



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MANEJO DE SOLO E ÁGUA
MESTRADO EM MANEJO DE SOLO E ÁGUA

**ANÁLISE DE ÍNDICES DE QUALIDADE DE ÁGUA DA BACIA HIDROGRÁFICA
APODI-MOSSORÓ**

MOSSORÓ – RN

2020

RUDNA ANGELICA VIEIRA DO VALE

**ANÁLISE DE ÍNDICES DE QUALIDADE DE ÁGUA DA BACIA HIDROGRÁFICA
APODI-MOSSORÓ**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), como requisito para obtenção do título de Mestre em Manejo de Solo e Água.

Linha de pesquisa: Impactos Ambientais pelo Uso do Solo e da Água

Orientador: Prof. Dr. Luís César de Aquino Lemos Filho.

MOSSORÓ – RN

2020

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei n° 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei n° 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

V149a Vale, Rudna Angelica Vieira do.
Análise de índices de qualidade de água da
bacia hidrográfica Apodi-Mossoró / Rudna Angelica
Vieira do Vale. - 2020.
55 f. : il.

Orientador: Luis César de Aquino Lemos Filho.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Programa de Pós-graduação em
Manejo de Solo e Água, 2020.

1. IQA. 2. IET. 3. Salinidade. 4. Gestão de
bacias hidrográficas. I. Lemos Filho, Luis César
de Aquino, orient. II. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SIBSI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da Instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

RUDNA ANGELICA VIEIRA DO VALE

ANÁLISE DE ÍNDICES DE QUALIDADE DE ÁGUA DA BACIA HIDROGRÁFICA
APODI-MOSSORÓ

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), como requisito para obtenção do título de Mestre em Manejo de Solo e Água.

Linha de pesquisa: Impactos Ambientais pelo Uso do Solo e da Água

Aprovada em: 29/06/2020

BANCA EXAMINADORA

Luis César de A. Lemos

Prof. Dr. Luis César de Aquino Lemos Filho.– (UFERSA)
Presidente

Rafael Oliveira Batista

Prof. Dr..Rafael Oliveira Batista – (UFERSA)
Primeiro Membro

Daniela da Costa Leite Coelho

Prof. Dra. Daniela da Costa Leite Coelho – (UFERSA)
Segundo Membro

Raimundo Fernandes de O. Junior

Prof. Dr. Raimundo Fernandes de Oliveira Junior – (IFRN)
Membro Externo

Aos meus pais, Rutênio e Edna, aos meus irmãos
Rafael e Reyliane.

Ao meu companheiro Ulysses, pelo incentivo,
carinho, amor e paciência nesses tempos difíceis.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer ao PPGMSA e a UFERSA pela oportunidade de cursar uma Pós-Graduação.

Ao meu orientador, Professor Dr. Luis César de Aquino Lemos Filho, pela disponibilidade de orientação, compreensão e calma em tempos turbulentos, isso foi muito importante na minha caminhada.

Ao professor Steferson Bezerra de Melo, pela imensa ajuda na condição da minha pesquisa, foi de muita valia.

À banca examinadora pela disponibilidade e contribuição para com meu trabalho.

Ao meu irmão, Rafael Álex, que se tornou mestre antes de mim e me ajudou no meu processo.

Ao meu companheiro Ulysses Araújo, pessoa mais intelectual que já conheci, pela paciência e apoio.

Aos meus amigos também pós graduandos Francisco Costa Filho, Ana Paula Caldas, Ana Carolina Silveira, pelo incentivo e compreensão dos apereios vivenciados!

À Bruna Raiany, pela grande amizade e carinho que sempre teve por mim.

À Lucélia Alencar, minha psicóloga, que acompanhou de perto minhas angustias e sempre me deu força pra continuar essa luta.

À Rafaella Cavalcanti, Edel Mary e Simonne Moreira pela amizade e sororidade.

Aos meus amigos do Centro de Engenharias, Daianni Ariani e Adler Lincoln pelo apoio e os cafés da manhã comemorativos!

RESUMO

As bacias hidrográficas localizadas na região semiárida sofrem com o baixo índice e sazonalidade de chuvas, grande evaporação devido às altas temperaturas, além de serem predominantemente pouco volumosas e de baixa vazão. A bacia do Rio Apodi-Mossoró detém esses atributos, e, em face dessas circunstâncias, a gestão eficiente dos recursos hídricos é imprescindível. A atividade de monitoramento da qualidade da água ampara a tomada de decisão sobre o seu uso, e, é realizada através da medição periódica de indicadores qualitativos. Tomando por base os dados do Programa Água Azul a respeito da bacia Apodi-Mossoró, coletados de 2008 a 2016 em 30 pontos ao longo da bacia, esta pesquisa objetivou fazer uma análise temporal do comportamento da qualidade da água quanto ao Índice de Estado Trófico – IET e a salinidade, como também utilizar o método de estatística multivariada de Análise de Componentes Principais - ACP no estudo dos indicadores de qualidade da água mais relevantes para a composição do IQA. Os resultados indicam que a bacia sofre interposição da sazonalidade de chuvas, atrelada a temperatura elevadas, e também da intensa atividade antrópica no curso do rio, como mostraram as respostas do IET, tendo comportamento majoritariamente hipereutrófico, e uma salinidade crescente ao final do período de coleta, compreendido entre 2014 e 2016, os quais são seguidos anos de estiagem. A ACP do índice IQA corrobora com esses fatos, pois os indicadores sobressalentes foram a temperatura, nitrogênio total, DBO e sólidos totais, esses três últimos sendo indicadores individuais de poluição. Finalizando, a investigação aponta, sem pormenorizar, para uma ineficiência na gestão da bacia do Rio Apodi-Mossoró.

Palavras-chave: IQA. IET. Salinidade. Gestão de bacias hidrográficas.

ABSTRACT

The hydrographic basins located in the semi-arid region suffer from the low rate and seasonality of rains, great evaporation due to high temperatures, in addition to being predominantly low-volume and low flow. The Apodi-Mossoró basin has these attributes and, under these circumstances, efficient water resource management is essential. The water quality monitoring activity supports the decision-making about its use, and is carried out through the periodic measurement of qualitative indicators. Based on the data from the Água Azul Program regarding the Apodi-Mossoró basin, collected from 2008 to 2016, this research aims to make a temporal analysis of the behavior of the basin regarding the Trophic State Index - TSI and salinity, as well as applying the multivariate statistical method of Principal Component Analysis - PCA for the WQI index - Water Quality Index to show, among the nine indicators that make up the calculation, which ones have greater participation in the content of this index. The results indicate that the basin suffers interposition from the rain seasonality, linked to high temperatures, and also from the intense anthropic activity in the course of the river, as shown by the responses of the TSI, having mostly hypereutrophic behavior, and increasing salinity at the end of the period. collects, between 2014 and 2016, that these are followed by years of drought. The IQA indicator PCA corroborates these facts, since the outstanding indicators were temperature, total nitrogen, BOD and total solids, the last three being individual pollution indicators. Finally, the investigation points, without detailing, to an inefficiency in the management of the Apodi-Mossoró River basin.

Keywords: WQI. TSI. Salinity. Watershed management.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Representação do ciclo hidrológico.....	3
Figura 2: Representação de bacia hidrográfica	4
Figura 3: Regiões Hidrográficas Brasileiras.	7
Figura 4: Localização da bacia hidrográfica do Rio Apodi-Mossoró	16
Figura 5: Distribuição espacial dos pontos de coleta do PAA para Bacia Apodí-Mossoró....	17
Figura 6: Curvas Médias de variação da Qualidade das Águas.	20
Figura 7: Equipamento similar ao utilizado nas medições de salinidade.....	23
Figura 8: Gráfico do comportamento temporal da salinidade na bacia Apodi-Mossoró.	26
Figura 9: Teores de salinidade nos anos de 2011 e 2015.	27
Figura 10: Comportamento da Bacia IET. (A)2008-Hipereutrófico; (B)2009-Hipereutrófico; (C)2010-Ultraoligotrófico; (D)2011-Supereutrófico; (E)2012-Hipereutrófico; (F)2014- Hipereutrófico; (G)2015-Hipereutrófico; (H) 2016-Hipereutrófico.....	28
Figura 11: Trecho urbano do rio Apodi-Mossoró com pontos de eutrofização, em Mossoró- RN.....	30
Figura 12: Trecho urbano do rio Apodi-Mossoró com pontos de eutrofização, em Mossoró- RN.....	31
Figura 13: Gráficos de Componentes Principais IAQ. (A): variável mais relevante para componente 1 - temperatura, para componente 2 - nitrogênio total; (B): variável mais relevante para componente 3 - DBO, para componente 4 - sólidos totais	34
Figura 14: Distribuição espacial do IQA (a) e do IET (b) para as águas superficiais na Bacia Hidrográfica do Apodi-Mossoró	36
Figura 15: Gráfico de distribuição temporal da temperatura na Lagoa do Apodi em 2017....	37
Figura 16: Estrutura da gestão de recursos hídricos do Rio Grande do Norte.	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Informações sobre as estações de coleta do Programa Água Azul.....	18
Tabela 2: Pesos das variáveis de IQA utilizados pelo Programa Água Azul.....	19
Tabela 3: Categoria de qualidade de água quanto ao IQA.	21
Tabela 4: Categoria da água quanto ao IET	22
Tabela 5: Médias dos valores anuais dos indicadores que compõem o IQA disponibilizados pelo PROGRAMA ÁGUA AZUL.	24
Tabela 6: Comportamento pluviométrico na Bacia Hidrográfica do Rio Apodi-Mossoró durante o período de 2008 a 2016.	27
Tabela 7: Valores médios de IET para água açude Orós.....	32
Tabela 8: Matriz de correlação dos indicadores do cálculo de IQA.....	33
Tabela 9: Coordenadas fatoriais dos nove indicadores do IQA	34
Tabela 10: Valores absolutos e percentuais de autovalores das variáveis do IQA	35

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CBH	Comitê de Bacias Hidrográficas
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
COGERH	Coordenadoria de Gestão de Recursos Hídricos
COINFRA	Controladoria de Infraestrutura
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CONERH	Conselho Estadual de Recursos Hídricos
CT	Coliformes Termotolerantes
DBO	Demanda Biológica de Oxigênio
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Fós. T	Fósforo Total
IDEMA	Instituto de Defesa do Meio Ambiente
IET	Índice de Estado Trófico
IET(CL)	Índice de Estado Trófico Clorofila
IET(P)	Índice de Estado Trófico Fósforo
IGARN	Instituto de Gestão de Águas do Rio Grande do Norte
IQA	Índice de Qualidade de Água
Nit. T	Nitrogênio Total
OD	Oxigênio Dissolvido
PAA	Programa Água Azul
SEMARH	Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos
Sól. T	Sólidos Totais
Temp	Temperatura
Tur	Turbidez
UERN	Universidade Estadual do Rio Grande do Norte

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	1
2.	OBJETIVOS	2
2.1	Objetivo geral	2
2.2	Objetivos específicos	2
3.	REVISÃO DE LITERATURA	3
3.1	O ciclo hidrológico e a bacia hidrográfica	3
3.2	Gestão de bacias hidrográficas	5
3.3	Bacia do rio Apodi-Mossoró	9
3.4	Índice de Qualidade de Água – IQA	10
3.5	Índice Estado Trófico – IET	11
3.6	Salinidade	12
3.7	Estatística multivariada	12
3.8	Programa Água Azul – PAA	13
4.	MATERIAL E MÉTODO	14
4.1	Área de estudo	14
4.2	Período de estudo e coleta de dados	16
4.3	Cálculo do Índice de Estado Trófico – IET	21
4.4	Medição do valor da salinidade	22
4.5	Análise gráfica e estatística multivariada	23
5.	RESULTADOS DE DISCUSSÕES	26
5.1	Salinidade	26
5.2	Índice de Estado Trófico – IET	28
5.3	Análise multivariada aplicada aos indicadores de qualidade que compõem o Índice de Qualidade de Água – IQA	32
5.4	Indicadores de qualidade de água e gestão de bacias hidrográficas	38
6.	CONCLUSÃO	40
	REFERÊNCIAS	41

1. INTRODUÇÃO

A região semiárida brasileira tem como características predominantes o baixo índice pluviométrico, alta taxa de evaporação e bacias hidrográficas poucos volumosas. Por conta desse baixo índice de chuvas, as bacias enfrentam dificuldade na sua recarga. Diante desse cenário de recursos hídricos escassos, é de fundamental importância a preservação e boa gestão dos corpos d'água.

A gestão de recursos hídricos consiste na regulamentação, por parte da União, estados e municípios sobre o uso da água, para abastecimento humano, utilização industrial e agropecuário, principalmente no âmbito regional. Esta regulamentação se dá através de estudos executados por comissões e comitês para mensuração dos níveis de qualidade e quantidade dos seus componentes, e, para tanto, os indicadores e índices mostram-se como ferramentas eficazes, no sentido de tornar dados técnicos mais facilmente utilizáveis (Rocha et al, 2010).

Os indicadores e os índices são projetados para simplificar a informação sobre fenômenos complexos de modo a melhorar a comunicação, podendo ser aplicado à um conjunto largo de situações, incluindo informação ao público e investigação científica (Ramos, 1997).

Nesse contexto, o Programa Água Azul - PAA foi criado para efetivar o monitoramento das águas das bacias do estado do Rio Grande do Norte, e produzir relatórios apresentando os indicadores de qualidade das águas desses recursos hídricos, no período de 2008 a 2016.

No estado do Rio Grande do Norte, a bacia hidrográfica do Rio Apodi-Mossoró se destaca, por ser a segunda maior do estado, por ser genuinamente potiguar e por sua relevância econômica na mesorregião oeste. Nessa conjuntura, a bacia hidrográfica foi utilizada como objeto da pesquisa, que concerne em fazer uma leitura do comportamento da bacia quanto ao seu Índice de Estado Trófico – IET, e quanto a salinidade ao longo do tempo, e, também, conceber uma análise estatística multivariada para o Índice de Qualidade de Água – IQA, para evidenciar quais dos nove indicadores de qualidade da água exercem maior influência no índice.

Todos os dados sobre a bacia do Rio Apodi Mossoró discutidos na pesquisa estão disponíveis nos relatórios do PAA.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

A pesquisa teve por objetivo aplicar a técnica de estatística multivariada nos dados oficiais do Programa Água Azul do Governo do Estado do Rio Grand do Norte, para a bacia hidrográfica do rio Apodi Mossoró e notabilizar os indicadores relevantes para medição da qualidade da água, e, fazer uma análise da bacia quanto ao índice trófico e a salinidade, e assim, fazer uma breve avaliação da gestão de recursos hídricos.

2.2 Objetivos específicos

- Demonstrar, dentre todos os indicadores obtidos, os mais relevantes para o Índice de Qualidade de Água - IQA;
- Mensurar o comportamento da bacia quanto à salinidade;
- Mensurar o comportamento da bacia quanto ao Índice de Estado Trófico – IET; e
- Avaliar, de forma resumida, a gestão de recursos hídricos da bacia.

3. REVISÃO DE LITERATURA

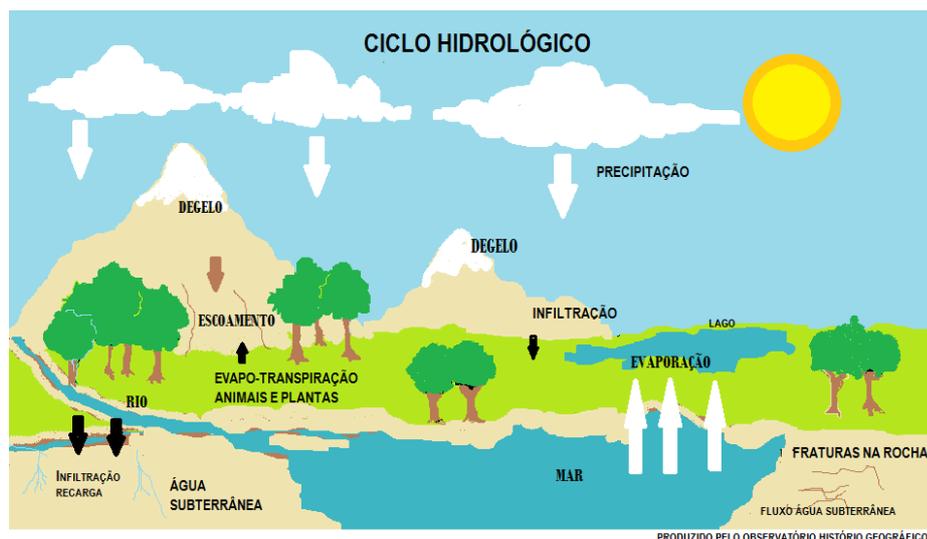
3.1 O ciclo hidrológico e a bacia hidrográfica

A água, nas formas líquida e sólida, cobre mais de dois terços de nosso planeta e, na forma gasosa, é constituinte da atmosfera terrestre. Sem água, não seria possível a vida como a conhecemos (Santana, 2003).

A dinâmica da água na Terra se dá por meio do ciclo hidrológico, que “[...] é um fenômeno global de circulação fechada da água entre a superfície da terra e a atmosfera, impulsionado fundamentalmente pela energia solar associada à gravidade e a rotação terrestre” (Silveira, 2015).

O ciclo hidrológico não tem começo nem fim; a água é evaporada dos oceanos e da superfície continental e se torna parte da atmosfera; a umidade atmosférica precipita-se tanto nos oceanos como nos continentes; nestes a água precipitada pode ser interceptada pela vegetação, pode escoar pela superfície dos terrenos ou pode infiltrar-se no solo, de onde pode ser absorvida pelas plantas. Assim, o ciclo da água envolve vários e complicados processos hidrológicos: evaporação, precipitação, interceptação, transpiração, infiltração, percolação, escoamento superficial dentre outros (Lima, 2008). Na Figura 1 consta a representação do ciclo hidrológico.

Figura 1: Representação do ciclo hidrológico.



Fonte: Observatório Histórico Geográfico, disponível em < <http://obshistoricogeo.blogspot.com/2016/02/ciclo-hidrologico-ou-da-agua-omovimento.html>>, acesso em 25/05/2020.

Na superfície terrestre, o objeto de estudo de grande relevância, que integra o ciclo hidrológico, é a bacia hidrográfica.

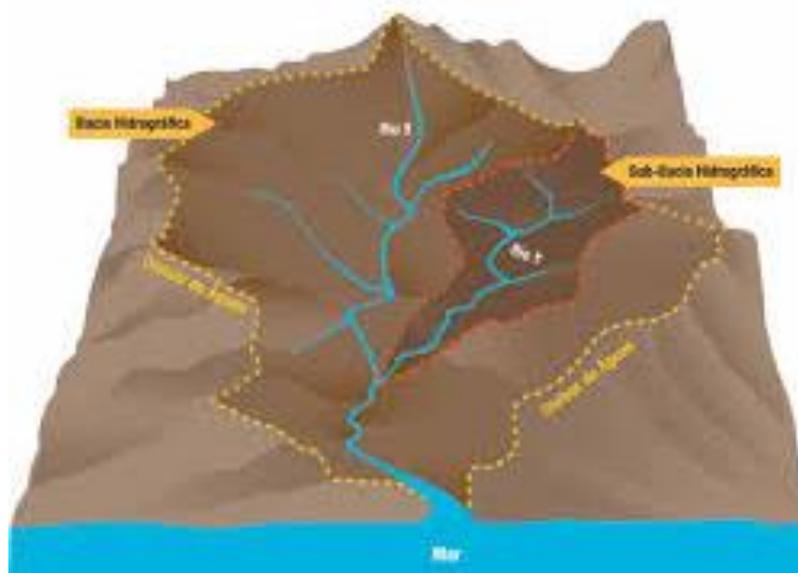
A bacia hidrográfica é uma área de captação natural da água de precipitação da chuva que converge os escoamentos para um único ponto. Este ponto de saída é denominado exutório (Finkler, 2012).

Uma bacia hidrográfica compreende toda a área de captação natural da água da chuva que proporciona escoamento superficial para o canal principal e seus tributários (Lima, 2008).

Segundo documento da EMBRAPA, o termo bacia hidrográfica refere-se a uma compartimentação geográfica natural delimitada por divisores de água. Esse compartimento é drenado superficialmente por um curso d'água superficial e seus afluentes (Santana, 2003).

Bacia hidrográfica é uma área de captação natural da água da precipitação que faz convergir os escoamentos para um único ponto de saída, seu exutório, e compõe-se basicamente de um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem formada por cursos de água que confluem até resultar um leito único no exutório; como sistema, pode ser considerada um sistema físico onde a entrada é o volume de água precipitado e a saída é o volume de água escoado pelo exutório, considerando-se como perdas intermediárias os volumes evaporados e transpirados e também infiltrados (Silveira, 2015). Na Figura 2 consta a representação de uma bacia hidrográfica.

Figura 2: Representação de bacia hidrográfica



Fonte: Atlas Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Macaé, disponível em <<http://www.macaee.rj.gov.br/midia/conteudo/arquivos/1460067952.pdf>>, acesso em 20/06/2020

3.2 Gestão de bacias hidrográficas

A disponibilidade de água limpa é potencialmente um dos problemas mais importantes que a comunidade mundial terá de enfrentar nos próximos anos. Nos moldes do desenvolvimento econômico atual, grande parte da água ainda é utilizada de forma irracional e não sustentável. Este fato agrava-se ao passo que ocorre a distribuição heterogênea dos recursos hídricos, e como a comunidade global está difundida. Consequentemente, constata-se que a água não se encontra a disposição e com qualidade para atender a todas as necessidades humanas (Bernardi et al., 2013). A influência antrópica no ambiente, inclusive em bacias hidrográficas, tem sido motivo frequente de preocupação na sociedade, o que tem levado ao aumento de pesquisas para qualificar e quantificar os impactos da ocupação territorial (Gonçalves et al., 2011).

A bacia hidrográfica é composta de um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem, formada por cursos de água que confluem até resultar em um leito único no seu exutório, definido como cota mais baixa em um sistema de drenagem. Logo, por ter características bem definidas, é uma unidade que permite caracterizar e combater os impactos ambientais (Ferreira et al., 2012).

A bacia hidrográfica, ao ser considerada a unidade básica de estudo nos contextos ecológicos e econômicos, torna-se prioritária para o planejamento e a gestão dos recursos hídricos, pois fornece vários produtos e serviços que sustentam a população humana. Além disso, deve ser vista como prioritária para a gestão urbana pois esta mesma população reside no interior de bacias e relacionam-se com o sistema hídrico estabelecido no regime natural. (Lopes et al., 2020).

As atividades dos usuários de água em uma bacia hidrográfica são competitivas e se acirram à medida que diminui a disponibilidade hídrica per capita, e, gerenciar essa competição significa criar um conjunto de regras para a alocação da água, o que, em última instância, é a essência do sistema de gestão de recursos hídricos. Para que o conjunto de regras seja criado, são necessários os instrumentos de gestão que as institucionalizam e a criação da instância de decisão local (Porto & Porto, 2008).

Historicamente, a gestão de águas no Brasil se desenvolveu de forma fragmentada e centralizada. A gestão era fragmentada em função de cada setor (energia elétrica, agricultura irrigada, saneamento, etc.) realizar seu próprio planejamento e medidas. Era centralizada em decorrência dos governos estaduais e federal definirem a política sem que houvesse a participação dos governos municipais, dos usuários da água e da sociedade civil. Durante os

anos 80, técnicos e especialistas brasileiros discutiram intensamente a necessidade de mudar esse cenário, com a criação de um sistema integrado e descentralizado de gestão. Debates internacionais e nacionais coincidiam quanto à definição dos princípios básicos de um novo modelo: a gestão seria descentralizada para o nível de bacia hidrográfica; integraria todas as políticas setoriais envolvidas na gestão da água; envolveria os usuários da água e a sociedade civil no processo decisório; e trataria a água como um bem de valor econômico, e não mais como uma dádiva inesgotável da natureza (Abers & Jorge, 2005).

Em 1997 foi promulgada a Lei 9433, de Política Nacional de Recursos Hídricos, que, dentre outras providências, regulamenta o XIX do art. 21 da Constituição Federal e cria Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, e, no seu escopo descreve:

Art. 1º A Política Nacional de Recursos Hídricos baseia-se nos seguintes fundamentos:

I - a água é um bem de domínio público;

[...]

III - em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais;

V - a bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos;

[...]

VI - a gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades.

Art. 2º São objetivos da Política Nacional de Recursos Hídricos:

[...]

II - a utilização racional e integrada dos recursos hídricos, incluindo o transporte aquaviário, com vistas ao desenvolvimento sustentável;

III - a prevenção e a defesa contra eventos hidrológicos críticos de origem natural ou decorrentes do uso inadequado dos recursos naturais.

IV - incentivar e promover a captação, a preservação e o aproveitamento de águas pluviais.

Art. 3º Constituem diretrizes gerais de ação para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos:

[...]

III - a integração da gestão de recursos hídricos com a gestão ambiental;

IV - a articulação do planejamento de recursos hídricos com os setores usuários e com os planejamentos regional, estadual e nacional;

[...]

Art. 4º A União articular-se-á com os Estados tendo em vista o gerenciamento dos recursos hídricos de interesse comum.

[...]

Art. 32. Fica criado o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, com os seguintes objetivos:

I - coordenar a gestão integrada das águas;

II - arbitrar administrativamente os conflitos relacionados com os recursos hídricos;

III - implementar a Política Nacional de Recursos Hídricos;

IV - planejar, regular e controlar o uso, a preservação e a recuperação dos recursos hídricos;

V - promover a cobrança pelo uso de recursos hídricos.

Art. 33. Integram o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos:

*I – o Conselho Nacional de Recursos Hídricos;
I-A. – a Agência Nacional de Águas;
II – os Conselhos de Recursos Hídricos dos Estados e do Distrito Federal;
III – os Comitês de Bacia Hidrográfica;
IV – os órgãos dos poderes públicos federal, estaduais, do Distrito Federal e municipais cujas competências se relacionem com a gestão de recursos hídricos;
V – as Agências de Água. (BRASIL, 1997).*

O território brasileiro foi dividido num primeiro nível de macrodivisão hidrográfica, as chamadas Regiões Hidrográficas Brasileiras. A Resolução nº 32 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos, de 15 de outubro de 2003, define a divisão hidrográfica nacional em regiões hidrográficas (Porto & Porto, 2008). Na figura 3 estão representadas as regiões hidrográficas brasileiras.

Figura 3: Regiões Hidrográficas Brasileiras.



Fonte: Porto & Porto, 2008

A bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró está totalmente inserida no Estado do Rio Grande do Norte e é fração integrante da Região Hidrográfica Atlântico Nordeste Oriental.

O Rio Grande do Norte, a partir de meados dos anos 1990, realiza investimentos em programas de captação, armazenamento, tratamento e distribuição de recursos hídricos, a fim de garantir o abastecimento das populações e o desenvolvimento das atividades econômicas. A

construção de reservatórios, canais, poços e um dos maiores sistemas adutores do país ainda não fora suficiente para superar o problema do abastecimento (Oliveira et al., 2013)

Mesmo antes da publicação da lei de âmbito nacional (Lei 9433/97), o estado do Rio Grande do Norte havia elaborado em 1996 a Lei Estadual 6908, que foi alterada pela Lei Complementar n° 481, que dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos, que em seu capítulo I, trata dos objetivos, princípios e diretrizes, como se segue:

- Art. 1º. A Política Estadual de Recursos Hídricos tem como objetivos:*
- I – planejar, desenvolver e gerenciar, de forma integrada, descentralizada e participativa, o uso múltiplo, controle, conservação, proteção e preservação dos recursos hídricos;*
 - II – assegurar que a água possa ser controlada e utilizada em padrões de quantidade e qualidade satisfatórios por seus usuários atuais e pelas gerações futuras. VI - a gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades.*
- Art. 2º. A Política Estadual de Recursos Hídricos atenderá aos seguintes princípios:*
- I – o aproveitamento dos recursos hídricos tem como prioridade o abastecimento humano;*
 - II – a unidade básica de planejamento para a gestão dos recursos hídricos é a bacia hidrográfica;*
 - III – a distribuição da água no território do Rio Grande do Norte obedecerá sempre a critérios sociais, econômicos e ambientais;*
 - IV – o planejamento, o desenvolvimento e a gestão da utilização dos recursos hídricos do Estado do Rio Grande do Norte serão sempre concordantes com o desenvolvimento sustentável;*
 - V – a água é um bem econômico e deve ser valorada em todos os seus usos concorrentes;*
 - VI – a outorga do direito de uso da água é um instrumento essencial para o gerenciamento dos recursos hídricos.*
- Art. 3º. São diretrizes gerais da Política Estadual de Recursos Hídricos:*
- I – a maximização dos benefícios econômicos e sociais, resultantes do aproveitamento múltiplo e/ou integrado dos recursos hídricos do seu território;*
 - II – a proteção de suas bacias hidrográficas contra ações que possam comprometer o seu uso atual e futuro;*
 - III – o desenvolvimento de programas permanentes de conservação e proteção das águas subterrâneas, contra a poluição e a exploração excessiva ou não controlada;*
 - IV – a articulação inter-governamental com o Governo Federal, Estados vizinhos e os Municípios, para a compatibilização de planos de uso e preservação dos recursos hídricos (RIO GRANDE DO NORTE, 1996).*

Hoje no Brasil, os recursos hídricos têm sua gestão organizada por bacias hidrográficas em todo o território nacional, seja em corpos hídricos de titularidade da União ou dos Estados. Há certamente dificuldades em se lidar com esse recorte geográfico, uma vez que os recursos hídricos exigem a gestão compartilhada com a administração pública, órgãos de saneamento, instituições ligadas à atividade agrícola, gestão ambiental, entre outros, e a cada um desses setores corresponde uma divisão administrativa certamente distinta da bacia hidrográfica (Porto & Porto, 2008).

3.3 Bacia do rio Apodi-Mossoró

Grande parte das bacias do nordeste brasileiro encontra-se sob a influência do bioma Caatinga. As bacias hidrográficas sob esse domínio apresentam características peculiares, como o regime intermitente e sazonal dos seus rios, que é reflexo direto das precipitações escassas e irregulares, associada à alta taxa de evaporação hídrica. Ao contrário das bacias de outras regiões semiáridas do mundo, que geralmente convergem para outras depressões fechadas, os rios do nordeste brasileiro drenam todos para o Oceano Atlântico (Ab' saber, 1995).

A bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró abrange uma área de 14.278km², correspondendo a 26,8% da área estimada do Estado. Inserida na região onde predomina o bioma caatinga, está inteiramente inserida no Estado do Rio Grande do Norte, desde a sua nascente, na Serra de Luiz Gomes até a foz entre os municípios de Areia Branca e Grossos, percorrendo nesse trajeto aproximadamente 210km (Rocha, 2009).

Na região Nordeste é comum um mesmo rio receber denominações diferentes, dependendo do lugar que percorre. A bacia do rio Apodi-Mossoró é considerada exorréica, o seu principal rio recebe o nome de Pau dos Ferros (nome da cidade), em Apodi recebe o mesmo nome da cidade, assim como na cidade de Mossoró (Souza et al., 2012).

A bacia em questão apresenta uma grande importância econômica liderada pelas atividades de extração de petróleo, produção de sal marinho, utilização dos solos para agricultura e fruticultura irrigada, pecuária extensiva, mineração de calcário, entre outras atividades socioeconômicas (Carvalho et al., 2011).

Apesar da sua importância socioeconômica, a bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró vem sofrendo constantes impactos, provenientes da lixiviação de fertilizantes e pesticidas das diversas atividades agrícolas desenvolvidas no entorno do rio; carreamento de material alóctone, além de constantes descargas de esgotos domésticos e industriais lançados em toda extensão da bacia (Oliveira et al., 2009).

Em quase toda extensão dessa bacia ocorrem sérios problemas de agressão ao meio ambiente, inviabilizando em determinadas áreas o uso múltiplo de suas águas. Dentre estes podemos destacar: alta salinização; eutrofização; despejo *in natura* de efluentes domésticos e industriais. Essa degradação se dá pelo mau uso da água por parte das comunidades ribeirinhas, e/ou pela falta de saneamento na maioria das cidades inseridas ao longo do rio (Oliveira Junior, 2009).

Estudos [...] revelaram um diagnóstico da referida bacia, no qual foi constatado que ela sofre com o crescimento da urbanização desordenada ao longo do seu percurso. Na nascente do

rio, as áreas de proteção ambiental estão sendo utilizadas para agricultura, desmatamento e queimadas. [...] Suely Souza, salienta que três ações básicas são necessárias: recuperação das matas ciliares e interrupção do desmatamento, monitoramento contínuo da bacia e trabalho de educação ambiental (Souza et al., 2012).

3.4 Índice de Qualidade de Água – IQA

O crescimento demográfico e o desenvolvimento socioeconômico são frequentemente acompanhados de aumentos na demanda por água, cuja quantidade e qualidade são de fundamental importância para a saúde e desenvolvimento de qualquer comunidade (Bueno et al., 2005).

Os conceitos de qualidade da água não são especificamente ligados à sua pureza, mas sim às suas características físicas, químicas e biológicas (Abreu & Cunha, 2015), e suas condições é função dos diferentes usos a que se destina (Ceconello et al., 2018). Alterações que ocorrem nas características da bacia hidrográfica e que de alguma forma interferem no equilíbrio e na dinâmica dos corpos d'água estão associadas à poluição existente na localidade (Poletto, 2014)

Para a interpretação da qualidade das águas superficiais, é necessária a utilização de métodos simples (Zanini et al., 2010). Nessa perspectiva, o índice de qualidade de água é uma tentativa que todo programas de monitoramento de águas superficiais prevê como forma de acompanhar, através de informações resumidas, a possível deterioração dos recursos hídricos ao longo da bacia hidrográfica ou ao longo do tempo (Toledo & Nicolella, 2002).

A partir de um estudo realizado em 1970 pela “National Sanitation Foundation” do Estados Unidos da América, a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB adaptou e desenvolveu o IQA – Índice de Qualidade das Águas, que baseou-se numa pesquisa de opinião junto a especialistas em qualidade de águas, que indicaram as variáveis a serem avaliadas, o peso relativo e condição com que se apresenta cada indicador, segundo a escala de valores “rating”. (Cetesb, 2017).

3.5 Índice Estado Trófico – IET

As modificações nas propriedades da água e, por conseguinte, a crescente eutrofização dos reservatórios está relacionada com os vários usos múltiplos das bacias hidrográficas: irrigação, ausência de tratamento de esgotos nas cidades com consequente lançamento de efluentes no curso dos rios, atividade de pecuária e atividades agrícolas (Vasconcelos et al., 2011).

É essencial ter informação sobre a qualidade da água para que se conheça a situação dos corpos hídricos com relação aos impactos antrópicos na bacia hidrográfica e para que se planeje sua ocupação e seja exercido o necessário controle de impactos (Braga et al., 2006).

O processo de eutrofização pode ser definido como o aumento da fertilidade dos ambientes aquáticos provocado pela entrada excessiva de nutrientes, principalmente o fósforo total e nitrogênio nos corpos hídricos, levando ao crescimento acelerado das plantas aquáticas (Batista et al, 2014).

Esse fenômeno pode ocorrer naturalmente em escalas de meses a até milhares de anos, mas pode ser rapidamente acelerado pelo excesso de nutrientes lançados nos cursos d'água decorrentes das atividades humanas (Smaha & Gobbi, 2003). A eutrofização artificial causa grandes perdas à qualidade da água a partir de ações antrópicas, como a irrigação e a descargas de efluentes domésticos. (Rosanova et al, 2018).

A eutrofização pode levar à alteração no sabor, no odor, na turbidez, na cor da água e na redução do oxigênio dissolvido, resultando no crescimento excessivo de plantas aquáticas, na mortandade de peixes e outras espécies aquáticas, além do comprometimento das condições mínimas para o lazer no corpo hídrico (Smith & Schindler, 2009)

Um dos impactos mais preocupantes da aceleração do processo de eutrofização é o aumento da probabilidade de ocorrência de florações de algas, principalmente as cianobactérias potencialmente tóxicas, as quais podem alterar a qualidade das águas, sobretudo no que tange ao abastecimento público (Barreto et al., 2013).

Um indicador como um índice de estado trófico funciona como um registro das atividades humanas nas várias bacias hidrográficas, além de oferecer subsídios para a formulação de planos de manejo e gestão de ecossistemas aquáticos (Fia et al., 2009).

O Índice do Estado Trófico 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, 2017).

3.6 Salinidade

O Nordeste do Brasil é marcado pela má distribuição das chuvas, que se concentram praticamente num único trimestre no ano. (Araújo Neto et al, 2014).

Açudes contribuem significativamente para o abastecimento hídrico na região nordeste, contudo, se deparam com um novo empasse: a qualidade da água em muitos reservatórios não é adequada para múltiplos usos (Palácio, 2011). Um dos problemas mais graves dos reservatórios é a salinização (Araújo Neto et al, 2014).

A água estocada nos reservatórios superficiais sofre alterações na sua qualidade causadas por processos físicos, químicos e biológicos e, dentre os processos físicos, um dos que contribuem de maneira determinante para a salinização é a evaporação (Meireles et al., 2007)

Na bacia hidrográfica, na esfera do exutório, ao utilizar os seus recursos hídricos, a ação antrópica diminui o fluxo de água doce ao estuário. A retirada da água a montante na bacia condiciona uma maior intrusão do mar no continente. Quanto mais adentra no continente, menor é a disponibilidade de água doce na zona costeira, que devido a mistura com a água do mar torna-se salgada. (Loitzenbauer & Mendes, 2011)

Salinidade é definida como a concentração total dos íons dissolvidos. Assim, quanto maior a salinidade da água, maior a quantidade de sólidos dissolvidos nesta, e maior sua condutividade elétrica, pois os íons são partículas carregadas eletricamente (Logan,1965)

A condutividade elétrica é uma propriedade iônica que indica a capacidade de condução de corrente elétrica na água, e é diretamente proporcional à concentração de sais dissolvidos, (íons). A condutividade elétrica aumenta com a ascensão temperatura e varia com o tipo de sal dissolvido para uma mesma concentração (Logan,1965).

3.7 Estatística multivariada

Atualmente, há uma vasta quantidade de dados que cobrem vários aspectos das atividades humanas e que dizem respeito às diferentes áreas de conhecimento. A complexidade de vários fenômenos requer uma análise de muitas variáveis diferentes, assim percebe-se uma necessidade de procedimentos de análise e interpretação adequados para a extração das informações, principalmente para tomada correta de decisões (Bakke et al., 2008).

A estatística mostra-se, cada vez mais, como uma poderosa ferramenta para a análise e avaliação de dados, em várias áreas do conhecimento. Os métodos estatísticos, para analisar

variáveis, estão dispostos em dois grupos: um que trata da estatística, que olha as variáveis de maneira isolada – a estatística univariada, e outro que olha as variáveis de forma conjunta – a estatística multivariada (Vicini, 2005).

A denominação “Análise Multivariada” corresponde a um grande número de métodos e técnicas que utilizam simultaneamente todas as variáveis na interpretação teórica do conjunto de dados obtidos (Moita Neto, 2004).

Quando o interesse é verificar como as amostras se relacionam, ou seja, o quanto estas são semelhantes, segundo as variáveis utilizadas no trabalho, destacam-se dois métodos, que podem ser utilizados: a análise de agrupamento hierárquico e a análise fatorial com análise de componentes principais (Vicini, 2005).

O objetivo principal da análise de componentes principais é o de explicar a estrutura da variância e covariância de um vetor aleatório, composto de p-variáveis aleatórias, por meio de combinações lineares das variáveis originais. Essas combinações lineares são chamadas de componentes principais e são não correlacionadas entre si (Sandanielo, 2008).

O método das componentes principais é um dos mais usados para resolver problemas clássicos de análise fatorial. Essa análise permite a redução da dimensão de dados, facilitando a extração de informações que serão de grande relevância na avaliação da qualidade das águas e no manejo da bacia (Andrade et al., 2007). Este tipo de análise reduz os dados de observação e permite a interpretação de diversos constituintes individualmente, uma vez que indica associações entre amostras e/ou variáveis e, ainda, possibilita identificar os possíveis fatores/fontes que influenciam o sistema de água (Palácio et al., 2011).

3.8 Programa Água Azul – PAA

Este tem a finalidade de monitorar os corpos de águas superficiais e subterrâneos do Rio Grande do Norte mais relevantes, principalmente para abastecimento, abrangendo as bacias hidrográficas dos rios Apodi-Mossoró, Boqueirão, Ceará-Mirim, Curimataú, Jacu, Maxaranguape, Pirangi, Piranhas-Açu, Potengi, Punaú, Doce e Trairi, além das Faixas Litorâneas Leste e Norte de Escoamento Difuso. Além disso, o PAA monitora a balneabilidade das praias e de alguns balneários interiores, tendo por objetivos:

- Identificar e avaliar as condições da qualidade das águas dos principais corpos d'água interiores do Rio Grande do Norte (águas de superfície) através do monitoramento sistemático conforme os condicionamentos e padrões estabelecidos pelas Resoluções

CONAMA N° 357/2005 e 396/2008, com a finalidade de projetar situações futuras de uso e preservação dessas águas para o consumo humano e demais usos preponderantes;

- Estimar a qualidade ecológica da água através de índices bióticos nos trechos escolhidos a partir de coletas sistemáticas de organismos bentônicos;
- Fornecer ao IDEMA e ao IGARN, ao longo do período de monitoramento, subsídios para desenvolver investigações com vistas à identificação de fontes potenciais de poluição dos recursos hídricos estudados, bem como o desenvolvimento e implementação de ações mitigadoras, visando à efetivação de metas que assegurem os usos preponderantes de acordo com o enquadramento dos respectivos corpos d'água;
- Divulgar relatórios técnicos trimestrais e semestrais contendo informações a respeito das condições de qualidade das águas dos corpos d'água monitorados.

4. MATERIAL E MÉTODO

A pesquisa se deu em dois segmentos, o primeiro concerniu em aplicar a técnica de estatística multivariada, através do software apropriado, para destacar as variáveis preponderantes, dentre todas as medidas, que resultam no Índice de Qualidade de Água (IQA). O segundo segmento foi conduzido com uma análise temporal quanto à salinidade e ao Índice de Estado Trófico (IET) da bacia do Rio Apodi Mossoró, por meio de gráficos e tabelas do executados em software específico.

4.1 Área de estudo

A área de interesse do presente trabalho é a bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró, conforme ilustrado na Figura 4. É uma bacia do tipo exorréica, ou seja, é uma bacia que desagua diretamente no mar, sendo a segunda maior do estado do Rio Grande do Norte, que drena uma área de aproximadamente 15.500km² (Lima, 2008; Carvalho, 2011).

Essa região caracteriza-se climaticamente inserida em região semiárida, apresentando temperatura média anual de 28,5°C e precipitação concentrada, principalmente no período de março a abril (Bezerra et al., 2013), e encontra-se insulada entre a chapada do Araripe (800 a 1000m) e o planalto da Borborema (670 a 1100m) (Rocha et al., 2009). Com uma área de 14.276 km², equivalente a 26,8% da área estimada do Estado, representa a maior bacia hidrográfica genuinamente potiguar. São cadastrados 618 açudes, totalizando um volume de 469.714.600

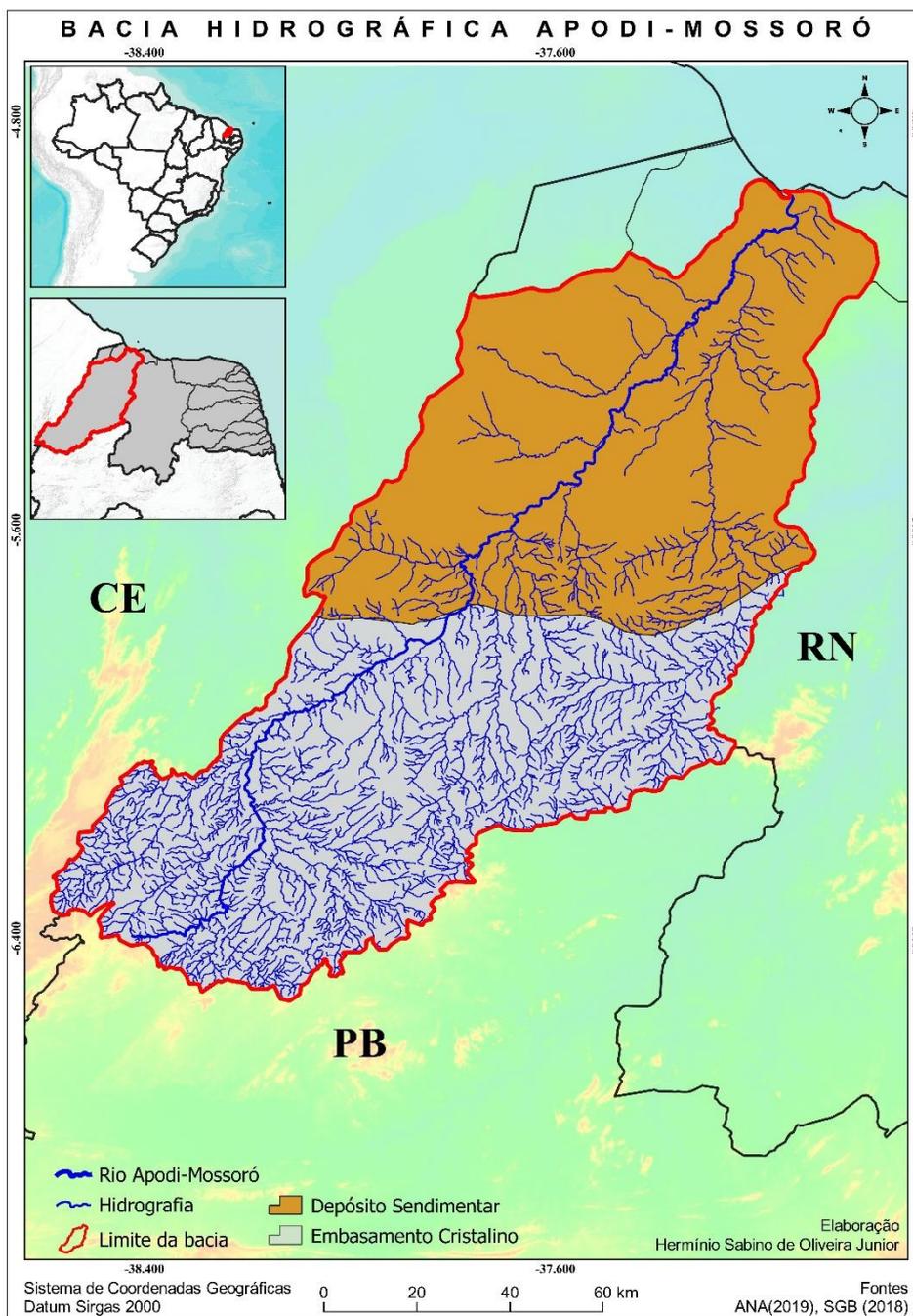
m³ de água, o que corresponde, respectivamente, a 27,4% e 10,7% do total de açudes e volumes acumulados no Rio Grande do Norte (Oliveira et al., 2009).

O clima predominante é quente do tipo BSW'h' segundo a classificação de Koppen, com duas estações bem definidas, uma chuvosa e outra seca. Nas áreas serranas das bacias, nas proximidades das nascentes ocorre o tipo AW, caracterizado por um clima tropical chuvoso com verão seco e estação chuvosa no outono. Os índices pluviométricos médios das bacias estão entre 550 e 800 mm por ano (Rocha et al., 2009).

Do ponto de vista da geologia e da hidrologia o sistema Apodi/Mossoró está dividido em duas regiões: (a) a área cristalina, ao sul, com 6.500 km² e (b) a área sedimentar, ao norte, com 4.500 km² (Figura 4). Sobre essas formações geológicas são efetuadas diferentes captações de água (Souza et al., 2012):

- Cristalina - em forma de açude para o consumo doméstico e a criação de extensiva de gado;
- Sedimentar - poços com destaque para a irrigação de fruticultura e abastecimento urbano.

Figura 4: Localização da bacia hidrográfica do Rio Apodi-Mossoró



Fonte: Luís César de Aquino Lemos Filho em colaboração com Hermínio Sabino de Oliveira Junior (2020)

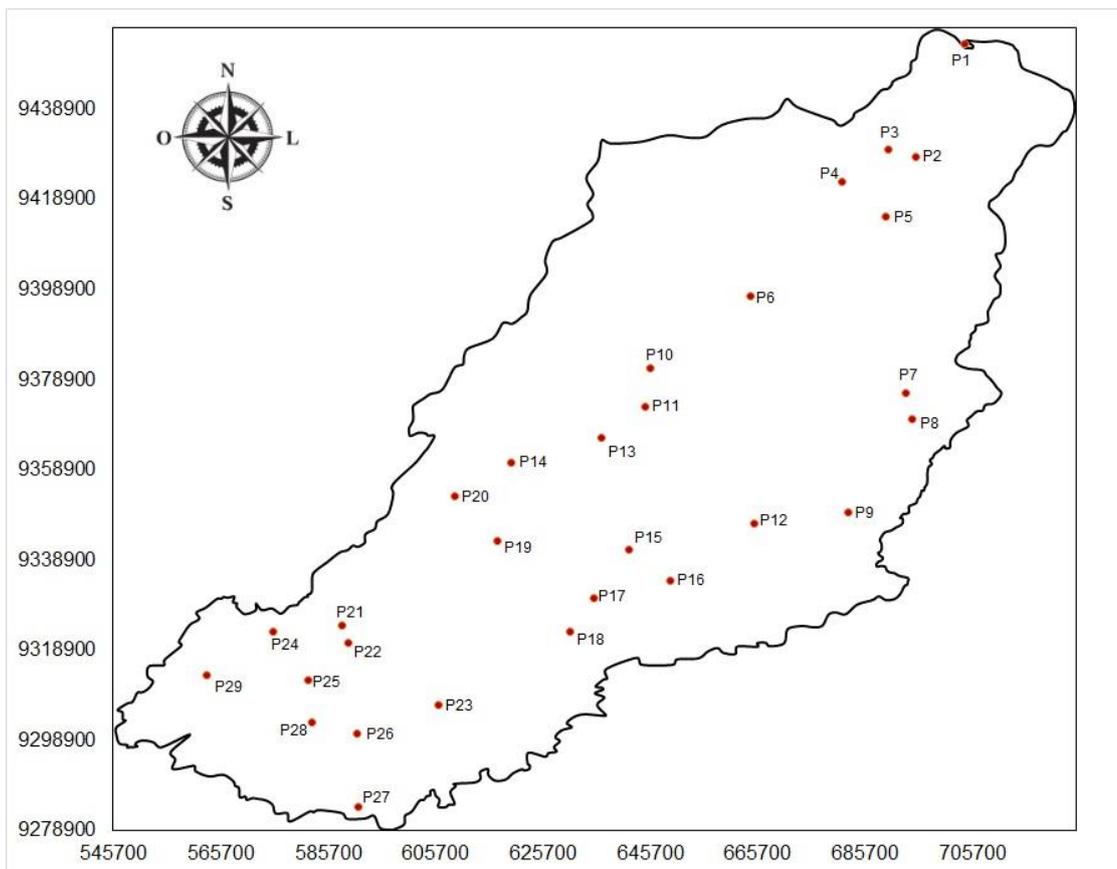
4.2 Período de estudo e coleta de dados

O PAA produziu múltiplos relatórios entre os anos de 2008 a 2016, com exceção do ano de 2013, para todas as bacias do estado já citadas. Na elaboração desses relatórios foram obtidos atributos que originaram 10 indicadores, que servem para determinar a qualidade dos corpos d'água existentes no estado. Para esta pesquisa foram analisados os índices: salinidade, índice

de estado trófico – IET e o índice de qualidade de água – IQA, e seus indicadores, para a bacia do rio Apodi-Mossoró.

A coleta das amostras para análise dos atributos foi efetuada em 30 pontos na extensão da bacia, esses pontos estão localizados em açudes e barragens em diversas cidades, locais ao longo do curso do rio Apodi-Mossoró e, também no seu exutório, como mostrado na Figura 5 e na Tabela 1:

Figura 5: Distribuição espacial dos pontos de coleta do PAA para Bacia Apodí-Mossoró



Fonte: Luís César de Aquino Lemos Filho (2020)

Tabela 1: Informações sobre as estações de coleta do Programa Água Azul.

ESTAÇÕES DE COLETA			
SIGLA	NOME	DESCRIÇÃO	MUNICÍPIO
APM01	Açude Encanto	Açude	Encanto
APM02	Açude Bonito II	Açude	São Miguel
APM03	Açude Jesus, Maria, José - Umororó	Açude	Tenente Ananias
APM04	Açude Flechas	Açude	São José da Penha
APM05	Barragem de Pau dos Ferros	Açude	Pau dos Ferros
APM06	Açude Pilões	Açude	Pilões
APM07	Açude Marcelino Vieira	Açude	Marcelino Vieira
APM08	Açude 25 de Março	Açude	Pau do Ferros
APM09	Açude Lucrecia	Açude	Lucrecia
APM10	Açude Rodeador	Açude	Rafael Godeiro
APM11	Açude Brejo	Açude	Olho D'água dos Borges
APM12	Açude Malhada Vermelha	Açude	Severiano Melo'
APM13	Açude Passagem	Açude	Rodolfo Fernandes
APM14	Açude Morcego	Açude	Augusto Severo
APM15	Açude Santo Antônio	Açude	Caraúbas
APM16	Açude Apanha Peixe	Açude	Caraúbas
APM17	Barragem Santa Cruz	Açude	Apodi
APM18	Rio Apodi-Mossoró – Pedra de abelhas	Rio	Felipe Guerra
APM19	Rio Apodi-Mossoro – Gov. Dix-Sept Rosado	Rio	Governador Dix-Sept Rosado
APM20	Rio Apodi-Mossoro – Barragem de Genésio	Rio	Mossoró
APM21	Rio Apodi-Mossoro – Passagem de pedra	Estuário	Mossoró
APM22	Estuário Rio Apodi-Mossoro – Areia Branca	Estuário	Areia Branca
APM23	Açude Riacho da Cruz	Açude	Riacho da Cruz
APM24	Barragem Umari	Açude	Upanema
APM25	Rio do Carmo - Upanema	Rio	Upanema
APM26	Rio do Carmo – Fazenda Angicos	Rio	Mossoró
APM27	Açude Tourão	Açude	Tourão
APM28	Açude Santana de Pau dos Ferros	Açude	Pau dos Ferros
APM29	Rio Apodi-Mossoró Jusante de Pau dos Ferros	Rio	Pau dos Ferros
APM30	Rio do Carmo – BR110	Estuário	Mossoró

Fonte: Adaptado Programa Água Azul (2016)

Para o cálculo do IQA, foram utilizados nove indicadores recomendados pela CETESB, considerados os mais importantes na qualificação da água, e para cada um deles definiu-se um peso significativo da sua importância na determinação do índice. Na Tabela 2 são apresentados os indicadores componentes do IQA, bem como seus respectivos pesos. Pode-se verificar que o somatório dos pesos é igual a 1,00 (Programa Água Azul, 2016).

Tabela 2: Pesos das variáveis de IQA utilizados pelo Programa Água Azul.

Nº	Indicador	Unidade	Peso(W)
1	Oxigênio Dissolvido	%saturação'	0,17
2	Coliformes Termotolerantes	NMP/100ml	0,15
3	pH	-	0,12
4	DBO ₅	mg O ₂ /L	0,10
5	Nitrogênio Total	mg /L	0,10
6	Fósforo total	mg /L	0,10
7	Turbidez	uT	0,08
8	Sólidos Totais	mg /L	0,08
9	Temperatura de desvio	°C	0,10

Fonte: Adaptado Programa Água Azul (2016); adaptado Cetesb (2009).

O IQA pode ser calculado através de duas expressões matemáticas que definem o IQA aditivo (IQAA) conforme equação 1, e o IQA multiplicativo (IQAM) conforme equação 2, ou seja:

$$IQAA = \sum_{i=1}^9 qi \times Wi \quad (1)$$

$$IQAM = \prod_{i=1}^9 qi^{Wi} \quad (1)$$

Em que:

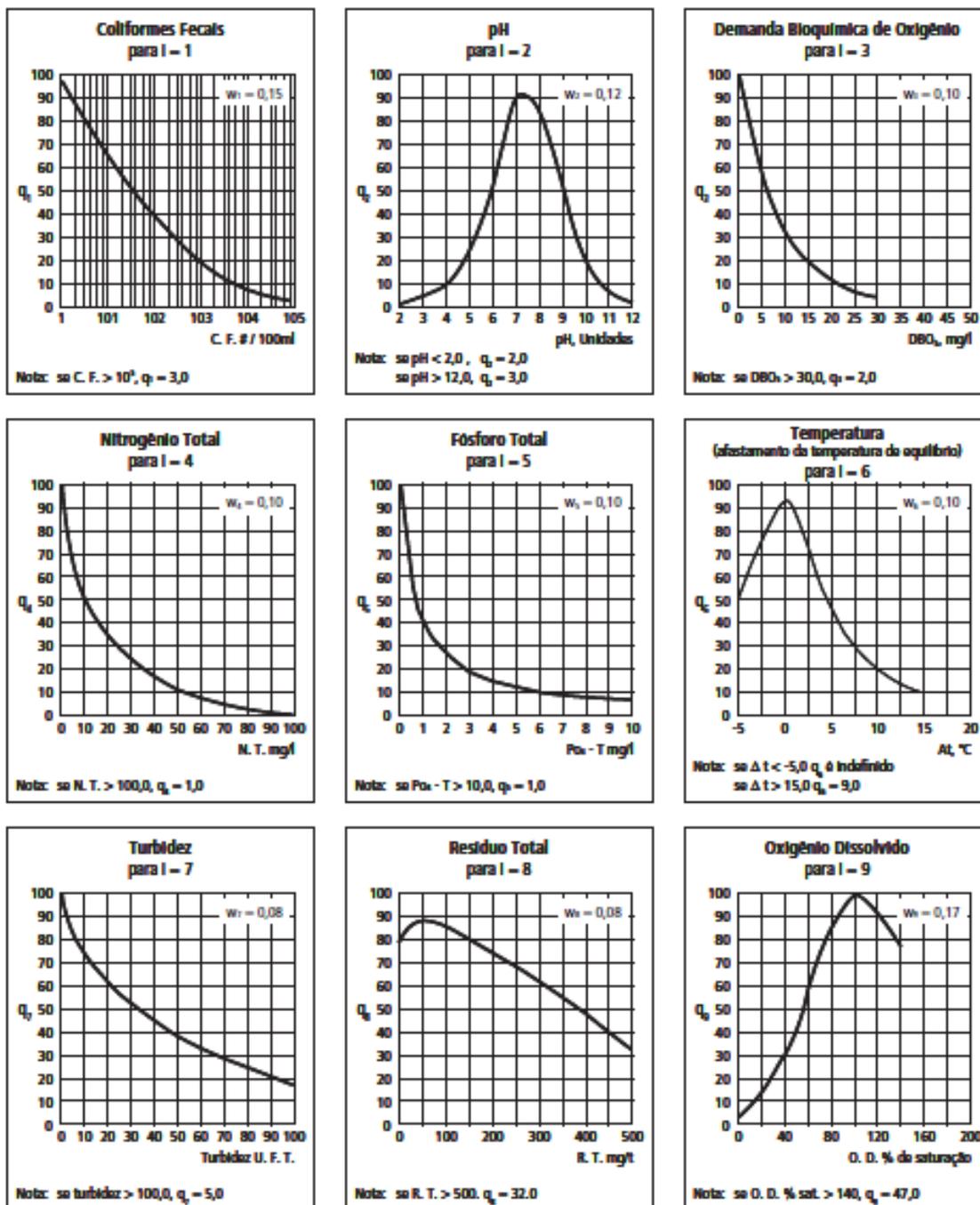
IQA = índice de qualidade da água, representado por um número em escala contínua de 0 a 100.

qi = qualidade individual (sub-índice de qualidade) do iésimo parâmetro, um valor entre 0 e 100.

Wi = peso unitário do iésimo parâmetro.

Os valores de sub-índice (q_i) podem ser encontrados utilizando as “curvas-médias” desenvolvidas Cetesb como mostrado na Figura 6:

Figura 6: Curvas Médias de variação da Qualidade das Águas.



Fonte: Cetesb (2020)

No caso de não se dispor do valor de alguma das 9 variáveis, o cálculo é inviabilizado. O IQA possui faixas que variam de 0 (zero) a 100 (cem), sendo que quanto maior o seu valor,

melhor é a qualidade da água, como pode ser evidenciado na Tabela 3 (Programa Água Azul, 2016).

Tabela 3: Categoria de qualidade de água quanto ao IQA.

Ponderação	Categoria
$90 \leq IQA \leq 100$	Excelente
$70 \leq IQA < 90$	Bom
$50 \leq IQA < 70$	Médio
$25 \leq IQA < 50$	Ruim
$IQA < 25$	Muito Ruim

Fonte: Adaptado CETESB (2017)

4.3 Cálculo do Índice De Estado Trófico – IET

Para determinar os valores de IET da bacia, o IGARN e a UERN adaptaram para a nossa realidade os cálculos desenvolvidos pela CETESB (2007). Inicialmente o IET é obtido através de uma equação que considerando três variáveis, mas, tendo em vista que o o valor de transparência da água não é representativo no estado de trofia, este é descartado na equação ajustada pela Cetesb, sendo utilizadas as variáveis clorofila ‘a’ e fósforo total (Programa Água Azul, 2016).

O Índice do Estado Trófico (IET) é composto pelo Índice do Estado Trófico para o fósforo – IET(P), e o Índice do Estado Trófico para a clorofila a – IET(CL), sendo estabelecidos para ambientes lóticos (rios) e lênticos (reservatórios), respectivamente, segundo as equações a seguir:

- Rios (também usada, neste relatório, para estuários)

$$IET_{CL} = 10 \times (6 - ((-0,7 - 0,6 \times (\ln CL)) / \ln 2)) - 20 \quad (3)$$

$$IET_{PT} = 10 \times (6 - ((0,42 - 0,36 \times (\ln PT)) / \ln 2)) - 20 \quad (4)$$

- Reservatórios (açudes e lagoas)

$$IET_{CL} = 10 \times (6 - ((0,92 - 0,34 \times (\ln CL)) / \ln 2)) \quad (5)$$

$$IET_{PT} = 10 \times (6 - ((1,77 - 0,42 \times (\ln PT)) / \ln 2)) \quad (6)$$

- Valor IET

$$IET = [IET_{PT} + IET_{CL}/2] \quad (7)$$

Em que:

PT = concentração de fósforo total medida à superfície da água, em $\mu\text{g.L}^{-1}$

CL= concentração de clorofila 'a' medida à superfície da água, em $\mu\text{g.L}^{-1}$

ln = logaritmo natural

No caso de não haver resultados para o fósforo total ou para a clorofila 'a', o índice será calculado com o parâmetro disponível e considerado equivalente ao IET, devendo apenas constar uma observação junto ao resultado, informando que apenas um dos atributos foi utilizado. (Programa Água Azul, 2016).

A tabela 4 apresenta a classificação das águas naturais segundo o IET:

Tabela 4: Categoria da água quanto ao IET

Ponderação	Categoria Estado Trófico
$IET \leq 47$	Ultraoligotrófico
$47 < IET \leq 52$	Oligotrófico
$52 < IET \leq 59$	Mesotrófico
$59 < IET \leq 63$	Eutrófico
$63 < IET \leq 67$	Supereutrófico
$IET > 67$	Hipereutrófico

Fonte: Adaptado Cetesb (2017)

4.4 Medição do valor da salinidade

Os valores do indicador salinidade foram obtidas por leitura direta, através das medições efetuadas pelo Instituto de Gestão de Águas do Rio Grande do Norte – IGARN, por meio de uma sonda multiparâmetro modelo Horiba U20XD (Programa Água Azul, 2016). Na Figura 7 uma imagem de um equipamento similar utilizado nas medições de salinidade.

Figura 7: Equipamento similar ao utilizado nas medições de salinidade.



Fonte: < https://www.expotechusa.com/Catalog_Horiba/Horiba-U-20-XD.pdf> Acesso em 16/06/2020

4.5 Análise gráfica e estatística multivariada

O IQA é um índice de qualidade de água que, como já foi explicado anteriormente, é um produto de uma equação com nove indicadores de qualidade de água. Grande parte deste trabalho concerne em aplicar o recurso da estatística multivariada para demonstrar quais os indicadores de maior contribuição e significância entre esses nove presentes.

O método de análise multivariada utilizado foi a Análise Fatorial (AF)/Análise de Componentes Principais (ACP), que tem por objetivo encontrar um meio de condensar a informação contida em um número de variáveis originais em um conjunto menor de variáveis estatísticas (fatores ou componentes) com uma perda mínima de informações (Hair et al., 2005).

A análise AF/ACP demanda três etapas: a) preparação da matriz de correlação; b) extração dos fatores comuns e a possível redução do espaço e c) rotação dos eixos relativos aos fatores comuns, visando uma solução mais simples e facilmente interpretável (Toledo & Nicollela, 2002).

Os dados anuais de IQA foram sintetizados em uma única tabela com os valores médios (calculados a partir dos valores médios anuais) para cada ponto de medição, como indicado na tabela 5, e a execução da AF/ACP se deu da seguinte forma: construiu-se uma matriz de dados expressos por $X=(x_{i,j})$, em que $i=1...n$ amostragens (30) e $j=1...p$ variáveis (9). Logo após, transformou-se a matriz de dados originais (30×9) em uma matriz de correlações [R] ($p \times p$),

na qual p corresponde às nove variáveis de qualidade da água a serem analisadas. Posteriormente, essa matriz foi decomposta e deu origem aos fatores, formando assim um novo conjunto de variáveis, denominadas de Componentes Principais (CP) (Ceconello et al., 2018), e ainda, a eficiência da descrição dos dados por meio das componentes vai depender da porcentagem de variação total que cada componente contém, pela qual é representada pelos autovalores (Hair et al., 2005). Essa operação foi efetuada tanto para os dados de médias gerais como também para os dados de médias anuais, por intermédio do software direcionado a fazer cálculos estatísticos.

Tabela 5: Médias dos valores anuais dos indicadores que compõem o IQA disponibilizados pelo PROGRAMA ÁGUA AZUL.

ÍNDICE IQA									
Pontos de amostra	Variáveis								
	Temp	ph	OD	DBO	C. T.	Nit. T.	Fós. T.	Sól. T.	Tur
APM01	27,913	8,300	7,385	9,304	375,625	6,030	0,231	214,750	26,573
APM02	26,956	8,121	6,725	6,303	177,313	3,486	0,478	509,738	35,125
APM03	27,340	8,136	7,000	9,792	188,700	5,242	0,458	160,160	8,418
APM04	27,831	8,548	6,735	8,759	168,625	535,685	1,106	478,538	39,169
APM05	27,950	8,504	7,459	11,813	9,571	7,015	0,352	436,306	25,786
APM06	28,207	8,203	8,237	10,053	9,643	37,952	0,397	381,400	21,586
APM07	27,343	8,136	7,320	9,510	17,429	7,050	0,841	267,603	19,679
APM08	28,500	8,130	8,800	9,200	14,000	8,452	0,341	241,400	9,000
APM09	28,386	8,445	7,891	7,160	12,571	9,374	0,249	373,271	30,493
APM10	29,256	8,402	8,125	7,860	1,500	4,232	0,504	275,325	24,519
APM11	28,193	8,569	6,746	8,590	10,643	13,186	0,231	2373,586	113,950
APM12	28,394	8,154	7,111	8,329	82,563	7,053	0,558	1703,225	61,516
APM13	27,981	8,284	7,364	6,990	22,500	6,572	0,507	251,975	28,515
APM14	28,000	8,504	7,041	6,510	8,938	3,621	0,266	297,991	75,375
APM15	28,950	8,518	7,846	7,603	83,500	5,974	0,411	794,048	29,819
APM16	28,208	8,128	6,537	4,710	28,167	171,633	0,450	591,053	288,200
APM17	29,275	8,144	7,155	9,771	55,000	124,834	0,192	239,263	14,230
APM18	27,819	7,480	6,381	5,043	188,688	2,001	0,281	269,195	8,574
APM19	27,506	7,509	7,983	6,134	212,688	4,350	0,245	338,310	9,886
APM20	27,350	7,420	7,779	8,479	172,500	2,613	0,859	746,635	23,683
APM21	27,163	8,156	7,074	8,434	984,656	10,307	1,359	1413,224	36,378
APM22	26,994	7,857	6,178	5,881	867,146	4,594	0,594	22330,930	19,361
APM23	29,200	8,433	7,725	6,800	6,083	7,327	0,317	266,680	71,925
APM24	28,819	8,109	7,795	10,785	48,125	4,396	0,159	174,410	17,390
APM25	27,429	7,763	6,481	3,971	83,214	3,854	0,333	105,786	8,870
APM26	28,800	7,888	7,247	5,867	219,417	4,290	0,336	131,360	3,153
APM27	27,993	8,427	6,713	9,969	15,000	9,359	0,330	7043,914	23,307
APM28	28,438	8,334	5,720	4,155	37,500	4,528	0,261	254,200	39,338
APM29	28,300	8,320	9,395	15,750	54,500	13,024	0,076	702,000	17,800
APM30	26,933	8,015	5,574	8,858	1802,222	4,039	0,377	2106,194	128,592

Fonte: autoria própria (2020).

Para geração dos gráficos para análise do índice IET, foram selecionados a quantidade de eventos por intervalos de ponderação do índice, para cada ano analisado. A partir dessa

quantidade de eventos, foram gerados, para cada ano de análise, um gráfico do tipo radar, que é indicado para mostrar valores relativos a um ponto central.

Para efetivação do gráfico do índice salinidade, foram utilizados os valores médio anuais estimados para cada ano, dando origem a um gráfico do tipo ano *versus* valor de salinidade. O gráfico empregado foi o de área, que é indicado para mostrar tendência ao longo do tempo.

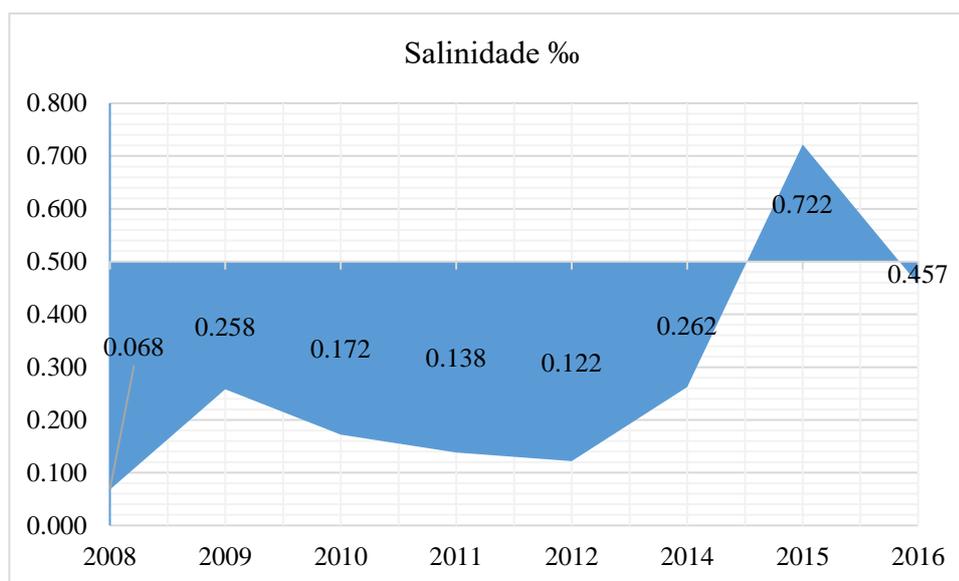
Os gráficos dos índices IET e salinidade foram executados no software voltado para produção de gráfico.

5. RESULTADOS DE DISCUSSÕES

5.1 Salinidade

A salinidade é um índice de pouca variabilidade, conforme mostrado no gráfico 1, exceto pelo ano de 2015. Na confecção do gráfico foram utilizados os valores médios anuais, mas foram retirados da contagem os pontos localizados em estuários, para não mascarar os valores médios gerais da bacia, pois os valores nesses pontos elevam o valor médio total, pelo mesmo motivo também foram retirados valores de alguns pontos excessivamente fora do padrão.

Figura 8: Gráfico do comportamento temporal da salinidade na bacia Apodi-Mossoró.



Fonte: autoria própria (2020).

Segundo definição da Resolução 357 do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, de 2007, a água da bacia é classificada como doce, pois seu teor de salinidade é inferior a 0,5‰, exceto no ano de 2015 onde a salinidade ficou entre 0,5‰ e 30‰ (Brasil, 2005):

Mas como é exposto, no ano de 2015 houve um aumento significativo da salinidade, levando as águas ao patamar de água salobra. Esse fato se deve a seguidos anos de seca (Tabela 6) que iniciaram desde o ano de 2012, pois, devido à falta de recarga na bacia e a alta taxa de

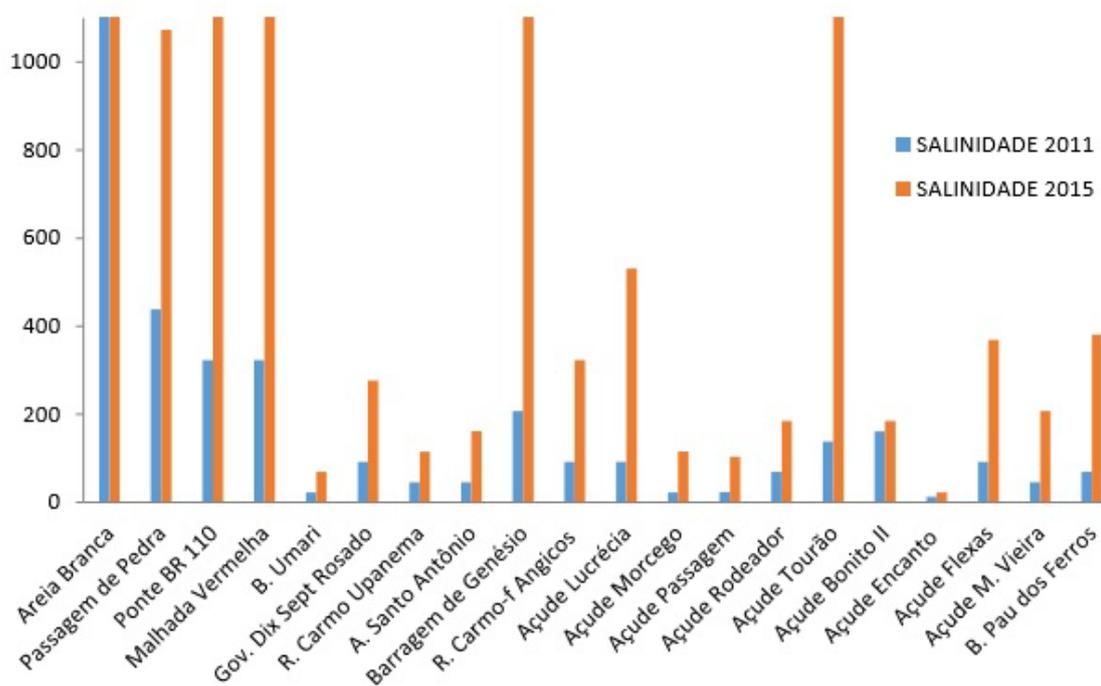
evaporação, a concentração de sais aumenta. Esse fato é ratificado pelo estudo de Silva et al (2015), que compara a salinidade na bacia entre os anos de 2011 e 2015, que, são respectivamente anos de elevado e restrito índices pluviométricos.

Tabela 6: Comportamento pluviométrico na Bacia Hidrográfica do Rio Apodi-Mossoró durante o período de 2008 a 2016.

Ano	Comportamento pluviométrico
2008	Dentro da Média
2009	Acima da Média
2010	Abaixo da Média
2011	Acima da Média
2012	Abaixo da Média
2013	Abaixo da Média
2014	Abaixo da Média
2015	Abaixo da Média
2016	Abaixo da Média

Fonte: Adaptado BESSA (2016)

Figura 9: Teores de salinidade nos anos de 2011 e 2015.



Fonte: SILVA et al, 2015.

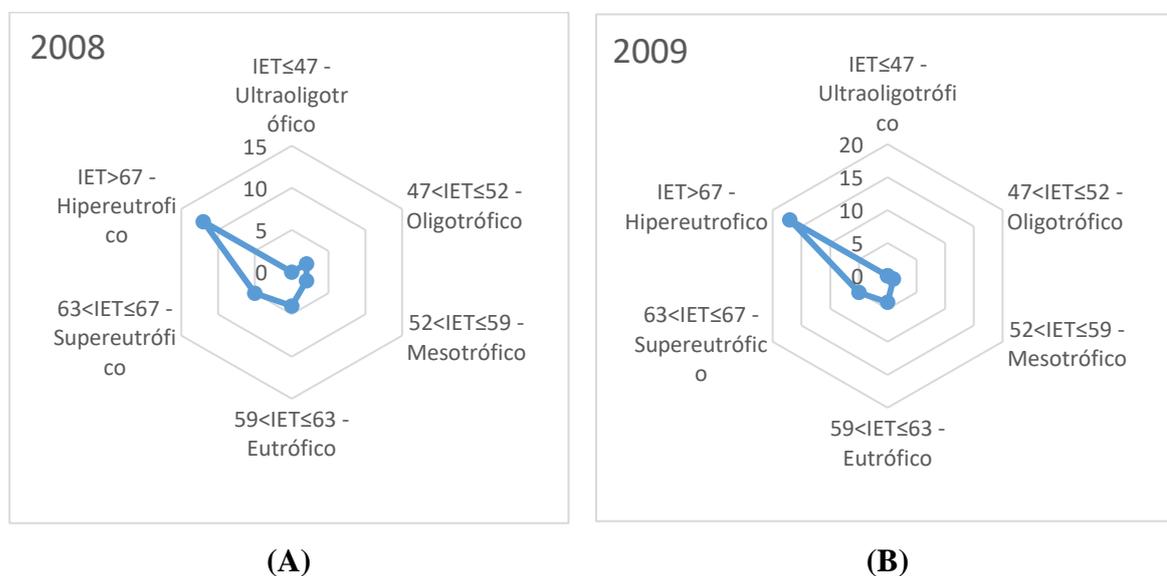
A salinização dos corpos d'água é um fator limitante para os seus múltiplos usos. Águas salobras e salinas, conforme Resolução CONAMA 357 não podem ser destinadas ao abastecimento para consumo humano (Brasil, 2005). Na agricultura irrigada, águas com alto

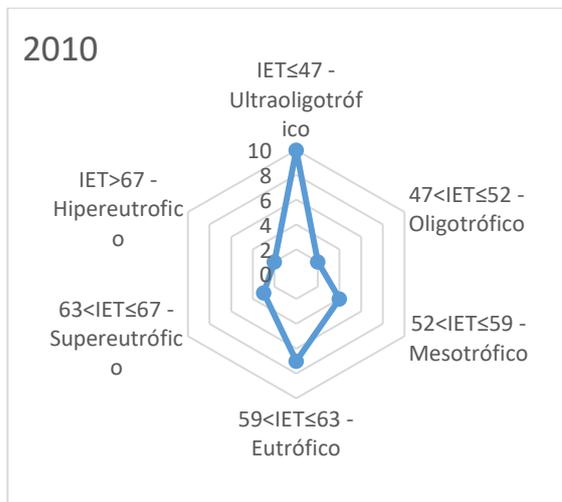
teor de salinização representam um problema, pois provocam excesso de sais no solo e a disponibilidade de água para as plantas é reduzida, além de ocasionar sodicidade e toxidez de alguns íons específicos (Ayers & Westcost, 1999). Esses são alguns exemplos de adversidades provocadas pela salinização dos recursos hídricos, em vista disto, deve-se ter atenção quanto ao uso de águas que estão ou que passaram por grande período de estiagem, se possível, efetuar tratamento prévio, como por exemplo a dessalinização de água salobra.

5.2 Índice De Estado Trófico – IET

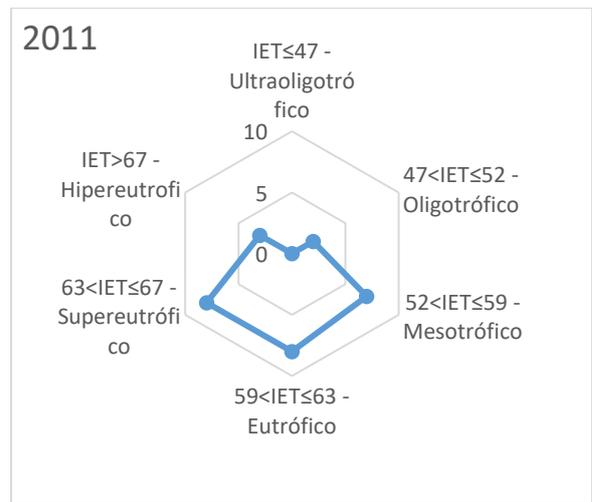
As investigações sobre o IET mostraram que, durante o tempo de monitoramento do PPA, a bacia hidrográfica de estudo apresentou um elevado nível de trofia, como indica os gráficos anuais. Percebe-se que a bacia, no decorrer do período monitorado, apontou para um comportamento hipereutrófico. Na Figura 10 estão apresentados os comportamentos do índice IET na bacia do Rio Apodi-Mossoró.

Figura 10: Comportamento da Bacia IET. (A)2008-Hipereutrófico; (B)2009-Hipereutrófico; (C)2010-Ultraoligotrófico; (D)2011-Supereutrófico; (E)2012-Hipereutrófico; (F)2014-Hipereutrófico; (G)2015-Hipereutrófico; (H) 2016-Hipereutrófico.

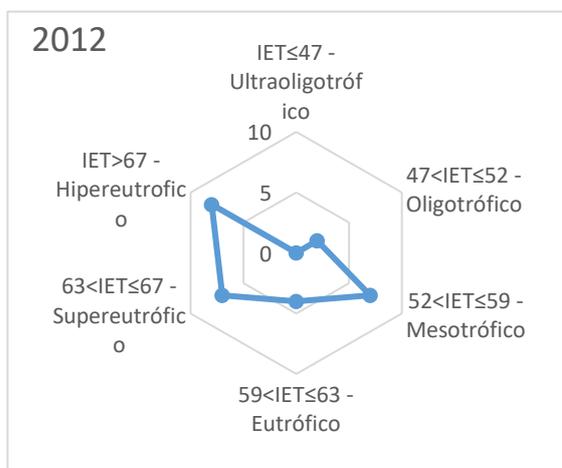




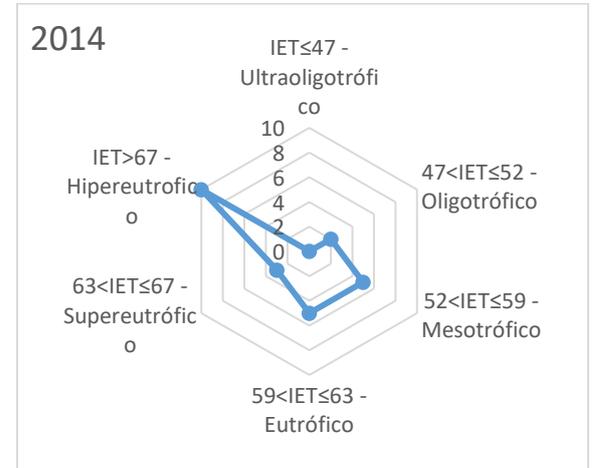
(C)



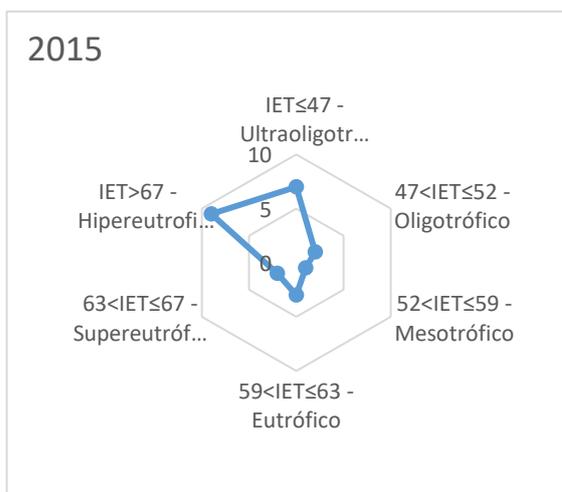
(D)



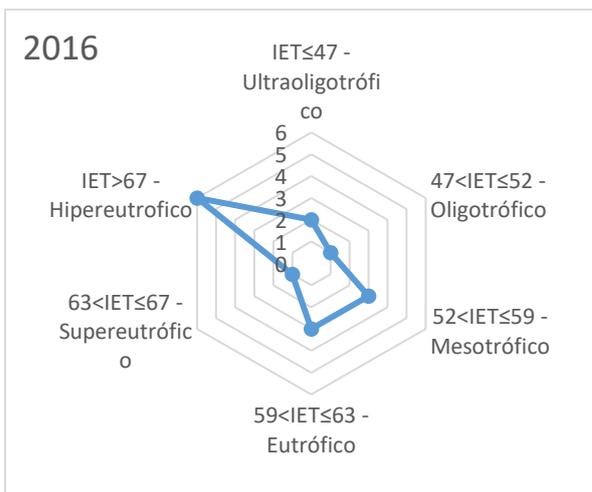
(E)



(F)



(G)



(H)

Fonte: Autoria própria (2020).

A eutrofização se dá devido ao enriquecimento de nutrientes, principalmente nitrogênio e fosforo, nos corpos d'água. Esses nutrientes são provenientes da carga poluidora que é lançada

nos cursos das bacias e produz profundas modificações quantitativas e qualitativas nas comunidades aquáticas e, nas condições físicas do meio, acarretam manifestação de cianobactérias e aumento na incidência de floração de algas e microalgas, muitas delas produtoras de citotoxinas (Esteves, 2011; Barbosa et al, 2006). O crescimento dessas algas altera todo o sistema químico d'água, afetando diretamente os níveis de oxigênio, que tem implicações na sobrevivência de outros organismos como os peixes, e nos níveis de dióxido de carbono, que tem impacto direto no pH (Smaha & Gobbi, 2003).

O fator eutrofização tornou-se um problema amplamente reconhecido de deterioração de qualidade da água (Ribeiro et al, 2005), de fato, no caso da bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró é notório os pontos de descarga de poluentes no seu trajeto, motivo pelo qual se justifica o resultado da análise gráfica, ilustrado nas Figuras 11 e 12.

Conciliado ao índice trófico elevado, está o aparecimento das cianobactérias. Estudos de Oliveira et al (2020) discorrem que, nos pontos do Açude de Pau dos Ferros, Açude de Lucrécia e Açude Rodeador, a densidade de cianobactérias se mostraram quase em sua totalidade, acima das normas que preconizam os limites máximos permitidos, de acordo com Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde e da Resolução 357/2005 do CONAMA, que determinam um limite de 20.000 cel/L ou 2mm³/L para águas doces classe 1.

Figura 11: Trecho urbano do rio Apodi-Mossoró com pontos de eutrofização, em Mossoró-RN.



Fonte: Autoria própria (2020)

Figura 12: Trecho urbano do rio Apodi-Mossoró com pontos de eutrofização, em Mossoró-RN.



Fonte: Autoria própria (2020)

Fato similar ocorre em reservatórios do estado limítrofe ao Rio Grande do Norte, a Paraíba, evidenciados por Vasconcelos et al (2011) que salientam: a ocorrência de florações de cianobactérias nos reservatórios da Paraíba tem sido registrada com frequência e aumentos sucessivos ao longo do tempo, notadamente entre os anos de 2006 a 2009. Dentre os 20 maiores reservatórios de abastecimento do estado, 3% apresentaram florações de cianobactérias no ano de 2006. Em 2007 o percentual passou a ser 20%, em 2008 45% e 62% em 2009. Esses dados se relacionam com o aumento da eutrofização associada aos impactos antropogênicos crescentes nas bacias hidrográficas.

Essas condições são agravadas pelo longo período de estiagem transcorrido (durante a amostragem do Programa Água Azul), exposto na Tabela 6. Avaliação sobre o IET do Açude Orós, no estado do Ceará, promovida por Batista et al (2014), corrobora com esse fato quando demonstra, através da Tabela 7, que em período chuvoso o volume do açude manifesta menor eutrofização, pois há uma maior diluição das águas, e, em períodos de estiagem, a eutrofização aumenta, pois acontece uma maior evaporação da água e conseqüentemente causa maior concentração de nutrientes.

Tabela 7: Valores médios de IET para água açude Orós.

Pontos	IET - Chuvoso	Categoria	IET - Estiagem	Categoria
P1	53,1	Mesotrófico	54,3	Eutrófico
P2	58,4	Eutrófico	55,5	Eutrófico
P3	56,1	Eutrófico	53,7	Mesotrófico
P4	51,5	Mesotrófico	59,2	Eutrófico
P5	53,8	Mesotrófico	60,6	Eutrófico
P6	52,9	Mesotrófico	55,3	Eutrófico
P7	53,3	Mesotrófico	56,9	Eutrófico

Fonte: Adaptado Batista et al (2014)

Assim, para uso dessa água se faz necessário tratamento prévio, mas é de maior dimensão iniciativas de recuperação e preservação dessa bacia, garantindo a qualidade perdurável da água.

5.3 Análise multivariada aplicada aos indicadores de qualidade que compõem o Índice de Qualidade de Água – IQA

Os resultados colhidos com a análise multivariada mostraram que, dentre os nove indicadores de qualidade da água integrantes no cálculo do IQA, numa análise média temporal dos dados disponíveis, as que mais contribuem são, em sequência, a temperatura, o nitrogênio total, a DBO e os sólidos totais. Essas variáveis juntas correspondem a cerca e 74% de significância.

Na Tabela 8 apresenta-se a matriz de correlação dos indicadores de qualidade de água que compõem o IQA. A matriz de correlação explica o quão o indicador está associado aos demais, os valores em destaque mostram os que são mais vinculadas. Ela aponta que cerca de 17,7% dos 45 coeficientes de correlação, apresenta correlação moderada, ou seja, se encontram no intervalo de $0,3 \leq r < 0,6$, de acordo com a classificação de Callegari-Jacques (2003), os demais coeficientes têm fraca correlação com os demais.

A matriz de correlação mostra que o indicador temperatura tem correlação positiva com os indicadores pH e oxigênio dissolvido (0,41 e 0,43), isto significa que, quando o valor da temperatura se eleva, esses indicadores tem a tendência de crescimento, o contrário acontece com os indicadores coliformes termotolerantes e fósforo total (-0,54 e -0,43), que tem correlação negativa com a temperatura, ou seja, quando o valor de temperatura se eleva no corpo hídrico, esses indicadores tem a tendência de redução da sua concentração.

O indicador oxigênio dissolvido possui correlação positiva com o valor do indicador DBO (0,54), mostrando que o valor de DBO acompanha o crescimento da concentração de oxigênio, e, apresenta correlação negativa com o indicador coliformes termotolerantes (-0,45), significando que, quando há maior concentração de oxigênio dissolvido na água, o valor do indicador CT é menor.

Os indicadores coliformes termotolerantes e nitrogênio total, têm correlação positiva, respectivamente, com os indicadores sólidos totais (0,36) e fósforo total (0,40), mostrando que, quando há uma maior concentração de coliformes termotolerantes o indicador sólidos totais tem tendência a acompanhar esse aumento, o mesmo acontece na correlação entre o nitrogênio total e o fósforo total.

É notado que a matriz de correlação apresenta duas divergências com a literatura científica, pois, as correlações entre temperatura e oxigênio dissolvido e entre o oxigênio dissolvido e o valor de DBO apontam para correlações diretamente proporcionais, e a literatura registra, em sua maioria, uma relação inversamente proporcional, isto é, o aumento relativo do valor do indicador faz com que o valor relativo do indicador correlacionado diminua. Ainda não há elementos que expliquem essa inconstância.

Tabela 8: Matriz de correlação dos indicadores do cálculo de IQA

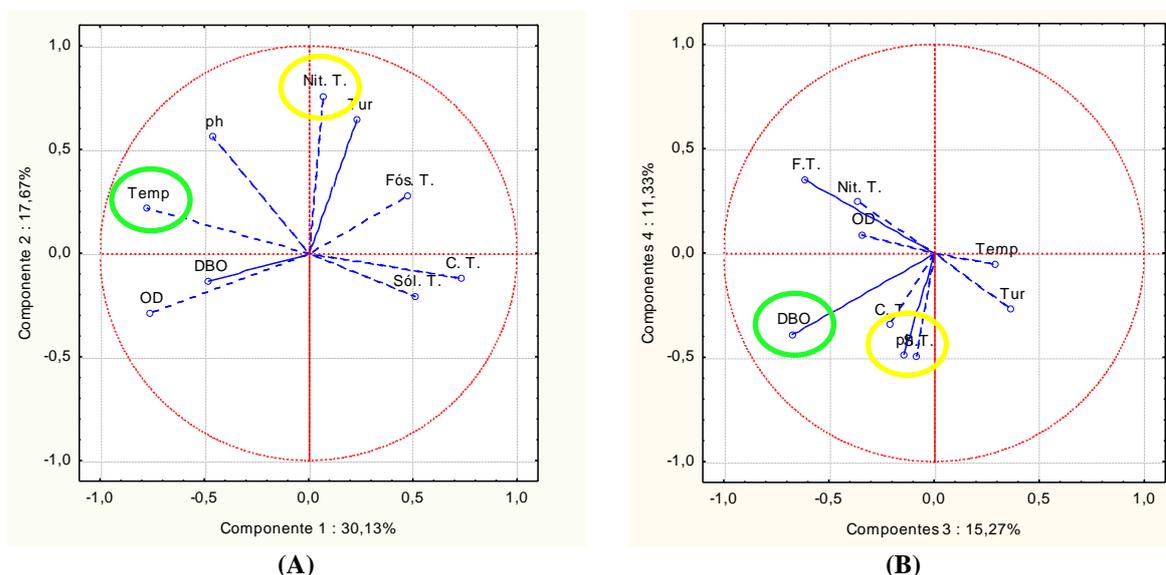
Indicador	Correlações (significantes em $p < 0,05$)								
	Temp.	pH	OD	DBO	CT	Nit. T.	Fós. T	Sol. T.	Tur
Temp.	1,00								
pH	0,41	1,00							
OD	0,43	0,12	1,00						
DBO	0,10	0,33	0,57	1,00					
CT	-0,54	-0,25	-0,45	-0,03	1,00				
Nit. T.	0,04	0,23	-0,14	0,02	-0,06	1,00			
Fos. T.	-0,43	-0,07	-0,16	-0,06	0,29	0,40	1,00		
Sol. T	-0,31	-0,12	-0,30	-0,10	0,36	-0,07	0,11	1,00	
Tur	-0,01	0,18	-0,34	-0,23	0,15	0,22	0	-0,03	1,00

Fonte: Autoria própria (2020)

Os gráficos sintetizam o comportamento de cada indicador em relação a cada componente principal gerada pela multivariada, que como já dito, juntas correspondem a cerca de 74% da relevância na equação do IQA. As Tabelas 9 e 10 ratificam e fazem a interpretação dos gráficos, a Tabela 9 aponta o valor das coordenadas de cada indicador nos gráficos, que, com seu valor em modulo, explica o alcance dos indicadores em cada componente, ou seja, quanto mais próximo de 1, maior peso na componente. A tabela 10 revela a ponderação de cada

indicador, em ordem decrescente, dentro do universo dos nove estudados, ou seja, identifica, em valores absolutos e percentuais, a influência de cada indicador diante do todo.

Figura 13: Gráficos de Componentes Principais IAQ. (A): variável mais relevante para componente 1 - temperatura, para componente 2 - nitrogênio total; (B): variável mais relevante para componente 3 - DBO, para componente 4 - sólidos totais



Fonte: autoria própria (2020)

Tabela 9: Coordenadas fatoriais dos nove indicadores do IQA

Indicador	Coordenadas fatoriais das variáveis, baseadas em correlações			
	Componente 1	Componente 2	Componente 3	Componente 4
Temp.	-0,776205	0,217582	0,290152	-0,051536
pH	-0,459702	0,561613	-0,147055	-0,487342
OD	-0,763442	-0,286332	-0,345454	0,087589
DBO	-0,478282	-0,136356	-0,676116	-0,389850
CT	0,731739	-0,119992	-0,208568	-0,344798
Nit. T.	0,070525	0,758185	-0,362528	0,244806
Fos. T.	0,476709	0,279030	-0,616376	0,353325
Sol. T	0,513373	-0,208873	-0,082509	-0,495299
Tur	0,235187	0,675417	0,360912	-0,266793

Fonte: autoria própria (2020)

Tabela 10: Valores absolutos e percentuais de autovalores das variáveis do IQA

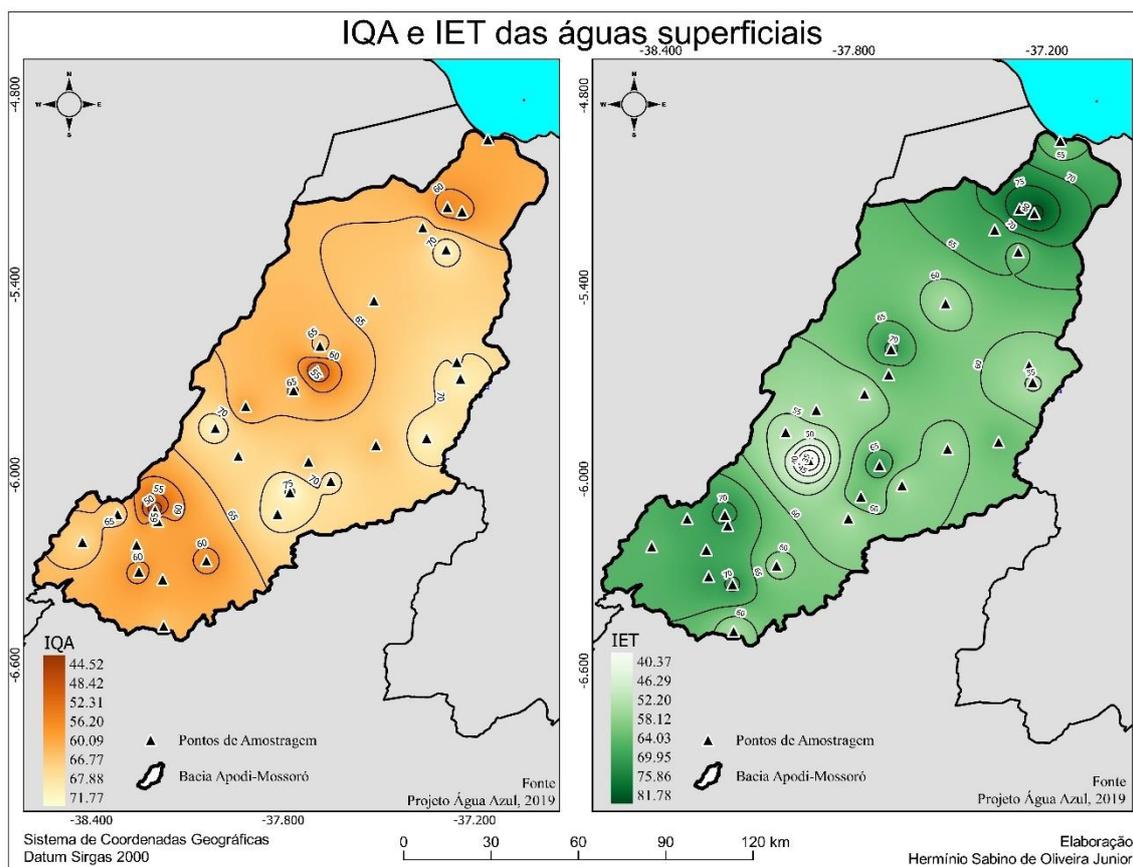
Número valor	Matriz de correlação de autovalores			
	Autovalor	Variância total (%)	Autovalor acumulado	Variância Acumulada (%)
1 (Temp)	2,711950	30,13278	2,711950	30,1328
2 (Nit. T)	1,590621	17,67356	4,302571	47,8063
3 (DBO)	1,374197	15,26885	5,676768	63,0752
4 (Sol. T.)	1,019966	11,33295	6,696734	74,4082
5	0,781525	8,68361	7,478259	83,0918
6	0,509469	5,66077	7,987728	88,7525
7	0,453547	5,03941	8,441275	93,7919
8	0,396899	4,40999	8,838174	98,2019
9	0,161826	1,79806	9,000000	100,0000

Fonte: autoria própria (2020)

O método de medição do índice IQA foi adaptado por uma Companhia ambiental localizada na região sudeste, onde o clima é o tropical e a temperatura gira em torno dos 20°C, em que é bem diferente da região de clima semiárido, em que a temperatura varia entre 23°C a 27°C, é congruente que a interposição da temperatura àquela região não seja a mesma à região semiárida, por esse motivo o peso atribuído a variável temperatura é reduzido, mas, para a realidade do semiárido, é praticável que a variável temperatura tenha maior peso, pois é fato que a temperatura elevada acelera a velocidade das reações.

Os indicadores nitrogênio total, DBO e sólidos totais demonstram os efeitos da poluição na bacia, que, é sabido que acontece, ratificado pelo alto grau de eutrofização atestados pelo item 5.2, como também pela demonstração espacial dos valores médios dos índices IQA e IET, para o mesmo período avaliado, como mostra a Figura 14. A Figura 14a evidencia baixos valores de IQA, denotando qualidade de água reduzida, da mesma forma, a Figura 14b indica elevados valores de IET, apontando para alto grau nos níveis de trofia. O nitrogênio é um nutriente que concorre para eutrofização dos corpos d'água, a DBO é a demanda biológica de oxigênio, que se trata de uma medição efetuada em efluentes, que também é um atributo de medição de poluição em meios aquáticos, o indicador é diretamente proporcional a poluição no corpo hídrico, e, o indicador de sólidos totais é um atributo de medição físico e corresponde a matéria que permanece como resíduo no meio áqueo.

Figura 14: Distribuição espacial do IQA (a) e do IET (b) para as águas superficiais na Bacia Hidrográfica do Apodi-Mossoró

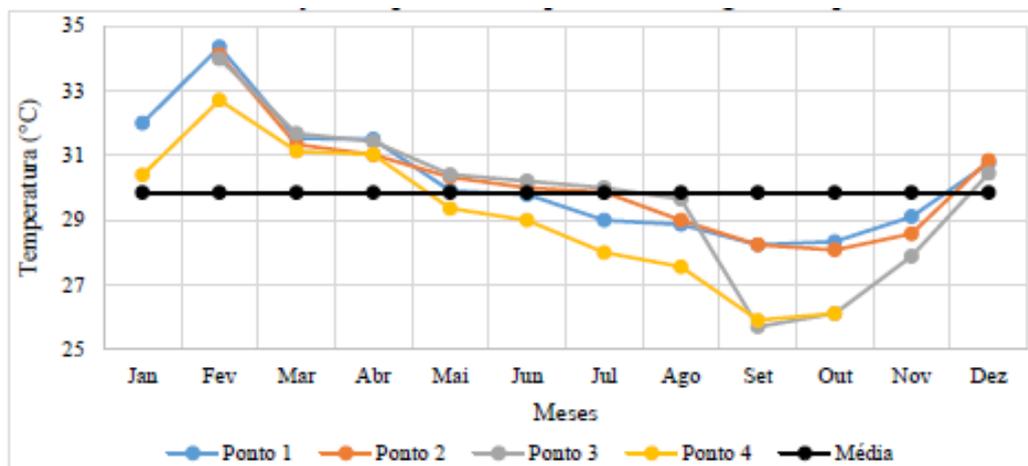


Fonte: Luís César de Aquino Lemos Filho em colaboração com Hermínio Sabino de Oliveira Junior (2020)

Estudos levantados por Silva (2018), na Lagoa do Apodi no ano de 2017, e por Santos (2014), nos reservatórios de Santa Cruz e Umari entre os anos de 2012 e 2013, todos localizados no Rio Grande do Norte, desvelam que a temperatura dos corpos d'água é comumente elevada e interfere diretamente em fatores bióticos e abióticos e em variáveis limnológicas, dentre elas o volume hídrico, que, associado a uma má distribuição pluviométrica, o rebaixa em grande parte do ano, circunstância que culmina numa menor concentração de oxigênio dissolvido, atributo inversamente proporcional à DBO. Quanto aos sólidos totais esses mesmos estudos apontam valores elevados desse atributo e está igualmente relacionado ao baixo volume hídrico, consequência das condições climáticas e sazonalidade das chuvas, e também, pode ser um indicador da carga de poluição. Esses mesmos fatores influenciam no indicador nitrogênio total, como salienta a pesquisa de Silva (2013), efetuada nos reservatórios de Pau do Ferros e Santa Cruz no ano de 2012, que apresentaram valores de concentração elevados. Em resumo, Silva & Souza (2013) discorrem que os resultados do IQA, como também seus atributos individuais são fortemente influenciados pelas atividades antropogênicas locais e pela chegada das chuvas,

sendo que no período chuvoso se tem uma melhora na qualidade da água (Silva, 2018; Santos, 2014; Silva, 2013; Silva & Souza, 2013).

Figura 15: Gráfico de distribuição temporal da temperatura na Lagoa do Apodi em 2017.



Fonte: Silva (2018)

O baixo índice pluviométrico atrelado a altas temperaturas explica a causa de essas 4 variáveis se sobressaírem às demais, numa análise empreendida a um período longo de estiagem, explicitado pela Tabela 6. A pesquisa foi empreendida sobre uma vasta gama de informações levantadas durante oito anos de PAA, e teve como resultância geral a necessidade de ajuste dos pesos das variáveis mais expressivas dentro do cálculo do IQA adaptando-o à realidade do clima semiárido.

Outra decorrência alcançada pela pesquisa é que a poluição na bacia hidrográfica do Rio Apodi-Mossoró age como elemento de degradação da água.

5.4 Indicadores de qualidade de água e gestão de bacias hidrográficas

De acordo com Marín et al (2016) a gestão de recursos hídricos no estado do rio Grande do Norte está estruturada da seguinte forma:

Figura 16: Estrutura da gestão de recursos hídricos do Rio Grande do Norte.



Fonte: Marín et al (2016)

Nessa conjuntura, o que esteia a tomada de decisões pela gestão é o monitoramento, mais eficiente possível, da quantidade e qualidade dos recursos hídricos das bacias hidrográficas do estado. Nessa perspectiva, projetos direcionados para esse monitoramento, como o PAA, hoje inoperante, que é voltado para o acompanhamento de qualidade de água, são de suma importância para amparar a tomada de decisão sobre o uso desses recursos pelo órgão responsável. O PAA realizou esse controle por meio de medição de indicadores de qualidade da água, daí a importância de se utilizar indicadores confiáveis e adequados à realidade da região a qual a bacia está inserida, bem como às suas características. No caso da bacia do rio Apodi-Mossoró, está fixada em uma região semiárida, com sazonalidade de chuvas, com alta interferência antrópica, bacia pouco volumosa e de baixa vazão. As definições e características dos indicadores podem ser diversas e vão depender diretamente da abordagem a ser

considerada. Desse modo é fundamental que os indicadores sejam observados e interpretados dentro do contexto especificamente pretendido de análise (Carvalho et al., 2011).

Uma gestão integrada (entre os 3 níveis da federação) de bacia hidrográfica enfrenta muitas dificuldades, dentre elas estão a efetiva descentralização para o nível local da bacia hidrográfica (gestão compartilhada) e necessidade de articulação entre os dois níveis de dominialidade previstos na Constituição Federal (Porto & Porto, 2008).

Em competência local, as principais limitações para uma gestão participativa e descentralizada das águas no Rio Grande do Norte estão relacionadas aos instrumentos de gestão, às condições de funcionamento dos órgãos do SINGERH, à centralização nos procedimentos de concessão de outorga e de licenciamento e ao caráter centralizador presente na administração do fundo estadual de recursos hídricos (Oliveira et al., 2013).

Devido aos aspectos físicos do Rio Grande do Norte se exige ainda mais a atuação de um sistema de gerenciamento de recursos hídricos com forte atuação do Poder Público estadual, com apoio da União, aplicando-se os instrumentos de gestão e possibilitando a implantação dos princípios de descentralização, participação e integração na gestão das águas. Todavia, observou-se que, embora em curso no Estado do Rio Grande do Norte, apresenta limitações diante de sua implementação parcial, por exemplo, com Comitês de Bacias e instrumentos de gestão parcialmente ou não implantados (Marín et al., 2016).

A melhoria da gestão hídrica estadual quanto aos instrumentos de gestão, destaca-se dentre alguns: a necessidade de atualização do plano de recursos hídricos; a instituição do enquadramento dos corpos de água e do sistema de informações sobre recursos hídricos como instrumentos da política hídrica estadual (Oliveira et al., 2013).

6. CONCLUSÃO

A análise estatística multivariada é útil para determinar os indicadores de qualidade da água de maior contribuição para o IQA, assim, possibilita alterar os pesos desses indicadores (que são necessários cálculo) para adequar o índice às características do corpo d'água analisada, gerando índices com maior confiabilidade, o que auxilia na tomada de decisões na atividade de gestão da bacia, neste caso, a do Rio Apodi-Mossoró. O trabalho em questão mostra que os indicadores que mais contribuíram para o IQA foram a temperatura, nitrogênio total, DBO e sólidos totais. Esses atributos podem estar associados às características climáticas da região semiárida, e também a atividade antrópica que transcorre ao longo da bacia.

A carga poluidora que chega à bacia causou, dentro do período estudado, um grau de eutrofização severo ao corpo d'água, fato que interfere diretamente na qualidade da água, ratificado pela análise multivariada dos indicadores de qualidade da água que compõem o IQA, mas não altera o nível de salinidade da mesma, que continua sendo categorizada como água doce segundo Resolução CONAMA N° 357 de 2005.

Apesar de alguns avanços conquistados no que tange a gestão hídrica no estado, como a criação leis e decretos quanto ao uso da água, criação dos SIGERH, SEMARH, CONERH, IGARN e Comitês de Bacia Hidrográfica, em acordo com a Lei Federal nº 9.433/1997, ela ainda é considerada ineficiente.

REFERÊNCIAS

- Abers, R.; Jorge, K. D. Descentralização da gestão da água: por que os comitês de bacia estão sendo criados? *Ambiente & Sociedade*, v. 8, n. 2, p. 99–124, 2005.
- Abreu, C. H. M.; Cunha, A. C. D. Qualidade da água em ecossistemas aquáticos tropicais sob impactos ambientais no baixo Rio Japi-AP: Revisão descritiva. *Biota Amazônica*, v. 5, n. 2, p. 119–131, 2015.
- Ab'sáber, A. N. The Caatinga Domain. In: S. Monteiro & L. Kaz (eds.) *Caatinga- Sertão, Sertanejos*. Editora Livroarte, Rio de Janeiro, p 47-55, 1995.
- Andrade, E. M.; Araújo, L. F. P.; Rosa, M. F.; Disney, W.; Alves, A. B. Seleção dos Indicadores da Qualidade das Águas Superficiais pelo Emprego da Análise Multivariada. *Engenharia Agrícola*, v. 27, n. 3, p. 683-690, 2007.
- Araújo Neto, J. R. Andrade, E. M.; Meireles, A. C. M.; Guerreiro, M. J. S.; Palácio, H. A. Q. Proposta de índice da salinidade das águas superficiais de reservatórios do Ceará, Brasil. *Revista Agro@Mambiente on-Line*, v. 8, n. 2, p. 184, 2014.
- Ayers, R. S.; Westcot, D. W. A qualidade da água na agricultura. 2.ed. Campina Grande: UFPB, 1999. 153p. (FAO, Irrigação e Drenagem, 29).
- Bakke, H. A.; Leite, A. S. M.; Silva, L. B. DA. Estatística Multivariada: aplicação da análise fatorial na engenharia de produção. *Revista Gestão Industrial*, v. 4, n. 4, p. 01–14, 2008.
- Barbosa, J. E. L.; Andrade, R. S.; Lins, R. P.; Diniz, C. R. diagnóstico do estado trófico e aspectos limnológicos de sistemas aquáticos da bacia hidrográfica do rio taperoá, trópico semiárido brasileiro. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, v. 12, n. 1, p. 80-89, 2006.
- Barreto, L. V.; Barros, F. M.; Bonomo, P.; Rocha, F. A.; Amorim, J. S. Eutrofização em rios brasileiros. *Enciclopédia Biosfera*, v. 9, n. 16, p. 2165-2179, 2013.
- Batista, A. A. Meireles, A. C. M.; Andrade E. M.; Izidio, N. S. C.; Lopes, F. B. Sazonalidade e variação espacial do índice de estado trófico do açude Orós, Ceará, Brasil. *Agro@mbiente On-line*, v. 8, n. 1, p. 38–48, 2014.
- Bernardi, E. C. S.; Panziera, A. G.; Buriol, G. A.; Swarowsky, A. Bacia Hidrográfica como Unidade de Gestão Ambiental. *Disciplinarum Scientia, Série: Ciência Naturais e Tecnológicas*, v. 13, n. 2, p. 159–168, 2013.
- Bessa, R. M. Mapeamento da qualidade das águas da baica hidridráfica do rio Apodi-Mossoró, pelo emprego do IQA e Geoprocessamento. Mossoró: UFERSA, 2016. 46f. Trabalho de Conclusão de Curso
- Bezerra, J. M.; Silva, P. C. M.; Batista, R. O.; Pinto, C. H. C.; Feitosa, A. P. Análise dos indicadores de qualidade da água no trecho urbano do Rio Apodi-Mossoró em Mossoró-RN, Brasil. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 34, n. 6 SUPPL. 1, p. 3443–3454, 2013.
- Braga, B.; Porto, M.; Tucci, C. E. M. Monitoramento de quantidade e qualidade das águas. In: *Águas doces no Brasil: Capital ecológico, uso e conservação*. São Paulo: Escrituras, p. 145-160, 2006.

- Brasil. Conselho Nacional de Meio Ambiente - Conama, Resolução nº 357 de 18 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação das águas no Brasil. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>>. Acesso em 05 de junho de 2020.
- Brasil. Lei nº 9433, de 08 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Brasília, DF. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9433.htm> Acesso em 01 de junho de 2020.
- Bueno, L. F.; Galbiatti, J. A.; Borges, M. J. Monitoramento de variáveis de qualidade da água do horto ouro verde - Conchal - SP. Engenharia Agrícola, v. 25, n. 3, p. 742–748, 2005.
- Callegari-Jacques, S. M. Bioestatística: princípios e aplicações. Porto Alegre: Artemed, 2003. 255p.
- Carvalho, R. G.; Kelting, F. M. S.; Silva, E. V. Indicadores Socioeconômicos e gestão ambiental nos município da bacia hidrográfica do Rio Apodi-Mossoró, RN. Sociedade & natureza, v. 23, n. 1, p. 143–159, 2011.
- Cecconello, S. T.; Centeno, L. N.; Guedes, H. A. S. Índice de qualidade de água modificado pela análise multivariada: estudo de caso do Arroio Pelotas, RS, Brasil. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 23, n. 5, p. 973–978, 2018.
- Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - Cetesb. Apendice D: Índices de Qualidade das Águas. 2017. Disponível em <<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>>. Acesso em 25 de maio de 2020.
- Esteves, F. A. Fundamentos de limnologia. Rio de Janeiro: Interciência/FINEP, 2011. 826 p.
- Ferreira, E. P.; Ferreira, J. T. P.; Pantaleão, F. S.; Ferreira, Y. P. Desafios para a Gestão da Bacia Hidrográfica do Rio Mundaú - Diagnóstico Ambiental de Trechos da Bacia Localizada no Estado de Alagoas. Enciclopédia Biosfera, v. 8, n. 14, p. 1123-1134, 2012.
- Fia, R.; Matos, A. T.; Coradi, P. C.; Ramirez, O. P. Estado trófico da água na bacia hidrográfica da Lagoa Mirim, RS, Brasil. Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science, v. 4, n. 1, p. 132–141, 2009.
- Flinkler, R. Planejamento, manejo e gestão de Bacias: A bacia hidrográfica. 2012. 55p. Disponível em: <https://capacitacao.ana.gov.br/conhecerh/bitstream/ana/82/2/Unidade_1.pdf>. Acesso 21 de maio de 2020.
- Gonçalves, G. G. G. Daniel, O.; Comunello, É.; Vitorino, A. C. T.; Arai, F. K. Determinação da Fragilidade Ambiental de Bacias Hidrográficas. Revista Floresta, v. 41, n. 4, p. 797–808, 2011.
- Hair, J. J. F.; Anderson, R. E.; Tatham, R. L.; Black, W. C. Análise multivariada de dados. 5.ed. Porto Alegre: Bookman, 2005. 593p.
- Igarn, Instituto de Gestão das Águas do Rio Grande do Norte. Relatório Bacia Apodi/Mossoró. Disponível em

<<http://adcon.rn.gov.br/ACERVO/IGARN/doc/DOC000000000028892.PDF>>. Acesso em 05 de maio de 2020.

- Lima, W. P. Hidrologia florestal aplicada ao manejo de bacias hidrográficas. 2.ed. Piracicaba: USP, 2008. 254f.
- Logan, J. Interpretação de Análises Químicas da Água. U.S.Agency for International Development: Recife, 1965.
- Loitzenbauer, E.; Mendes, C. A. B. A dinâmica da salinidade como uma ferramenta para a gestão integrada de recursos hídricos na zona costeira: uma aplicação à realidade brasileira. *Revista de Gestão Costeira Integrada*, v. 11, n. 2, p. 233–245, 2011.
- Lopes, E. R. N.; Souza, J. C.; Albuquerque Filho, J. L.; Lourenço, R. W. Gestão de bacias hidrográficas na perspectiva espacial e socioambiental. *Economía Sociedad y Territorio*, n. 62, p. 1–23, 2020.
- Marín, O. A. H.; Leal, A. C.; Fernandes, E.; Ferreira, J. C.; Troleis, A. L.; Ferreira, S. M. Panorama da Gestão dos Recursos Hídricos no Estado do Rio Grande do Norte, Brasil. *Revista Formação*, v. 1, n. 23, p. 248–273, 2016.
- Meireles, A. C. M.; Frischkorn, H.; Andrade, E. M. DE. Sazonalidade da qualidade das águas do açude Edson Queiroz, bacia do Acaraú, no Semi-Árido cearense. *Revista Ciência Agronômica*, v. 38, n. 1, p. 25–31, 2007.
- Moita Neto, J. M. Estatística multivariada - Uma visão didática-metodológica. *Crítica Revista de Filosofia e Ensino*, v. 1, n. 1, p. 1–13, 2004.
- Oliveira Junior, E. T. Bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró: microinvertebrados como bioindicadores e a percepção ambiental dos pescadores e marisqueiras do seu entorno. João Pessoa: UFPB, 2009. 159f. Dissertação – Mestrado
- Oliveira, C. S. P.; Fonseca, A. S.; Díaz, C. A.; Santos, W. P. Reflexões sobre o desafio ambiental: Níveis de eutrofização e floração de cianobactérias na bacia Apodi-Mossoró. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, v. 11, n.5, 2020.
- Oliveira, M. A.; Barbosa, E. M.; Dantas Neto, J. Gestão de Recursos Hídricos no Rio Grande do Norte: uma Análise da Implementação da Política Hídrica. *Holos*, v. 1, p. 3, 17 mar 2013.
- Oliveira, T. M. B. F.; Di Souza, L.; Castro, S. S. L. Dinâmica da série nitrogenada nas águas da bacia hidrográfica Apodi/Mossoró - RN - Brasil. *Eclética Química Journal*, v. 34, n. 3, p. 17-26, 2009.
- Palácio, H. A. Q.; Araújo Neto, J. R.; Meireles, A. C. M.; Andrade, E. M.; Santos, J. C. N.; Chaves, L. C. G. Similaridade e fatores determinantes na salinidade das águas superficiais do Ceará, por técnicas multivariadas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 15, n. 4, p. 395–402, 2011.
- Poleto, C. *Bacias Hidrográficas e Recursos Hídricos*. Rio de Janeiro: Interciência. 272 p, 2014.
- Porto, M. F. A.; Porto, R. L. L. Gestão de bacias hidrográficas. *Estudos Avançados*, v. 22, n. 63, p. 43–60, 2008.

- Programa Água Azul - PAA. Relatórios de Águas Superficiais. 2016. Disponível em <http://programaaguaazul.ct.ufrn.br/relatorios/aguas_superficiais/>. Acesso em 16 de setembro de 2019.
- Ramos, T. B. Sistemas de indicadores e índices ambientais. In: Congresso Nacional dos Engenheiros do Ambiente, 4, 1997, Portugal: APEA, 1997. p. IV33-IV43.
- Ribeiro, L. H. L.; Brandimarte, A. L.; Kishi, R. T. Formation of the salto caxias reservoir (PR) – an approach of the eutrophication process. Acta Limnologia Brasiliensia, v. 17, n. 2, p. 155-165, 2005.
- Rio Grande do Norte. Lei nº 6908, de 01 de julho de 1996. Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos, institui o Sistema Integrado de Gestão de Recursos Hídricos – SIGERH e dá outras providências. Natal. Disponível em <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwizms6A7ZjqAhXrDrkGHSs4Ar0QFjABegQIBRAB&url=http%3A%2F%2Fwww3.snirh.gov.br%2Fportal%2Fprogestao%2Fpanorama-dos-estados%2Frn%2Flei-no6-908-97_rn.pdf%2F%40%40download%2Ffile%2FLEI%2520N%25C2%25BA6.908-97_RN.pdf&usq=AOvVawli2kdnV4QLSYwHK-6tP9FY>. Acesso em 01 de junho de 2020.
- Rocha, A. B.; Baccaro, C. A. D.; Silva, P. C. M.; Camacho, R. G. V. Mapeamento Geomorfológico da Bacia do Apodi-Mossoró, RN. Mercator, v. 8, n. 16, p. 201–216, 2009.
- Rocha, J. L. S.; Rego, N. A. C.; Santos, J. W. B.; Oliveira, R. M.; Menezes, M. Indicador integrado de qualidade ambiental aplicado à gestão da bacia hidrográfica do rio Jiquiriçá, BA, Brasil. Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science, v. 5, n. 1, p. 89–101, 2010.
- Rosanova, C.; Faria, V. A.; Matos, F. T.; Pinho, E. S.; Akama, A.; Macedo, D. B. Utilização do Índice de Estado Trófico para Análise do Grau de Trofia do Parque Aquícola Sucupira (Lago de Palmas, TO) na Estação Seca. Revista Ouricuri, v. 8, n. 1, p. 23–36, 2018.
- Sandanielo, V. L. M. Emprego de técnicas estatísticas na construção de índices de desenvolvimento sustentável aplicados a assentamentos rurais. Botucatu - SP: Universidade Estadual Paulista, 2008. 159f. Tese – Doutorado.
- Santana, D. P. Manejo Integrado de Bacias Hidrográficas. Sete Lagoas - MG: EMBRAPA Milho e Sorgo, 2003. 63p. (EMBRAPA Milho e Sorgo, Documentos, 30)
- Santos, R. V. Variabilidade espacial e temporal das características limnológicas dos reservatórios Santa Cruz e Umari, semiárido do rio Grande do Norte, Brasil . 78f. (Dissertação - Mestrado) – UFERSA, Mossoró - RN, 2016.
- Silva, A. G.; Souza, L. D. Efeitos Antrópicos e Sazonais na Qualidade da Água do Rio do Carmo. HOLOS, v. 5, p. 122–137, 2013.
- Silva, A. P. C. Biomonitoramento de qualidade da água e percepção ambiental na bacia hidrográfica Apodi-Mossoró, RN. 101f. (Dissertação - Mestrado) – UFRN, Natal, 2013.
- Silva, M. M. N. Monitoramento de parâmetros de qualidade da água da Lagoa do Apodi/RN. 55f. (Trabalho de Conclusão de Curso – Bacharelado em Engenharia Ambiental e Sanitária) – UFERSA, Pau do Ferros - RN, 2018.

- Silva, N. C. G.; Sousa, L. D.; Guedes, J. M.; Lima, E. L. F. Influencia da seca prolongada na concentração de sólidos totais e na salinidade de águas da bacia hidrográfica do rio Apodi/Mossoró. Anais do 5o Encontro Regional de Química & 4o Encontro Nacional de Química. Anais... São Paulo: Editora Edgard Blücher, nov. 2015 Disponível em: <<http://www.proceedings.blucher.com.br/article-details/22112>>
- Silveira, A. L. L. Ciclo Hidrológico e a Bacia Hidrográfica. In: Hidrologia: Ciência e aplicação. Carlos E. M. Tucci (org.). 4ª ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2015.
- Smaha, N.; Gobbi, M. F. Implementação de Um Modelo para Simular a Eutrofização do Reservatório do Passaúna - Curitiba - PR. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 8, n. 3, p. 59–69, 2003.
- Smith, V. H.; Schindler, D. W. Eutrophication science: where do we go from here? Trends in Ecology and Evolution. Amsterdam, v. 24, n. 4, p. 201-207, 2009.
- Souza, A. C. M.; Silva, M. R. F.; Dias, N. S. Gestão de Recursos Hídricos: o caso da bacia hidrográfica Apodi/Mossoró (RN). Irriga, v. Edição Esp, p. 280–296, 2012.
- Toledo, L. G.; Nicolella, G. Índice de qualidade de água em microbacia sob uso agrícola e urbano. Scientia Agricola, v. 59, n. 1, p. 181–186, 2002.
- Vasconcelos, J. F.; Barbosa, J. E. L.; Diniz, C. R.; Ceballos, B. S. O. Cianobactérias em reservatórios do Estado da Paraíba: ocorrência, toxicidade e fatores reguladores. Boletim da Sociedade Brasileira de Limnologia, v. 39, n. 2, p. 1-20. 2011.
- Vicini, L. Análise multivariada da teoria a prática. 215p. (Monografia - Especialização) – UFSM, Santa Maria - RS, 2005.
- Zanini, H. L. H. T.; Amaral, L. A.; Zanini, J. R.; Tavares, L. H. S. Caracterização da Água da Microbacia do Córrego Rico Avaliada pelo Índice de Qualidade de Água e de Estado Trófico. Engenharia Agrícola - EAgr, v. 30, n. 4, p. 732–741, 2010.