimo de 1,28 mg/L de  $\text{CaCO}_3$  no P1. Já para  $\text{HCO}_3^-$  máxima de 20,15 mg/L também no P2 e mínima de 1,562 mg/L no P1 (Tabelas 4 e 5).

A RAS é uma importante variável para na avaliação da qualidade da água para irrigação. Trata-se de uma razão relativa do íon  $\text{Na}^+$  para íons  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ . É utilizada para estimar o potencial do  $\text{Na}^+$  se acumular no solo principalmente em detrimento do  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{K}^+$  como resultado do uso regular de uma água com alta concentração de sódio. Valores altos de RAS ( $>26$  meq/L) podem influenciar o tempo de percolação da água no solo, levando a uma diminuição da taxa de infiltração devido à dispersão e desagregação da estrutura do solo (Aboukarima et al., 2018; Rawat et al., 2018; Sattari et

al., 2020). Para os pontos da UH-RURAL os valores médios mais elevados de RAS foram encontrados no P2 - 3,378 meq/L e P8 - 3,462 meq/L. (Tabela 4)

O  $\text{NO}_3^-$ , por sua vez, é um dos poluentes mais comuns encontrados em águas superficiais e subterrâneas, advindo de fontes pontuais e não pontuais. Algumas fontes não pontuais incluem atividades agrícolas como aplicação de fertilizantes e estrume, culturas leguminosas e irrigação com águas subterrâneas contendo compostos nitrogenados (Esmaeili et al., 2014; Zhang et al., 2021). O excesso de  $\text{NO}_3^-$  na água de irrigação pode afetar culturas sensíveis em concentrações acima de 5 mg/L. A maioria das outras culturas é relativamente pouco afetada até 30 mg/L de nitrato (Simsek e Gunduz, 2007). O teor máximo de  $\text{NO}_3^-$  foi encontrado no P4 0,962 mg/L e o mínimo no P8 0,001 mg/L (Tabela 6).

Para a UH-URBANA as variáveis de maior importância, com cargas rotacionadas acima de 0,75 foram CE, PT, NT,  $\text{NH}_4^+$ , RT, ECOLI e DBO. Essas variáveis são importantes indicadores para os corpos d'água no meio urbano, uma vez que podem indicar contaminação, por exemplo, por efluentes de esgotos domésticos. A condutividade elétrica (CE) é bastante útil como uma medida geral da qualidade da água. Mudanças significativas na condutividade podem ser um indicador de que uma descarga ou alguma outra fonte de poluição atingiu um determinado corpo hídrico, especialmente os de água doce (Sousa et al., 2014; Rusydi, 2017). A CE máxima para os pontos da UH-URBANA foi de 448  $\mu\text{S}/\text{cm}$  no P12 (Tabela 7).

A demanda bioquímica de oxigênio (DBO) é a quantidade de oxigênio dissolvido necessária para decompor o material orgânico presente na amostra de água, por organismos biológicos aeróbicos, em um determinado tempo a certa temperatura (Li e Liu, 2019). Valores altos de DBO num corpo hídrico são geralmente causados pelo lançamento de cargas orgânicas, principalmente efluentes de esgotos domésticos e estão associados à diminuição do oxigênio dissolvido na água, o que pode acarretar a mortalidade de organismos aquáticos (APHA, 2018). O ponto P12 apresentou máxima de 6,42 mg/L, conforme pode ser visto na Tabela 7. Valores de DBO podem variar significativamente; de modo geral, águas doces não poluídas apresentam um valor abaixo de 1 mg/L, águas moderadamente poluídas de 2 a 8 mg/L e efluente doméstico tratado 20 mg/L (Wilhelm, 2009).

Resíduo total (RT) representa a soma de sólidos dissolvidos e sólidos suspensos na água, incluindo partículas coloidais. A análise de RT em amostras superficiais urbanas é um importante indicativo de poluição por esgotos domésticos ou outras fontes pontuais (APHA. 2018). Altos níveis de RT podem afetar a qualidade estética da água, sobretudo para o consumo humano e também podem reduzir a eficiência das estações de tratamento de efluentes (Serajuddin et al., 2019). Os teores mais altos de RT neste estudo foram encontrados na UH-URBANA para o P12 com máxima de 450,9 mg/L (Tabela 7).

Os compostos de fósforo (P) e nitrogênio (N) são essenciais para os processos que ocorrem no ambiente aquático. Contudo, em quantidades excessivas representam uma fonte significativa de poluição da água (Shen et al., 2020). O P é um nutriente primário limitante do crescimento de algas e fitoplânctons em muitos corpos de água doce, e sua fonte pode ser tanto de origem antrópica (efluentes domésticos e fertilizantes) quanto natural (precipitação ou materiais geológicos) (Abu-Hmeidan et al., 2018). O N total é a soma de todas as formas de nitrogênio presentes na água (orgânico, amoniacal, nitrito e nitrato).

Níveis elevados de N e P dos corpos hídricos causam desequilíbrio de nutrientes, induz a eutrofização trazendo condições anóxicas pra água (Kakade et al., 2022). Tanto PT quanto NT foram variáveis-chave na análise fatorial deste estudo, juntamente com  $\text{NH}_4^+$ . Os valores máximos de PT e NT foram encontrados nos pontos com influência urbana (UH-URBANA), 0,282 mg/L PT e 41,40 mg/L NT para o P12; e 16,01 mg/L de  $\text{NH}_4^+$  no P10, ambos pontos receptores de efluentes de Estações de Tratamento de Esgotos.

A bactéria do grupo coliforme, *Escherichia coli* (ECOLI) é um importante indicador de poluição fecal em corpos de água doce, sobretudo nos ambientes urbanos, sendo considerada uma análise simples e econômica em comparação com outros patógenos (Wen et al., 2020; Ma et al., 2022). As concentrações máximas de ECOLI detectadas pelo método dos substratos enzimáticos nesse estudo foram para P12 - 48.392 NMP/100 mL e P10 - 12.200 NMP/100 mL.

Os pontos de coleta da área sob cobertura do solo majoritariamente natural (UH-NATURAL) estão localizados na Reserva Ecológica (RECOR) do IBGE, centro-sul do DF e na Área de Proteção Ambiental (APA) da Cafuringa, no extremo norte do DF. Essas duas regiões são caracterizada pelas

extensas áreas de vegetação preservada do bioma Cerrado (Silva et al., 2008; Nunes et al., 2012 ). As variáveis-chaves de maior interesse para o grupo foram CE, STD, DT, CT,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ . Essas variáveis estão intimamente ligadas às características geológicas naturais dessas regiões, uma vez que há pouca ou nenhuma influência antrópica nos pontos de coleta das amostras. Os Pontos P15, P16, P17 e P18 estão localizados em uma região caracterizada pela presença de Cambissolo, originadas de rochas predominantemente calcárias (Ferreira et al., 2017).

No grupo UH-NATURAL, o ponto P16 (Ponto com influência antrópica no Córrego do Ouro) apresentou os teores máximos para CE (251  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), STD (120,5 mg/L), DT (140,51 mg/L  $\text{CaCO}_3$ ), CT (32,514 mg/L) e  $\text{HCO}_3^+$  (170,31 mg/L ). P18 apresentou (Ponto com influência antrópica Ribeirão da Contagem) máxima de  $\text{Ca}^{2+}$  (31,355 mg/L) e P15 (Nascente do Córrego do Ouro) máxima de  $\text{Mg}^{2+}$  (13,611 mg/L) (Tabelas 6 e 7).

### 3.3. Índices de Qualidade da Água

#### 3.3.1. Índice de Qualidade da Água para abastecimento ( $\text{IQA}_{\text{CETESB}}$ )

O  $\text{IQA}_{\text{CETESB}}$  classificou as amostras do P10 e P12 como “REGULAR” e o restante dos pontos amostrados como “BOA” (Figura 5). Como evidenciado na HCA, os pontos P10 (ponto com influência antrópica no Ribeirão Sobradinho) e P12 (ponto com influência antrópica no Rio Ponte Alta), possuem características semelhantes, sendo ambos receptores de efluentes de esgotos de três regiões administrativas com uma população estimada de 275.778 habitantes (CODEPLAN, 2018a).

O índice aplicado leva em consideração a contaminação dos corpos d'água causada pelo lançamento de esgoto doméstico e as variáveis utilizadas no  $\text{IQA}_{\text{CETESB}}$  estão relacionadas à avaliação da qualidade da água superficial bruta para fins de abastecimento público, após tratamento convencional (Abbasi e Abbasi, 2012; CETESB, 2017). Isto significa que as amostras dos pontos P10 e P12 são consideradas inseguras para consumo humano. Já os pontos P9 (Nascente do Ribeirão Sobradinho) e P11 (Nascente do Córrego Tamanduá), ambos em UHs Urbanas foram classificados como “BOA”, com a necessidade de um pré-tratamento para que possa ser utilizada no consumo humano.

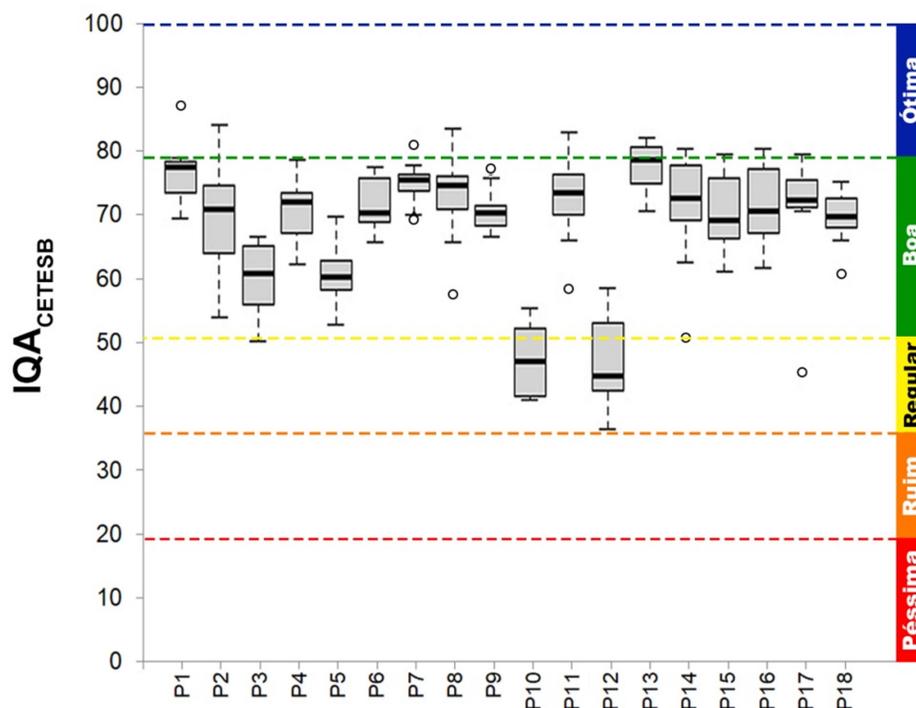


Figura 5. Boxplot  $IQA_{CETESB}$  dos 18 pontos de coleta.

O DF e a região metropolitana de Brasília possuem aproximadamente 97% da população habitando a zona urbana, quase três milhões de pessoas (IBGE, 2021). No DF, 99% da população é atendida pela rede regular de abastecimento de água. Cerca de 870 mil domicílios são atendidos por cinco sistemas principais de abastecimento, entre reservatórios, rios e poços subterrâneos, com capacidade de produção de mais de 11.000 litros de água por segundo (Lima e Silva, 2020).

Apesar dos altos níveis de cobertura da rede de abastecimento de água urbano, a crise hídrica ocorrida entre os anos de 2016 e 2018 elevou o alerta dos gestores sobre conflitos pelo uso e pela busca de novas fontes de água em quantidade e qualidade suficientes para abastecer a população existente em longo prazo (Lima et al., 2018). Nesse contexto, o monitoramento e a geração de dados de qualidade de água são essenciais, uma vez que ajudam os gestores de recursos hídricos com informações sobre problemas poluição e no levantamento fontes de água promissoras.

Os pontos P1 (Nascente do Córrego Várzea do Buracão), P7 (Nascente do Córrego Cabeceira Comprida) e P13 (Nascente do Córrego Taquara), apresentaram as maiores medianas durante o

período analisado (n=12). Esses três pontos têm em comum o fato de serem nascentes localizadas em áreas consideradas preservadas, mesmo com uso do solo predominantemente rural no caso de P1 e P7.

Os pontos P1, P7 e P5 (Nascente do Córrego Chapadinha) estão localizados em nascentes de UH-RURAL. As amostras de água desses pontos foram classificadas como “BOA”, assim como P2, P6 e P8 (pontos com influência antrópica em UH-RURAL), evidenciando que a água desses seis pontos pode ser utilizada para fins de abastecimento rural (após tratamento) das comunidades localizadas próximo aos corpos hídricos.

O DF, a exemplo da grande maioria dos municípios brasileiros, possui a maior parte da população concentrada nas áreas urbanas. De acordo com o último censo agropecuário, a população da área rural do DF era de 87.950 habitantes, representando 3,42% da população total com densidade demográfica da população rural de 18,84 hab/km<sup>2</sup>, valor baixo quando calculado em relação à totalidade da área (IBGE, 2021). O baixo adensamento populacional da área rural dificulta as soluções coletivas de abastecimento de água. Existem atualmente 61 sistemas independentes de abastecimento rurais operados pela Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (CAESB), em pequenas localidades mais adensadas, correspondendo a um atendimento de cerca de 15% da população rural dessas áreas (GDF, 2017).

O percentual não atendido pela Companhia utiliza fontes individuais (poços e captação direta de água superficial) para abastecimento, os quais possuem baixo ou nenhum controle de qualidade da água feito pela Vigilância Sanitária. A grande extensão da área rural, a baixa densidade demográfica e a grande distância entre as unidades operacionais da Companhia de Saneamento elevam o custo operacional do abastecimento pela rede geral, o que dificulta sua expansão (GDF, 2017; Lima e Silva, 2020).

Dos pontos localizados em UH-NATURAL, P13 e P14 apresentaram medianas maiores, comparadas aos outros pontos da mesma UH. Esses dois pontos estão localizados na RECOR IBGE, área protegida conhecida como Unidade de Conservação com 1.300 ha designada como área de conservação em 1975 (Silva et al., 2008).

Os pontos P15, P16, P17 e P18 estão localizados em UHs inseridas na Bacia Hidrográfica do Rio Maranhão, e compartilham características de qualidade da água semelhantes, como visto na AAH

(Fig 2). Essa região, localizada na porção norte do DF podendo ser promissoras fontes de abastecimento de água para a população localizada na porção norte do DF.

#### 4.3.2. Índice de Qualidade da Água para Irrigação ( $IQAI_{DF}$ )

O  $IQAI_{DF}$  foi desenvolvido para avaliar a qualidade da água para fins de irrigação no DF. Segundo a classificação pelo índice, as amostras do P1, P2, P5, P6, P7, P8, P9, P11, P13 e P14 foram classificadas como “BOAS”. Já os pontos P3, P4, P10, P12, P15, P16, P17 e P18 foram classificados como “REGULAR” (Figura 6).

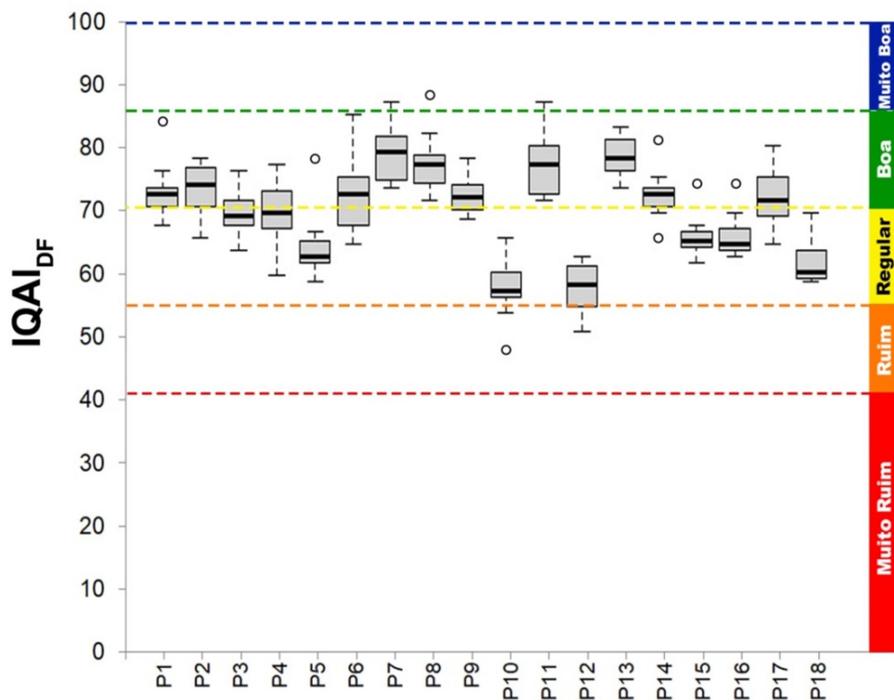


Figura 6. Boxplot  $IQAI_{DF}$  dos 18 pontos de coleta.

No DF, A agricultura é uma importante atividade econômica, sendo que agricultura irrigada foi o setor que mais apresentou aumento da demanda no consumo de água na região, devido ao grande investimento da iniciativa privada e, com a incorporação de novas áreas com aptidão para a irrigação (Lima et al., 2017).

Essa agricultura é caracterizada com áreas para grandes culturas, hortaliças e frutas. Os mais de 20 mil empreendimentos agropecuários produzem flores, grãos, hortaliças e frutas, tendo

produzido mais de 700 mil toneladas de grãos em 2021. O cultivo de hortaliças chegou a mais de 200 mil toneladas e o de frutíferas, mais de 30 mil toneladas (CONAB, 2022; EMATER-DF, 2022). É importante ressaltar que a agricultura local é desenvolvida em pequenas áreas, dada à dimensão territorial do DF e qualquer fator que atinja as áreas de cultivo, como efeito climático ou conflitos por escassez de água gera grande impacto no índice do setor agropecuário (CODEPLAN, 2021).

O Brasil está entre os dez Países com a maior área equipada para irrigação do mundo (Borghetti et al., 2017). No DF, a utilização dos equipamentos para irrigação teve início em 1986, com forte expansão entre os anos de 1988 a 1997, com cerca de 12 mil hectares em 2012, 14 mil hectares em 2015 e atualmente o DF possui 34 mil hectares de área irrigada (ANA, 2012; Lima et al., 2017; ADASA, 2020).

O tipo de irrigação predominante no DF é o de pivôs centrais concentrados principalmente em uma pequena faixa a Leste de seu território. Essa faixa, onde estão concentrados os pivôs corresponde a aproximadamente um quarto da área do DF e é a região onde se concentra a quase totalidade da produção de grãos. Os principais produtos cultivados nas áreas irrigadas por pivô central no DF são feijão, milho, trigo, hortaliças e café (ANA, 2016; Lima et al., 2017).

Na parte Leste do território do DF, encontram-se as UHs com o maior número de propriedades rurais e equipamentos que captam e distribuem a água para a irrigação (Lima et al., 2017). Na bacia hidrográfica do Rio Preto, por exemplo, a distribuição das áreas irrigadas assim como a demanda hídrica para cada sistema de irrigação indica um total de 7.546 L/s de demanda hídrica (Borghetti et al., 2017).

Os pontos P1, P2, P5 e P6, localizados em UH-RURAL na área leste do DF, apresentaram mediana do IQAI<sub>DF</sub> entre 71 e 85, sendo classificadas como “BOA”. Isto significa que a água pode ser utilizada para irrigação de grãos, cereais, arbóreas e forrageiras, porém seu uso deve ser evitado em vegetais que são consumidos crus e frutas que se desenvolvem perto do solo e que são consumidos crus sem remoção da casca. Já os pontos P3 e P4, também localizados em UH-RURAL na área leste foram classificados como “REGULAR”, (mediana entre 41 e 55) o que significa que sua utilização é inapropriada para irrigação de hortaliças e frutíferas em geral, além de culturas de grãos, cereais e forragens (Muniz et al., 2020).

Na região Oeste do DF, a bacia que contribui para irrigação é a bacia hidrográfica do Rio Descoberto. A distribuição das áreas irrigadas e a demanda hídrica para cada tipo de sistema de irrigação indicam para essa bacia uma estimativa para demanda hídrica de aproximadamente 2.462 L/s, para uma área de 2.052 ha. A principal UH que contribuem para a irrigação nessa área é do Ribeirão Rodeador (Borghetti et al., 2017). As amostras de água dos pontos P7 e P8 (UH-RURAL), localizados na nascente e ponto com influência antrópica no Ribeirão Rodeador, foram classificadas como “BOA” durante o período analisado, apresentando adequação para a irrigação das de grãos, cereais, arbóreas e forrageiras.

## 5. Conclusões

Neste estudo, utilizamos análise estatística multivariada e índices de qualidade da água como ferramentas na avaliação da qualidade da água - para abastecimento e irrigação - de um grande conjunto de dados. Esse conjunto incluiu 29 variáveis físicas, químicas e biológica, em 18 pontos de amostragem monitorados por 12 meses, sob diferentes usos e cobertura do solo (rural, urbano e natural). Através da AAH os pontos de amostragem foram agrupados em quatro *clusters* distintos, de acordo com as características semelhantes das amostras de água. Por meio da ACP e AFE foi possível reduzir o número de variáveis das matrizes de dados originais.

A ACP explicou 59,4%, 66,9% e 58,7% da variação total de dados para a UH-RURAL, UH-URBANA e UH-NATURAL, respectivamente. Por meio da AFE foi possível retirar as variáveis-chave para cada grupo de uso e cobertura do solo. Para UH-RURAL, as variáveis-chave foram DT, AT,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ , TURB e RAS. Essas variáveis são importantes parâmetros relacionados à qualidade da água para irrigação. Para UH-URBANA as variáveis de maior importância foram CE, PT, NT,  $\text{NH}_4^+$ , RT, ECOLI e DBO. Todas elas fortemente relacionadas ao lançamento de efluentes das estações de tratamento de esgoto dos pontos amostrados. Já na UH-NATURAL, as variáveis-chave foram relacionadas às características geológicas das regiões de coleta das amostras dos rios: CE, STD, DT, CT,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ .

O IQA<sub>CETESB</sub>, índice utilizado na avaliação para fins de abastecimento, classificou 16 dos 18 pontos amostrais como “BOA” (medianas entre 52 e 79), demonstrando sua adequação para o consumo humano após tratamento convencional. Exceção aos pontos que recebem efluentes de esgoto de grandes regiões metropolitanas, que foram classificados como “REGULAR” (medianas entre 37-51).

O IQAI<sub>DF</sub>, índice desenvolvido para avaliação da qualidade para a irrigação na região, classificou 10 pontos como “BOA” (medianas entre 71 e 85) e outros oito pontos de amostragem como “REGULAR” (medianas entre 56 e 70). Os locais em que as amostras de água foram consideradas “BOAS” apresentam qualidade da para irrigação de grãos, cereais, arbóreas e forrageiras, contudo deve ser evitada a irrigação em hortaliças que são consumidas cruas e frutas que se desenvolvem perto do solo e que são consumidos crus sem remoção da casca.

Os achados obtidos demonstram que as ferramentas utilizadas foram úteis na avaliação geral da qualidade da água, uma vez que se trata de um grande conjunto de dados, numa complexa área de estudo. Tais ferramentas visam subsidiar ações integradas de gestão dos recursos hídricos voltadas à mediação de conflitos pelo uso da água e segurança hídrica, com grande potencial na aplicação de programas de monitoramento da qualidade da água superficial no DF.

## Referências

- Abbasi, T.; Abbasi, S. A. (2012) Water quality indices. Elsevier, New York, USA, 362 p.
- Aboukarima, A. M., Al-Sulaiman, M.A., Marazky, M. S.A. El. (2018). Effect of sodium adsorption ratio and electric conductivity of the applied water on infiltration in a sandy-loam soil. *Water SA*, 44(1), 105-110. <https://dx.doi.org/10.4314/wsa.v44i1.12>
- Abu-Hmeidan, H.Y.; Williams, G.P.; Miller, A.W. (2018) Characterizing Total Phosphorus in Current and Geologic Utah Lake Sediments: Implications for Water Quality Management Issues. *Hydrology*, 5(1), 8. <https://doi.org/10.3390/hydrology5010008>
- ADASA - AGÊNCIA REGULADORA DE ÁGUAS, ENERGIA E SANEAMENTO BÁSICO DO DISTRITO FEDERAL (2012) PGIRH-DF - Plano de Gerenciamento Integrado dos Recursos Hídricos do Distrito Federal. Brasília, DF: ADASA, GDF, Ecoplan. [https://www.adasa.df.gov.br/images/storage/programas/PIRHFfinal/PGIRH\\_relatorio\\_sintese\\_versa\\_ofinal.pdf](https://www.adasa.df.gov.br/images/storage/programas/PIRHFfinal/PGIRH_relatorio_sintese_versa_ofinal.pdf)

- ADASA - AGÊNCIA REGULADORA DE ÁGUAS, ENERGIA E SANEAMENTO BÁSICO DO DISTRITO FEDERAL (2020). Mapa de áreas irrigadas para fins agrícolas no Distrito Federal em 2020. Brasília, DF: ADASA. Disponível em: <http://gis.adasa.df.gov.br/portal/home/>
- ADASA - AGÊNCIA REGULADORA DE ÁGUAS, ENERGIA E SANEAMENTO BÁSICO DO DISTRITO FEDERAL (2022) Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos – DF. Rede de Monitoramento da Qualidade das Águas Superficiais da ADASA. Índice de Qualidade da Água – IQA. Brasília, DF: ADASA. <http://gis.adasa.df.gov.br/portal/home/>
- ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (2016) Levantamento da Agricultura Irrigada por Pivôs Centrais no Brasil - 2014: relatório síntese / Agência Nacional de Águas - Brasília: ANA, 2016. <https://www.ana.gov.br/arquivos/institucional/sge/CEDOC/Catalogo/2016/LevantamentodaAgriculturaIrrigadaporPivosCentrais.pdf>
- ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (2021) Conjuntura dos Recursos Hídricos do Brasil 2021. Brasília, DF: Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico - ANA. <https://relatorio-conjuntura-ana-2021.webflow.io/>
- APHA - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (2018). Standard methods for the examination of water and wastewater (23rd ed.). Washington: American Public Health Association.
- Astel, A.; Biziuk, M.; Przyjazny, A.; Namieśnik, J. (2006) Chemometrics in monitoring spatial and temporal variations in drinking water quality. *Water Res.*, 40(8):1706-16. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2006.02.018>.
- ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (2016) Standard test method for total nitrogen, and Total Kjeldahl Nitrogen (TKN) by calculation, in water by high temperature catalytic combustion and chemiluminescence detection (ASTM D8083-16), ASTM International, West Conshohocken, PA. <https://doi.org/10.1520/D8083-16>.
- Ayers, R.S.; Westcot, D.W. (1999) Water quality for agriculture. Irrigation and Drainage paper No. 29. FAO: Rome.
- Azid, A.; Juahir, H.; Toriman, M.E., et al. (2014) Prediction of the Level of Air Pollution Using Principal Component Analysis and Artificial Neural Network Techniques: a Case Study in Malaysia. *Water Air Soil Pollut* 225: 2063. <https://doi.org/10.1007/s11270-014-2063-1>
- Barakat, A.; El Baghdadi, M.; Rais, J.; Aghezzaf, B.; Slassi, M. (2016) Assessment of spatial and seasonal water quality variation of Oum Er Rbia River (Morocco) using multivariate statistical techniques, *International Soil and Water Conservation Research*, 4(4): 284-292. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2016.11.002>.
- Barbosa Filho, J.; de Oliveira, I.B. (2021) Development of a groundwater quality index: GWQI, for the aquifers of the state of Bahia, Brazil using multivariable analyses. *Sci Rep.*, 13;11(1):16520. doi: 10.1038/s41598-021-95912-9.
- Borghetti, J.R.; Silva, W.L.C.; Nocko, H.R.; Loyola, L.N.; Chianca, G.K.. (2017). Agricultura Irrigada Sustentável no Brasil: Identificação de Áreas Prioritárias. Brasília: FAO, 243 p. <https://www.fao.org/3/i7251o/i7251o.pdf>

- Bouguerne, A.; Boudoukha, A.; Benkhaled, A.; Mebarkia A.-H. (2017) Assessment of surface water quality of Ain Zada dam (Algeria) using multivariate statistical techniques, *International Journal of River Basin Management*, 15(2): 133-143, <https://doi.org/10.1080/15715124.2016.1215325>
- Brown, R. M., McClelland, N. I., Deininger, R. A., & Tozer, R. G. (1970). A water quality index - do we dare? *Water & Sewage Works*, 117, 339–343.
- Castro, K.B.; Roig, H.L.; Neumann, M.R.B.; Rossi, M.S.; Seraphim, A.P.A.C.C.; Réquia-Júnior, W.J.; Costa, A.B.B.; Höfer, R. (2019) New perspectives in land use mapping based on urban morphology: A case study of the Federal District, Brazil. *Land Use Policy*, 87: 104032. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.104032>
- CETESB - COMPANHIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (2017) Qualidade das Águas Interiores no Estado de São Paulo. Apêndice D - Índices de Qualidade das Águas. <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2017/11/Ap%C3%AAndice-D-%C3%8Dndices-de-Qualidade-das-%C3%81guas.pdf>. 32p.
- Cicilinski, A.D.; Virgens-Filho, J. S. (2020) A new water quality index elaborated under the brazilian legislation perspective, *International Journal of River Basin Management*. <https://doi.org/10.1080/15715124.2020.1803335>
- CODEPLAN - COMPANHIA DE PLANEJAMENTO DO DISTRITO FEDERAL (2017) Mapeamento da cobertura do Distrito Federal: 1984 a 2017 - Relatório Síntese. Brasília, DF. <http://coberturadaterterra.codeplan.df.gov.br/>
- CODEPLAN - COMPANHIA DE PLANEJAMENTO DO DISTRITO FEDERAL (2018) Pesquisa Distrital por Amostra de Domicílios (PDAD). Brasília, DF: CODEPLAN. [https://www.codeplan.df.gov.br/wp-content/uploads/2020/06/Destaques\\_PDAD\\_revisado.pdf](https://www.codeplan.df.gov.br/wp-content/uploads/2020/06/Destaques_PDAD_revisado.pdf)
- CODEPLAN - COMPANHIA DE PLANEJAMENTO DO DISTRITO FEDERAL (2021) Índice de Desempenho Econômico do Distrito Federal Idecon/DF – 2º Trimestre de 2021. Disponível em: 71 p.
- CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (2022) Acompanhamento da safra brasileira de grãos – 9º levantamento, v. 1 (2013-2022) – Brasília: MAPA, CONAB. [https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/graos/boletim-da-safra-de-graos/item/download/42837\\_526b4c0d6f83ae8e34bb846683666d92](https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/graos/boletim-da-safra-de-graos/item/download/42837_526b4c0d6f83ae8e34bb846683666d92).
- Connor, R.; Coates, D. (2021) The state of water resources. In: *The United Nations World Water Development Report 2021: Valuing Water*. UNESCO, Paris, France, 2021, p. 11-16.
- Costa, D.A.; Azevedo, J.P.S.; dos Santos, M.A. *et al.* (2020) Water quality assessment based on multivariate statistics and water quality index of a strategic river in the Brazilian Atlantic Forest. *Sci Rep* 10, 22038. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-78563-0>
- Cunha, A.P.M.A.; Zeri, M.; Deusdará, L.K.; Costa, L.; Cuartas, L.A.; Marengo, J.A.; Tomasella, J.; Vieira, R.M.; Barbosa, A.A.; Cunningham, C.; Cal, G.J.V.; Broedel, E.; Alvalá, R.; Ribeiro-Neto G. (2019) Extreme Drought Events over Brazil from 2011 to 2019. *Atmosphere*, 10(11):642. <https://doi.org/10.3390/atmos10110642>

- Damania, R.; Desbureaux, S.; Rodella, A.-S.; Russ, J.; Zaveri, E. (2019). *Quality Unknown: The Invisible Water Crisis*. Washington, DC: World Bank.. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/32245>
- Dash, S.; Kalamdhad, A.S. (2021) Science mapping approach to critical reviewing of published literature on water quality indexing. *Ecol Indic*, 128, 107862. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107862>
- EMATER-DF – EMPRESA DE EXTENSÃO RURAL DO DISTRITO FEDERAL (2022) *Informações Agropecuárias do Distrito Federal 202*. Brasília: GDF, SEAGRI, EMATER-DF. Disponível em: [http://emater.df.gov.br/wp-content/uploads/2018/06/Relatorio\\_Atividades\\_Agropecuarias\\_\\_\\_2021\\_\\_\\_DF.pdf](http://emater.df.gov.br/wp-content/uploads/2018/06/Relatorio_Atividades_Agropecuarias___2021___DF.pdf), 27 p.
- Esmacili, S.; Thomson, N.R.; Rudolph, D.L. (2020) Evaluation of nutrient beneficial management practices on nitrate loading to groundwater in a Southern Ontario agricultural landscape, *Canadian Water Resources Journal / Revue canadienne des ressources hydriques*, 45:1, 90-107, <https://doi.org/10.1080/07011784.2019.1692697>
- Felipe-Sotelo, M.; Henshall-Bell, E.R.; Evans, N.D.M.; Read, D. (2015) Comparison of the chemical composition of British and Continental European bottled waters by multivariate analysis. *Journal of Food Composition and Analysis*, 39(15): 33-42, <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2014.10.014>
- Ferreira, M.C.; Rodrigues, S.B.; Vieira, D.L.M. (2017) Regeneration through resprouting after clear-cutting and topsoil stripping in a tropical dry forest in Central Brazil. *Revista Árvore* 41(2), 10p. <https://doi.org/10.1590/1806-90882017000200018>.
- Fu, L.; Wang, Y.G. (2012) Statistical Tools for Analyzing Water Quality Data. In: Voudouris, K.; Voutsas, D. (Eds) *Water Quality Monitoring and Assessment*. IntechOpen, London, UK, pp. 144-168.
- GDF - GOVERNO DO DISTRITO FEDERAL (2017) PDSB - Plano Distrital de Saneamento Básico. Brasília, DF: SEMA. 484 p. [https://www.sema.df.gov.br/wp-content/uploads/2017/09/Relatorio\\_S%C3%ADntese.pdf](https://www.sema.df.gov.br/wp-content/uploads/2017/09/Relatorio_S%C3%ADntese.pdf)
- Gesualdo, G.C.; Sone, J.S.; Galvão, C.O.; Martins, E.S.; Montenegro, S.M.G.L.; Tomasella, J.; Mendiando, E.M. (2021) Unveiling water security in Brazil: current challenges and future perspectives, *Hydro Sci J*, 66(5): 759-768, <https://doi.org/10.1080/02626667.2021.1899182>
- Getirana, A.; Libonati, R., Cataldi, M. (2021) Brazil is in water crisis - it needs a drought plan. *Nature* 600, 218–220. <https://doi.org/10.1038/d41586-021-03625-w>
- Gitau, M.W., Chen, J.; Ma, Z. (2016) Water Quality Indices as Tools for Decision Making and Management. *Water Resour Manage*, 30, 2591–2610. <https://doi.org/10.1007/s11269-016-1311-0>
- Golshan, A.; Evans, C.; Geary, P.; Morrow, A.; Rogers, Z.; Maeder, M. (2020) Turning Routine Data into Systems Insight: Multivariate Analysis of Water Quality Dynamics in a Major Drinking Water Reservoir. *Environ Model Assess*, 25:565-579. <https://doi.org/10.1007/s10666-020-09700-2>
- Güler, C. (2007) Characterization of Turkish bottled waters using pattern recognition methods. *Chemom. Intell. Lab. Syst.*, 86: 86–94. <https://doi.org/10.1016/j.chemolab.2006.08.009>

- Gupta, S.; Gupta, S. K. (2021) A critical review on water quality index tool: Genesis, evolution and future directions. *Ecol Infom*, 63: 101299. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2021.101299>
- Gvozdić, V.; Brana J., Puntarić D, Vidosavljević D, Roland D. (2011) Changes in the lower Drava River water quality parameters over 24 years. *Arh Hig Rada Toksikol*. 62(4): 325-33. doi: 10.2478/10004-1254-62-2011-2128.
- Hair, J.F.K.; Black, W.C.; Babin, B.J.; Anderson, R.E. (2014) *Multivariate data analysis*. 7th Edition, Pearson Prentice Hall, Hoboken, New Jersey, USA, 785 p.
- Han, Q.; Tong, R.Z.; Sun, W.C.; Zhao, Y.; Yu, J.S.; Wang, G.Q.; Shrestha, S.; Jin, Y.L. (2020) Anthropogenic influences on the water quality of the Baiyangdian Lake in North China over the last decade. *Sci Total Environ*, 701: 134929.
- He, C., Liu, Z., Wu, J. *et al.* (2021) Future global urban water scarcity and potential solutions. *Nat Commun* 12, 4667. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-25026-3>
- Holland, S.M. *Principal Components Analysis (PCA)*. (2019) Department of Geology, University of Georgia, Athens, Greece. <http://strata.uga.edu/8370/handouts/pcaTutorial.pdf>
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEROGRAFIA E ESTATÍSTICA (2021). Brasil – Distrito Federal – População (2021) Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/df/panorama>. Acesso em: 20 dez 2021.
- Iqbal, J.; Shah, M.H. (2013) Health Risk Assessment of Metals in Surface Water from Freshwater Source Lakes, Pakistan, *Hum Ecol Risk Assess: An Inter J*, 19(6): 1530-1543. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2021.101299>
- ISO - INTERNATIONAL STANDARTIZATION ORGANIZATION (1998). Water quality - Determination of dissolved Li<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Mn<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Sr<sup>2+</sup> and Ba<sup>2+</sup> using ion chromatography - Method for water and waste water (ISO Standard No. 14911:1998). <https://www.iso.org/standard/25591.html>
- Jolliffe, I.T.; Cadima, J. (2016) Principal component analysis: a review and recent developments. *Phil Trans R Soc, A*.374: 20150202. <https://doi.org/10.1098/rsta.2015.0202>
- Jung, K.Y.; Lee, K.-L., Im, T.H.; Lee, I.J., et al. (2016) Evaluation of water quality for the Nakdong River watershed using multivariate analysis. *Environ Technol Innov*, 5: 67-82. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2015.12.001>
- Kachroud, M.; Trolard, F.; Kefi, M.; Jebari, S.; Bourrié, G. (2019). Water quality indices: challenges and application limits in the literature. *Water*, 11(2): 361. <https://doi.org/10.3390/w11020361>.
- Kafkafi, U. and Tarchitzky, J. (2011) *Fertigation: A Tool for Efficient Fertilizer and Water Management*. International Fertilizer Industry Association, Paris. 141 p.
- Kakade, A.; Salama, E-S.; Han, H.; Zheng, Y.; Kulshrestha, S.; Jalalah, M.; Harraz, F.A.; Alsareii, S.A.; Li, X. (2021) World eutrophic pollution of lake and river: Biotreatment potential and future perspectives. *Environ Technol Innov*, 23: 101604. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101604>
- Kazi, T.G.; Arain, M.B.; Jamali, M.K.; Jalbani, N. et al. (2008) Assessment of water quality of polluted lake using multivariate statistical techniques: A case study. *Ecotoxicol Environ Saf*, 72(2): 301-309. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2008.02.024>

- Khanoranga, A.; Khalid, S. (2019) An assessment of groundwater quality for irrigation and drinking purposes around brick kilns in three districts of Balochistan province, Pakistan, through water quality index and multivariate statistical approaches. *J Geochem Explor*, 197: 14-26. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2018.11.007>
- Kimes, P.K.; Liu, Y.; Hayes, D. N.; Marron, J.S. (2017) Statistical significance for hierarchical clustering. *Biometrics*, 73(3):811-821. <http://doi.org/10.1111/biom.12647>
- Li, D.; Liu, S. (2019) Chapter 7 - Detection of River Water Quality. In: Li, D.; Liu, S. (Eds) *Water Quality Monitoring and Management: Basis, Technology and Case Studies*. Academic Press, 211-220. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811330-1.00007-7>.
- Lima, J.E.F.W.; Oliveira-Filho, E.C.; Silva, E.M.; Farias, M.F.R. (2006) Caracterização Hidrológica da APA da Cafuringa. In: Netto, P.B; Mecnas, V.V.; Cardoso, E.S. (Eds). *APA da Cafuringa – a última fronteira natural do DF*. Brasília, DF: SEMA, p. 27-34.
- Lima, J.E.F.W.; Antonini, J.C.A.; Borges, M.M.; Andrade, S.M.L.; Lobato, B.R.; Sousa, L.L.P.; Rocha, F.E.C.; Carvalho, A.V.V. Demandas relacionadas às Culturas irrigadas no DF e propostas para pesquisa, extensão e política pública. In: Andrade, S.M.L.; Rocha, F.E.C.; Lobato, B.R. *Expedição Safra Brasília – 2016: Soja, milho safrinha e culturas irrigadas: diagnóstico e prospecção de demandas para pesquisa, extensão rural e política pública*. Brasília, DF: SEAGRI, EMATER-DF, CEASA, Embrapa Cerrados. 2017, p.221-300. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1070037/1/LivroExpedicaoSafraBrasilia2016versaofinal.pdf>.
- Lima, J.E.F.W.; Freitas, G.K.; Pinto, M.A.T.; Salles, P.S.B.A. (2018) Gestão da crise hídrica 2016-2018: experiências do Distrito Federal. Brasília, DF: ADASA, CAESB, SEAGRI, EMATER-DF, 328 p. <https://www.adasa.df.gov.br/images/banners/alta.pdf>
- Lima, L.A.; Silva, D. H. (2020) Um Panorama das Águas no Distrito Federal. Brasília, DF: CODEPLAN, 31p. <https://www.codeplan.df.gov.br/wp-content/uploads/2020/07/Estudo-Um-Panorama-das-%C3%81guas-no-Distrito-Federal.pdf>
- Ma, C.-Y.; Ihara, M.; Liu, S.; Sugie, Y.; Tanaka, H. (2022) Tracking the source of antibiotic-resistant *Escherichia coli* in the aquatic environment in Shiga, Japan, through whole-genome sequencing. *Environ Adv*, 8: 100185. <https://doi.org/10.1016/j.envadv.2022.100185>
- Machiwal, D.; Jha, M.K. (2015) Identifying sources of groundwater contamination in a hard-rock aquifer system using multivariate statistical analyses and GIS-based geostatistical modeling techniques. *J Hydrol Reg Stud*, 4(A): 80-110. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2014.11.005>
- Malakar, A.; Snow, D.D.; Ray, C. (2019) Irrigation Water Quality - A Contemporary Perspective. *Water*, 11: 1482. <https://doi.org/10.3390/w11071482>.
- Medeiros, A.C.; Faial, K.R.F.; Faial, K.C.F.; Lopes, I.D.S.; Lima, M.O.; Guimarães, R.M.; Mendonça, N.M., et al. Quality index of the surface water of Amazonian rivers in industrial areas in Pará, Brazil. *Marine Pollu Bull*, 123(1-2): 156-164. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.09.002>.
- Mehmood, H. (2019) *Bibliometrics of Water Research: A Global Snapshot*. UNU-INWEH Report Series, Issue 06. United Nations University Institute for Water, Environment and Health, Hamilton, Canada, 24 p.

- Mekonnen, M. M. & Hoekstra, A. Y. (2016) Four billion people facing severe water scarcity. *Sci. Adv.* 2, e1500323. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1500323>
- Meireles, A. C. M., Andrade, E. M., Chaves, L. C. G., Frischkorn, H., Crisostomo, L. A. (2010). A new proposal of the classification of irrigation water. *Revista Ciência Agronômica*, 41: 349-357. <https://doi.org/10.1590/S1806-66902010000300005>.
- Muniz, D. H. F., Moraes, A. S., Freire, I. S., Cruz, C. J. D., Lima, J. E. F. W., Oliveira-Filho, E. C. (2011). Evaluation of water quality parameters for monitoring natural, urban, and agricultural areas in Brazilian Cerrado. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 23(3): 307-317. <https://doi.org/10.1590/S2179-975X2012005000009>.
- Muniz, D.H.F., Malaquias, J.V., Lima, J.E.F.W.; Oliveira-Filho (2020) Proposal of an irrigation water quality index (IWQI) for regional use in the Federal District, Brazil. *Environ Monit Assess*, 192: 607. <https://doi.org/10.1007/s10661-020-08573-y>
- Myers, D.N. (2022) Why monitor water quality? U.S. Geological Survey - USGS. <https://water.usgs.gov/owq/WhyMonitorWaterQuality.pdf>
- Nunes, R.V.; Frizzas, M.R.; Vaz-de-Mello, F.Z. (2012) Scarabaeinae (Coleoptera: Scarabaeidae) of a rupestrian field at Cafuringa, Distrito Federal, Brazil: commented list of species. *Biota Neotropical*, 12(4), 125-129. <https://doi.org/10.1590/S1676-06032012000400013>
- Ogwueleka, T.C. (2014). Assessment of the water quality and identification of pollution sources of Kaduna River in Niger State (Nigeria) using exploratory data analysis. *Water Environ J*, 28: 31-37. <https://doi.org/10.1111/wej.12004>
- Olsen, R.L.; Chappell, R.W.; Loftis, J.C. (2012) Water quality sample collection, data treatment and results presentation for principal components analysis e literature review and Illinois River watershed case study. *Water Res*, 46: 3110-3122. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2012.03.028>
- Ouyang Y, Nkedi-Kizza P, Wu QT, Shinde D, Huang CH. (2006) Assessment of seasonal variations in surface water quality. *Water Res.* 40(20): 3800-3810. doi: 10.1016/j.watres.2006.08.030.
- Pereira, V. R., Rodriguez, D. A., Coutinho, S. M. V., Santos, D. V., & Marengo, J. A. (2020). Adaptation opportunities for water security in Brazil. *Sustainability in Debate*, 11(3), 91–121. <https://doi.org/10.18472/SustDeb.v11n3.2020.33858>
- R Core Team (2021). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>.
- Ramos, M.A.G., Bueno de Oliveira, E.S., Pião, A.C.S.; Leite, D.A.N.O., Angelis, D.F. (2016) Water Quality Index (WQI) of Jaguari and Atibaia Rivers in the region of Paulínia, São Paulo, Brazil. *Environ Monit Assess*, 188: 263. <https://doi.org/10.1007/s10661-016-5261-z>
- Rawat, K.S., Singh, S.K.; Gautam, S.K. (2018) Assessment of groundwater quality for irrigation use: a peninsular case study. *Appl Water Sci* 8, 233. <https://doi.org/10.1007/s13201-018-0866-8>
- Rusydi, A.F. (2017) Correlation between conductivity and total dissolved solid in various type of water: a review. *IOP Conf. Ser: Earth Environ. Sci*, 118: 012019. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/118/1/012019>.

- Sattari, M.T., Feizi, H., Colak, M.S. *et al.* (2020) Estimation of sodium adsorption ratio in a river with kernel-based and decision-tree models. *Environ Monit Assess*, 192: 575. <https://doi.org/10.1007/s10661-020-08506-9>
- Serajuddin, M.D., Chowdhur, A.I., Haque, M.D. and Haque, E. (2019) Using Turbidity to Determine Total Suspended Solids in an Urban Stream: A Case Study. *Proceedings of the 2nd International Conference on Water and Environmental Engineering, Dhaka, 19-22 January 2019*, 148-154.
- Sergeant, C.J., Starkey, E.N., Bartz, K.K. *et al.* (2016) A practitioner's guide for exploring water quality patterns using principal components analysis and Procrustes. *Environ Monit Assess* 188: 249. <https://doi.org/10.1007/s10661-016-5253-z>
- Sharma, R.K.; Gulati, S. (2014) Water Quality Issues and Solutions in India. In: Ahuja S. (ed) *Comprehensive Water Quality and Purification*. Vol 1, pg 21-39. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-382182-9.00003-7>
- Shen, L.Q.; Amatulli, G.; Sethi, T.; Raymond, P.; Domisch, S. (2020) Estimating nitrogen and phosphorus concentrations in streams and rivers, within a machine learning framework. *Sci Data*, 7: 161. <https://doi.org/10.1038/s41597-020-0478-7>
- Shrestha, S.; Kazama, F. (2007) Assessment of surface water quality using multivariate statistical techniques: A case study of the Fuji river basin, Japan. *Environ Model Softw*, 22(4): 464-475. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2006.02.001>
- Siepak, M.; Sojka, M. (2017) Application of multivariate statistical approach to identify trace elements sources in surface waters: a case study of Kowalskie and Stare Miasto reservoirs, Poland. *Environ Monit Assess*, 189: 364. <https://doi.org/10.1007/s10661-017-6089-x>
- Silva, L.C.R.; Sternberg, L.; Haridasan, M.; Hoffmann, W.A.; Miralles-Wilhem, F.; Franco, A.C. (2008) Expansion of gallery forests into central Brazilian savannas. *Global Change Biology*, 14(9): 2108-2118. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2008.01637.x>
- Simeonov, V.; Stratis, J.A.; Samara, C.; Zachariadis, G.; Voutsas, D.; Anthemidis, A.; Sofoniou, M.; Kouimtzis, T. (2003) Assessment of the surface water quality in Northern Greece. *Water Res*, 37: 4119-4124. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(03\)00398-1](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(03)00398-1)
- Simsek, C.; Gunduz, O. (2007). IWQ index: a GIS integrated technique to assess irrigation water quality. *Environ Monit Assess*, 128: 277–300. <https://doi.org/10.1007/s10661-006-9312-8>.
- Sousa, D.N.R.; Mozeto, A.A.; Carneiro, R.L.; Fadini, P.S. (2014) Electrical conductivity and emerging contaminant as markers of surface freshwater contamination by wastewater. *Sci Total Environ*, 484: 19-26. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.02.135>
- Strauch, M.; Lima, J.E.F.W.; Volk, M.; Lorz, C.; Makeschin, F. (2013) The impact of Best Management Practices on simulated streamflow and sediment load in a Central Brazilian catchment. *J Environ Manag*, 127: S24-S36. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.01.014>.
- Suarez, D. L., Wood, J. D., Lesch, S. M. (2008). Infiltration into cropped soils: effect of rain and sodium adsorption ratio–impacted irrigation water. *J Environ Qual*, 37: 169-179. <https://doi.org/10.2134/jeq2007.0468>.

- Tibshirani R, Walther G, Hastie T. (2001) Estimating the number of clusters in a data set via the gap statistic. *J R Stat Soc Ser B Stat Methodol.* 63(2):411–423. <https://doi.org/10.1111/1467-9868.00293>.
- Uddin, M. G.; Nash, S.; Olbert, A. I. (2021) A review of water quality index models and their use for assessing surface water quality. *Ecol Indi*, 122: 107218. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107218>
- Varol, M., Gokot, B., Bekleyen, A. and Sen, B. (2012) Spatial and Temporal Variations in Surface Water Quality of the Dam Reservoirs in the Tigris River Basin, Turkey. *Catena*, 92, 11-21. <http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2011.11.013>
- Wang, Y.; Wang, P.; Bai, Y.; Tian, Z.; Li, J, et al. (2013) Assessment of surface water quality via multivariate statistical techniques: A case study of the Songhua River Harbin region, China. *J Hydro-environ Res*, 7(1): 30-40. <https://doi.org/10.1016/j.jher.2012.10.003>
- Wang, J.; Liu, G.; Liu, H.; Lam, P.K.S. (2017) Multivariate statistical evaluation of dissolved trace elements and a water quality assessment in the middle reaches of Huaihe River, Anhui, China. *Sci Total Environ*, 583: 421-431. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.088>.
- Wen, X.; Chen, F.; Lin, Y.; Zhu, H.; Yuan, F.; Kuang, D.; Jia, Z.; Yuan, Z. (2020) Microbial Indicators and Their Use for Monitoring Drinking Water Quality - A Review. *Sustainability*, 12(6): 2249. <https://doi.org/10.3390/su12062249>.
- Wilhem, F.M. (2009) Pollution of Aquatic Ecosystems I. In: Likens, G.E. *Encyclopedia of Inland Waters*. Academic Press, 110-119. <https://doi.org/10.1016/B978-012370626-3.00222-2>.
- Zagatto, P.A., Lorenzetti, M.L., Lamparelli, M.C., Salvador, M.E.P., Menegon-Jr, N., Bertoletti, E. (1999) Aperfeiçoamento de um índice de qualidade de águas. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 11(2): 111-126.
- Zaman, M., Shahid, S.A., Heng, L. (2018). Irrigation Water Quality. In: *Guideline for Salinity Assessment, Mitigation and Adaptation Using Nuclear and Related Techniques*. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-96190-3\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-319-96190-3_5)
- Zhang X, Zhang Y, Shi P, Bi Z, Shan Z, Ren L. (2021) The deep challenge of nitrate pollution in river water of China. *Sci Total Environ.* 770: 144674. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144674>.