



**UNIVERSIDADE DA INTEGRAÇÃO INTERNACIONAL DA LUSOFONIA AFRO-  
BRASILEIRA  
INSTITUTO DE ENGENHARIAS E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL  
CURSO DE ENGENHARIA DE ENERGIAS**

**ISABELA DE OLIVEIRA MARTINS**

**ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA DO AÇUDE ACARAPE DO MEIO  
UTILIZANDO OS MÉTODOS IQA-CETESB E IQA-CCME NO PERÍODO DE 2010,  
2014 E 2016.**

**ACARAPE - CEARÁ  
2018**

**ISABELA DE OLIVEIRA MARTINS**

**ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA DO AÇUDE ACARAPE DO MEIO  
UTILIZANDO OS MÉTODOS IQA-CETESB E IQA-CCME NO PERÍODO DE 2010,  
2014 E 2016.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia de Energias da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira como parte dos requisitos para obtenção de título de Bacharel em Engenharia de Energias.  
**Orientador: Prof. Dra. Rejane Felix Pereira**

**ACARAPE - CEARÁ  
2018**

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira  
Sistema de Bibliotecas da UNILAB  
Catalogação de Publicação na Fonte.

---

Martins, Isabela de Oliveira.

M341a

Análise da Qualidade da Água do Açude Acarape do Meio Utilizando os Métodos IQA-CETESB e IQA-CCME no Período de 2010,2014 e 2016 / Isabela de Oliveira Martins. - Acarape, 2018.

46f: il.

Monografia - Curso de Engenharia De Energias, Instituto De Engenharias E Desenvolvimento Sustentável, Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Redenção, 2018.

Orientadora: Profa. Dra. Rejane Felix Pereira.

1. Desenvolvimento de recursos hídricos - Brasil. 2. IQA-CETESB. 3. IQA-CCME. 4. Índice de Qualidade da Água. 5. Água - Qualidade - Brasil. I. Título

CE/UF/BSCL

CDD 333.91009813

---

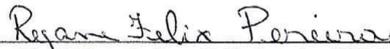
ISABELA DE OLIVEIRA MARTINS

ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA DO AÇUDE ACARAPE DO MEIO  
UTILIZANDO OS MÉTODOS IQA-CETESB E IQA-CCME NO PERÍODO DE 2010,  
2014 E 2016.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao  
curso de Engenharia de Energias da Universidade  
da Integração Internacional da Lusofonia Afro-  
Brasileira como parte dos requisitos para obtenção  
de título de Bacharel em Engenharia de Energias.

Aprovado em: 30 / 05 / 18

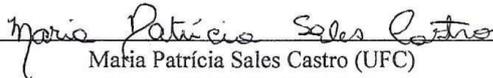
BANCA EXAMINADORA



Prof.<sup>a</sup> Dra. Rejane Felix Pereira (IEDS/UNILAB)  
Presidente da Banca Examinadora



Prof.<sup>a</sup> Dra. Sílvia Helena Lima dos Santos (UNILAB)  
Membro da Banca Examinadora



Maria Patrícia Sales Castro (UFC)  
Membro da Banca Examinadora

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço à Deus em primeiro lugar pelo dom da vida e por todas as oportunidades.

Agradeço ao meus pais, Luiz Márcio e Maria Dilma pelo incentivo incondicional à educação e aos meus irmãos Luiz Renê, André Luiz e João Matheus por todo apoio durante essa trajetória.

A todos os amigos que universidade me proporcionou ao longo dos anos de graduação em especial aos alunos da entrada 2011.2 da UNILAB do curso de Engenharia de Energias e a todos os amigos que pude fazer durante e após o intercâmbio e que de alguma forma fizeram parte da minha formação pessoal e profissional.

Aos professores pelo conhecimento repassado ao longo do curso de Engenharia.

A todos aqueles que de uma forma direta ou indireta contribuíram durante essa jornada da graduação.

## RESUMO

O presente trabalho visa avaliar o Índice de Qualidade de Água do Açude Acarape do Meio, localizado no município de Redenção, utilizando o IQA-CCME desenvolvido pelo *Canadian Council of Ministers of the Environment* e o IQA-CETESB adaptado a partir do IQA-NSF, metodologia mais utilizado no Brasil. O reservatório abastece parte das cidades da região do maciço de Baturité e o Distrito Industrial de Maracanaú. Para o cálculo do IQA utilizou-se os dados dos parâmetros: DBO, coliformes termotolerantes, pH, sólidos totais, temperatura, fósforo, nitrogênio, turbidez e oxigênio dissolvido. Os dados foram disponibilizados pela COGERH através de planilha eletrônica. Para a aplicação do método IQA-CCME foi verificado se os parâmetros estavam de acordo com a Resolução CONAMA N° 357/2005. Os valores obtidos do IQA-CETESB e IQA-CCME foram diferentes para os anos em estudo, devido a escala do método CCME ser mais restritiva e pelo fato de alguns parâmetros como o fósforo e DBO<sub>5,20</sub> ultrapassarem os limites estabelecidos pela norma vigente. Os altos índices desses parâmetros estão relacionados com atividades antrópicas identificadas no entorno da bacia hidráulica e da área de drenagem do referido reservatório.

**Palavras-Chave:** Índice de Qualidade de Água, CETESB, CCME, Acarape do Meio.

## **ABSTRACT**

The present work aims to evaluate the Acarape do Meio Water Quality Index, located in the city of Redenção, using the IQA-CCME developed by the Canadian Council of Ministers of the Environment and the IQA-CETESB adapted from the IQA-NSF, methodology mostly used in Brazil. The reservoir supplies part of the cities of the Baturité massif and the Maracanaú Industrial District. For the calculation of the IQA, the data of the parameters: BOD, thermotolerant coliforms, pH, total solids, temperature, phosphorus, nitrogen, turbidity and dissolved oxygen were used. The data were available by COGERH through a spreadsheet. For the application of the IQA-CCME method, it was verified whether the parameters were in accordance with CONAMA Resolution No. 357/2005. The values obtained from the IQA-CETESB and IQA-CCME were different for the years under study, because the scale of the CCME method was more restrictive and because some parameters such as phosphorus and BOD<sub>5,20</sub> exceeded the limits established by the current norm. The high indexes of these parameters are related to anthropic activities identified in the vicinity of the hydraulic basin and the drainage area of the reservoir.

**Key Words:** Water Quality Index, CETESB, CCME, Acarape do Meio.

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

|         |   |
|---------|---|
| ANA     | Agência Nacional de Águas                             |
| CCME    | Canadian Council of Ministers of the Environment      |
| CETESB  | Companhia Ambiental do Estado de São Paulo            |
| COGERH  | Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos             |
| CONAMA  | Conselho Nacional do Meio Ambiente                    |
| DBO     | Demanda Bioquímica de Oxigênio                        |
| ETE     | Estação de Tratamento de Esgotos                      |
| FUNCEME | Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos |
| IQA     | Índice de Qualidade de Água                           |
| IGAM    | Instituto Mineiro de Gestão das Águas                 |
| NSF     | National Sanitation Foundation                        |
| pH      | Potencial Hidrogeniônico                              |
| OD      | Oxigênio Dissolvido                                   |
| SRH     | Secretaria dos Recursos Hídricos                      |
| Ftotal  | Fósforo Total   |

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1-Curvas médias de variação de qualidade de água.....           | 25 |
| Figura 2- Mapa de Localização do Reservatório.....                     | 32 |
| Figura 3-Bacia hidrográfica do Açude Acarape do Meio.....              | 33 |
| Figura 4-Pontos no Açude Acarape do Meio monitorados pela COGERH. .... | 34 |
| Figura 5-Comportamento do Fósforo. ....                                | 40 |
| Figura 6-Comportamento da DBO <sub>5,20</sub> . ....                   | 40 |
| Figura 7- Volume Armazenado no Açude Acarape do Meio.....              | 41 |

## LISTA DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1-Limites máximos de acordo com Resolução CONAMA N°357/05 .....           | 22 |
| Tabela 2- Pesos Correspondentes aos parâmetros utilizados no cálculo do IQA..... | 24 |
| Tabela 3-Faixas de IQA-CETESB conforme os estados brasileiros .....              | 24 |
| Tabela 4-Classe e Faixa de Valores IQA-CCME.....                                 | 31 |
| Tabela 5-Resumo do cálculo para IQA-CETESB (2010) .....                          | 35 |
| Tabela 6-Resumo do cálculo para IQA-CETESB (2014) .....                          | 35 |
| Tabela 7--Resumo do cálculo para IQA-CCME (2014).....                            | 36 |
| Tabela 8-Resumo do cálculo para IQA-CCME (2016).....                             | 37 |
| Tabela 9-Comparativo entre as metodologias utilizadas. ....                      | 38 |
| Tabela 10- Valores não conformes do período analisado.....                       | 39 |

## LISTA DE QUADROS

|  |    |
|--|----|
| Quadro 1- Principais parâmetros de qualidade da água ..... | 15 |
| Quadro 2 -Classificação das águas doces. ....              | 21 |
| Quadro 3-Escalas IQA-CETESB e IQA-CCME. ....               | 38 |

## SUMÁRIO

|  |    |
|--|----|
| 1.INTRODUÇÃO.....  | 13 |
| 2.OBJETIVOS.....   | 15 |
| 2.1 Objetivo Geral .....   | 15 |
| 2.2 Objetivos Específicos .....  | 15 |
| 3.REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....   | 15 |
| 3.1 Parâmetros de Qualidade de Água.....                                     | 15 |
| 3.1.1 Cor.....   | 16 |
| 3.1.2 Turbidez.....  | 16 |
| 3.1.3 Temperatura .....  | 16 |
| 3.1.4 pH .....   | 17 |
| 3.1.5 Nitrogênio.....  | 17 |
| 3.1.6 Fósforo .....  | 18 |
| 3.1.7 Oxigênio Dissolvido .....  | 19 |
| 3.1.8 Demanda Bioquímica de Oxigênio.....                                    | 19 |
| 3.1.9 Sólidos Totais .....   | 19 |
| 3.1.10 Coliformes Termotolerantes .....                                      | 20 |
| 3.2 Monitoramento da Qualidade de Água.....                                  | 20 |
| 3.3 Métodos utilizados para determinação do Índice de Qualidade de Água..... | 22 |
| 3.2.1 Índice de Qualidade de Água- IQA-CETESB.....                           | 23 |
| 3.2.3 Índice de Qualidade de Água- IQA-CCME.....                             | 30 |
| 4.METODOLOGIA.....   | 32 |
| 4.1 Reservatório de Estudo.....  | 32 |
| 4.2 Caracterização da Bacia da Área de Estudo.....                           | 32 |
| 4.3 Obtenção dos Dados .....   | 34 |
| 5.RESULTADOS E DISCUSSÃO .....   | 35 |
| 5.1 Índice de Qualidade de Água- IQA-CETESB.....                             | 35 |
| 5.2 Índice de Qualidade de Água- IQA-CCME .....                              | 36 |
| 5.3 Análise Comparativa .....  | 38 |
| 6.CONCLUSÃO.....   | 42 |
| REFERÊNCIAS .....  | 43 |
| ANEXO .....  | 47 |

## 1.INTRODUÇÃO

A água é um elemento de grande importância para manutenção da vida. É o constituinte inorgânico mais abundante na matéria viva, podendo chegar até 98% em determinados animais aquáticos e é responsável por mais de 60% do peso do homem. A água doce é essencial no abastecimento do consumo humano e nas suas atividades destinadas a agricultura e a indústria (REBOUÇAS, 2006; VON SPERLING, 2005).

O aumento da população atrelado a evolução das atividades econômicas tem provocado uma série de eventos que pode acarretar danos ao meio ambiente como, produção de efluentes, proliferação de agentes químicos tóxicos, erosão entre outros. O lançamento de efluentes, proveniente de atividades agrícolas, domésticas e industriais, nos rios tem como consequência a poluição dos corpos hídricos resultando em alterações da qualidade da água (ALMEIDA, 2014; KARR, 1991).

A preocupação com a qualidade da água no Brasil concretiza-se com a publicação do Código das Águas (Decreto 24.643 de 1934) importante marco jurídico no país, seguida pela inclusão do Artigo 21 na Constituição de 1988 que permitiu à União instituir o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos e definir critérios de outorga de direito de seu uso. Posteriormente a Lei das Águas (Lei 9.433 de 1997) instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Logo após no ano 2000 é criada a Agência Nacional de Águas-ANA, com a missão de implementação do sistema nacional de recursos hídricos (ANA, 2002).

Em 2005 é publicada a Resolução N° 357, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes para o seu enquadramento estabelecendo também as condições e padrões de lançamento de efluentes. Para avaliar se um corpo d'água superficial apresenta condições satisfatórias é necessário verificar os critérios de acordo com a Resolução 357/05 através de análises das características física, química e bacteriológica da água (OLIVEIRA, 2010).

Para avaliar o padrão de potabilidade da água deve-se seguir os critérios estabelecidos pela Portaria de Consolidação N° 5 do Ministério da Saúde que dispõe sobre procedimentos de controle e vigilância da qualidade da água para o consumo humano, estabelecendo a quantidade e a frequência mínimas de análise e os limites admitidos para fins de abastecimento público.

Uma forma de avaliar a qualidade da água é através do Índice de Qualidade de Água-IQA representado por um número adimensional que expressa a qualidade da água em diversas

categorias que vai de péssima até ótima. Essa caracterização é uma forma de avaliar os impactos resultantes da ação do homem (CORADI; FIA; PEREIRA-RAMIREZ, 2009).

Diversos Índices de Qualidade de Água foram desenvolvidos sendo o mais utilizado o método pioneiro desenvolvido por Brown em 1970 conhecido como *IQA-National Sanitation Foudation* (NSF) que foi adaptado no Brasil pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo-CETESB. Outro método que vem ganhado cada vez mais espaço é o IQA-CCME, desenvolvido em 2001 pelo *Canadian Council of Ministers of the Environment*.

O IQA-IGAM adaptado também a partir do IQA-NSF, pelo o Instituto Mineiro de Gestão das Águas, é outro método utilizado no Brasil. Essa metodologia é similar ao IQA-CETESB, por utilizar os mesmos pesos e ser calculado pelo produtório ponderado de nove parâmetros. Porém o que os diferenciam são as faixas de níveis de qualidade e as equações desenvolvidas através do Sistema de Qualidade da Água – SCQA.

Além desses diversos métodos são citados na literatura como IQAb desenvolvido por Bascarán em 1979 na Espanha, IQA-O desenvolvido em 1980 pelo Oregon Department of Environmental Quality entre outros (LUMB; SHARMA; BIBEAULT; 2011).

No estado do Ceará a Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos - COGERH é a responsável pelo gerenciamento de recursos hídricos, monitorando de forma qualitativa e quantitativa 155 reservatórios e é responsável pela manutenção de 70 barragens estaduais. O monitoramento quantitativo está relacionado com o atendimento a demanda hídrica, enquanto o monitoramento qualitativo tem a finalidade de produzir informações que guiem os usuários na adequabilidade da água bruta aos múltiplos usos (COGERH, 2015).

O Açude Acarape do Meio é um dos reservatórios monitorados pela COGERH. Está localizado no município de Redenção-Ceará, aproximadamente a 75 km de Fortaleza. Barra o rio Pacoti e possui uma bacia que cobre uma área de aproximadamente 210 km<sup>2</sup> como indica as informações do ANEXO A. Sua construção foi finalizada no ano de 1924, sendo o primeiro sistema a abastecer a cidade de Fortaleza. Atualmente é responsável pelo abastecimento de municípios na região do Maciço de Baturité e pelo Distrito Industrial de Maracanaú (COGERH 2015; DNOCS, 1997).

## 2.OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo Geral

Avaliar o índice de qualidade de água do Açude Acarape do Meio utilizando as metodologias IQA-CETESB e IQA-CCME.

### 2.2 Objetivos Específicos

- Aplicar os métodos IQA-CETESB e IQA-CCME aos dados de monitoramento do Açude Acarape do Meio;
- Comparar e avaliar os resultados da aplicação do IQA-CETESB e IQA-CCME

## 3.REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 3.1 Parâmetros de Qualidade de Água

Para Von Sperling (2005) a qualidade da água é decorrente tanto de fatores naturais, no caso de escoamento superficial e infiltração do solo, como também da interferência do homem na forma de despejo de dejetos nos corpos hídricos e a aplicação de agrotóxicos no solo.

A qualidade desejável da água varia conforme o seu uso e vai ser expressa em termos das características físicas, químicas e biológicas. O quadro 1 traz os principais parâmetros que são utilizados para determinar a qualidade da água.

Quadro 1- Principais parâmetros de qualidade da água

| Parâmetros Físicos  | Parâmetros Químicos  | Parâmetros Biológicos                        |
|---|--|--|
| Cor<br>Sólidos<br>Turbidez<br>Temperatura<br>Sabor e Odor | pH<br>Nitrogênio<br>Ferro<br>Fósforo<br>Dureza<br>Cloreto<br>Metais<br>Oxigênio dissolvido<br>Matéria orgânica<br>Micropoluentes orgânicos | Algas<br>Bactérias<br>Organismos Indicadores |

Fonte: Von Sperling (2005)

### **3.1.1 Cor**

Segundo Von Sperling (2005) a cor da água é resultante da presença de sólidos dissolvidos decorrente tanto de aspectos naturais como de origem antropogênica.

A cor afeta a estética da água, podendo levar os consumidores a questionarem sua confiabilidade e buscarem uma água mais atraente, que pode ser mais perigosa. Daí a importância de reduzir essa coloração para níveis aceitáveis (RICHTER, 2009; VON SPERLING, 2005).

### **3.1.2 Turbidez**

De acordo com Richter (2009) a turbidez é uma propriedade ótica, representando o grau de interferência com a passagem da luz. Ocorre devido à presença de partículas em suspensão provenientes da erosão, despejos domésticos ou industriais.

O aumento da turbidez reduz a passagem da luz prejudicando a fotossíntese, acarretando um maior custo nas estações de tratamento, pelo fato de ser necessário utilizar mais produtos químicos como os coagulantes (ANA, 2018; VON SPERLING, 2005).

### **3.1.3 Temperatura**

A temperatura representa a medição da intensidade de calor. Apresenta origem natural, através das formas transferência de calor (radiação, condução, convecção) e também origem antrópica por meio de despejos industriais nos corpos d'água. Os organismos aquáticos possuem limites de tolerância térmica para o seu adequado crescimento e reprodução, o que pode ser alterado se a temperatura estiver acima ou abaixo desse limite de tolerância (ANA, 2018; VON SPERLING, 2005).

De acordo com Von Sperling (2005) a elevação da temperatura influencia nas reações químicas, físicas e biológicas e também acarreta no aumento da taxa de transferências de gases possibilitando a liberação de odores desagradáveis.

A temperatura influencia em diversas propriedades da água, tais como a viscosidade, tensão superficial, condutividade, calor latente de vaporização concentração de saturação do oxigênio dissolvido, ou seja, é um parâmetro que possui papel fundamental no meio aquático, sendo influenciada por variáveis como latitude, altitude, estação do ano e profundidade (CETESB, 2004).

É um fator relevante na solubilidade do oxigênio, que diminui com o aumento da temperatura. A baixa quantidade de OD é um indicativo de poluição térmica, que geralmente é proveniente de despejos industriais ou usinas termoelétricas (FIORUCCI; FILHO, 2004).

### **3.1.4 pH**

O potencial hidrogeniônico conhecido como pH segundo Von Sperling (2005) indica sobre as condições de acidez, neutralidade e alcalinidade da água, está relacionado com a concentração de íons  $H^+$ . A faixa de pH vai de 0 a 14, sendo o pH igual 7 classificado como neutro, devido a igualdade entre as concentrações de íons  $H^+$  e  $OH^-$ . Para as faixas abaixo de 7 caracteriza condições de acidez e acima 7 alcalinidade. Richter (2009) salienta que a importância desse parâmetro está relacionada com as fases de tratamento da água.

Valores baixos de pH provocam corrosão nas tubulações enquanto valores elevados ocasionam incrustações. Afeta também o metabolismo dos organismos aquáticos e de acordo com a Resolução CONAMA 357 para proteger as espécies aquáticas o pH deve estar na faixa entre 6 e 9 (ANA, 2018; VON SPERLING, 2005).

### **3.1.5 Nitrogênio**

O nitrogênio no meio aquático pode ser encontrado de diversas formas: nitrito, nitrato, amônia, nitrogênio orgânico. De acordo com Von Sperling (2005) pode ser oriundo de fontes naturais, como da composição celular de microrganismos, e antropogênicas através de fertilizantes, despejos industriais e excrementos de animais.

A amônia é tóxica para os peixes. Determinadas espécies não suportam concentrações acima de 5mg/L. O nitrogênio amoniacal é um indicativo de lançamento de efluentes domésticos, provocando o consumo de OD ao ser oxidada biologicamente (CETESB, 2004).

Em altas concentrações o nitrogênio na forma de nitratos causa danos à saúde do homem provocando uma doença denominada de metahemoglobina em crianças, conhecida como síndrome do bebê azul. O nitrogênio quando em excesso no corpo hídrico causa a proliferação excessiva de algas ocasionando um fenômeno conhecido como eutrofização prejudicando assim a recreação, abastecimento público e a sobrevivência dos animais aquáticos (ANA, 2018).

A eutrofização segundo Tundisi (2006) é resultado do despejo de águas residuárias de esgotos não tratados, efluentes industriais e agrícolas e afirma que a toxicidade produzida no ambiente aquático provoca inúmeros impactos a saúde humana.

Um caso grave de intoxicação aconteceu na cidade de Caruaru (Pernambuco) em 1996, provocando a morte de diversos pacientes que faziam hemodiálise e após investigações constatou-se que a água utilizada pelo hospital estava contaminada pela presença de microcistina, uma toxina liberada por cianobactérias (CARMICHAEL *et al.*, 2001).

Smith (2009) e Tundisi (2008) citam uma série de consequências que são provocadas pela eutrofização:

- ✓ Redução do Teor de Oxigênio;
- ✓ Redução da Transparência da água;
- ✓ Redução na diversidade de espécies;
- ✓ Redução na estética da água;
- ✓ Aumento na incidência da mortandade de peixes;
- ✓ Aumento da concentração da matéria orgânica;
- ✓ Alteração nas cadeias alimentares;
- ✓ Aumento dos custos no tratamento de água;
- ✓ Aumento da biomassa do fitoplâncton;
- ✓ Crescimento excessivo de macrófitas aquáticas;
- ✓ Podem provocar doenças de veiculação hídrica;
- ✓ Contaminação da água provocada por toxinas produzida por cianobactérias;
- ✓ Liberação de gases com odor desagradável.

O aumento no custo do tratamento de água nas estações mencionado anteriormente ocorre devido ao aumento de substâncias coagulante e alcalinizante para ajuste do pH de coagulação; uso de polímeros para auxiliar na floculação; na etapa da decantação a remoção de flocos tem sua eficiência reduzida; aumento no consumo de cloro, ocorrendo a diminuição de eficiência da etapa de desinfecção; possibilidade de ocorrer crescimento de bactérias no sistema de distribuição devido ao aumento de matéria orgânica, aumento de deposição de ferro nas tubulações; além de problemas de sabor e odor (RICHTER, 2009).

### **3.1.6 Fósforo**

O fósforo assim como o nitrogênio também está presente em diferentes formas. As principais são: ortofosfato, polifosfato e fósforo orgânico. O excesso de fósforo no meio aquático também pode causar a eutrofização, fenômeno que devido ao aumento e nutrientes acarreta um crescimento exagerado de algas (VON SPERLING, 2005).

Esse aumento da quantidade de fósforo é proveniente principalmente de efluentes de indústrias de fertilizantes, alimentícias, laticínios e também pela presença de efluentes domésticos (ANA, 2018).

### ***3.1.7 Oxigênio Dissolvido***

O oxigênio dissolvido-OD é de extrema importância para os organismos que necessitam de oxigênio para sua sobrevivência de acordo com Von Sperling (2005). O oxigênio dissolvido é o principal parâmetro de caracterização da poluição das águas, uma vez que baixas concentrações de OD indicam a presença de grande quantidade de matéria orgânica provenientes de lançamentos de esgotos (O'Connor, 1967 apud Pereira, 2004).

O crescimento excessivo de algas e plantas provoca a diminuição de oxigênio dissolvido afetando o ambiente aquático, podendo ocasionar a morte de peixes (MERTEN; MINELLA, 2002).

### ***3.1.8 Demanda Bioquímica de Oxigênio***

De acordo com Silva (1990 apud Pereira, 2004) a demanda bioquímica de oxigênio – DBO é definida como a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica presente na água.

A medição desse parâmetro é feita através da  $DBO_{5,20}$  que é quantidade de oxigênio consumido no período de 5 dias na temperatura de 20°C. Valores altos desse parâmetro significa que está ocorrendo uma elevada quantidade de cargas orgânicas no corpo d'água, provavelmente oriundas de esgotos domésticos e conseqüentemente acarretando na diminuição do parâmetro oxigênio dissolvido (ANA, 2018).

Von Sperling (2005) confirma sobre a importância da caracterização da DBO pois é um indicativo quanto ao grau de poluição de um corpo hídrico.

### ***3.1.9 Sólidos Totais***

De acordo com Von Sperling (2005) os sólidos estão presentes na água na forma de partículas de maiores dimensões (sólidos em suspensão) ou na forma de partículas de menores dimensões (sólidos dissolvidos).

São provenientes de processos naturais como processos erosivos, que se agravam em áreas de construção ou mineração. Podem também ser oriundos de origem humana ou

lançamento de efluentes. A presença de sólidos no corpo hídrico pode prejudicar a vida aquática, pois ao sedimentarem no leito dos rios acabam destruindo os alimentos dos animais e a desova de peixes e também retém bactérias. Elevadas quantidades de sais minerais pode provocar a corrosão nas tubulações e conferir sabor a água (ANA,2005).

### ***3.1.10 Coliformes Termotolerantes***

A água pode transmitir doenças através do grupo de bactérias conhecido como termotolerantes que vão indicar a ocorrência de contaminação fecal, evidenciando a presença de microrganismos patogênicos responsáveis por doenças de veiculação hídrica como cólera, disenteria bacilar, febre tifoide. Os principais representantes deste grupo estão a *Escherichia coli* e os gêneros *Klebsiella*, *Serratia*, *Erwenia* e *Enterobactéria* (CETESB, 2004; VON SPERLING, 2005).

## **3.2 Monitoramento da Qualidade de Água**

O monitoramento da qualidade da água visa verificar as mudanças nas suas características decorrentes de diversos fatores e que ao final seja possível fazer uma avaliação da qualidade da água. Para isso é necessário definir uma série de variáveis como: pontos de coleta, instrumentos a serem utilizados na coleta, instrumentos para análise laboratorial e protocolos para determinação dos parâmetros que irão ser analisado (ANA, 2018).

Dependendo do uso, a água deve seguir determinados padrões de acordo com as normas vigentes. A água utilizada no abastecimento doméstico ou industrial deve ser isenta de substâncias químicas e micro-organismo que possam provocar danos à saúde, apresentar baixa agressividade e dureza, ser esteticamente agradável, ou seja, baixa turbidez, cor, sabor e dor (VON SPERLING, 2005).

Os corpos de água são classificados de acordo com a Resolução do CONAMA 357/2005 em águas doces, salobras e salinas, diferenciadas pelo teor de salinidade e sendo subdividida em diversas classes de acordo com o seu uso. O quadro 2 traz com detalhes a classificação das águas doces com suas respectivas destinações.

Quadro 2 -Classificação das águas doces.

| Classe          | Uso da água   |
|-----------------|---|
| Classe ESPECIAL | a) abastecimento para consumo humano, com desinfecção;<br>b) preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas;<br>c) preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral.  |
| Classe I        | a) abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado;<br>b) proteção das comunidades aquáticas;<br>c) recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA n° 274, de 2000;<br>d) irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película;<br>e) proteção das comunidades aquáticas em Terras Indígenas. |
| Classe II       | a) abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional;<br>b) proteção das comunidades aquáticas;<br>c) recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA n° 274, de 2000;<br>d) irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto;<br>e) aquicultura e à atividade de pesca.                    |
| Classe III      | a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado;<br>b) irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras;<br>c) pesca amadora;<br>d) recreação de contato secundário;<br>e) dessedentação de animais   |
| Classe IV       | a) navegação;<br>b) harmonia paisagística.  |

Fonte: Resolução CONAMA N°357/05.

Segundo a Lei 9.433 de 1997, no seu artigo 2º inciso I um dos objetivos citados da Política Nacional de Recursos Hídricos é Assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos”.

Desta forma a tabela 1 traz os valores máximos permitidos conforme a Resolução CONAMA N°357/05 para as águas doces consideradas como Classe II.

Tabela 1-Limites máximos de acordo com Resolução CONAMA N°357/05

| Parâmetro de Qualidade da Água         | CLASSE II |
|--|-----------|
| OD (mg/L)                              | >5        |
| Coliformes Termotolerantes (NMP/100mL) | ≤1000     |
| pH                                     | 6-9       |
| Temperatura (°C)                       | -         |
| DBO (mg/L)                             | ≤5        |
| Sólidos Totais (mg/L)                  | ≤500      |
| Nitrogênio Amoniacal (mg/L)            | 0,5-3,7   |
| Fósforo Total (mg/L)                   | ≤0,03     |
| Turbidez (UNIT)                        | ≤100      |

Fonte: Resolução CONAMA N°357/05

### 3.3 Métodos utilizados para determinação do Índice de Qualidade de Água

O índice de qualidade de água- IQA tem a finalidade de representar em termos de apenas um número, o resultado de diversos fatores que influenciam na qualidade da água, facilitando a comunicação para o público em geral.

Ao longo dos anos diversas metodologias foram criadas em diversos países e a escolha do método a ser utilizado dependerá das fontes poluidoras do local e o uso pretendido da água. As principais diferenças entre os diversos índices de qualidade da água são baseadas no tratamento estatístico e na interpretação dos valores dos parâmetros (CORADI; FIA; PEREIRA-RAMIREZ, 2009; LUMB; SHARMA; BIBEAULT, 2011).

A escolha de calcular o índice de qualidade de água no presente trabalho através do IQA-CETESB se deve ao fato de ser esta a metodologias mais utilizada no Brasil e em relação ao IQA-CCME pelo fato de ser um método que vem sendo bastante usado em diversos países desde a sua criação, como na Bacia de Kucuk Menderes (Turquia), no Rio Kelani (Sri Lanka), Sistemas de Rios Pasig (Filipinas), Lago Ohrid (Albânia), Bacia hidrográfica do rio Meia Ponte e Bacia do Rio Joanes (Brasil).

### 3.2.1 Índice de Qualidade de Água- IQA-CETESB

O IQA da Companhia do estado de São Paulo -CETESB é atualmente o índice mais utilizado no Brasil, e foi adaptado a partir do IQA- *National Sanitation Foudation* NSF criado em 1970 (ANA, 2012).

O IQA-CETESB é representado em função de nove parâmetros e seus pesos, conforme mostra a tabela 2. Para a obtenção do IQA-CETESB é estabelecido um valor de 0 a 100 para cada variável ( $q_i$ ) conforme a curva média de variação de qualidade mostrada na figura 1. Este valor é então elevado à ponderação ( $w_i$ ) correspondente de cada variável de acordo com a tabela 1. Multiplicando cada componente ( $q_i^{w_i}$ ) é obtido o valor do IQA conforme a equação 1 (CETESB, 2014).

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

Onde:

IQA: varia de 0-100;

$q_i$ : qualidade do  $i$ -ésimo parâmetro, varia de 0-100 obtido conforme a curva média de variação de qualidade;

$w_i$ : peso correspondente ao  $i$ -ésimo parâmetro, varia de 0-1;

$n$ : número de variáveis do cálculo do IQA

O somatório de todos os pesos dos parâmetros envolvidos no cálculo da qualidade da água deve ser igual a 1 conforme a equação 2.

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

onde:

$n$  : número de parâmetros que entram no cálculo do IQA

Uma limitação que pode ser apontada do IQA-CETESB se deve ao fato de não considerar determinados parâmetros importantes na análise de qualidade da água para abastecimento bruto, como metais pesados, compostos orgânicos com potencial mutagênico e substâncias que afetam as propriedades organolépticas da água. Essa limitação pode de certa forma “disfarçar” sobre a verdadeira qualidade da água (ANA, 2018).

Tabela 2- Pesos Correspondentes aos parâmetros utilizados no cálculo do IQA

| Parâmetro de Qualidade da Água | Peso (w) |
|--------------------------------|----------|
| OD                             | 0,17     |
| Coliformes Termotolerantes     | 0,15     |
| Ph                             | 0,12     |
| DBO                            | 0,10     |
| Temperatura                    | 0,10     |
| Nitrogênio Total               | 0,10     |
| Fosfato Total                  | 0,10     |
| Turbidez                       | 0,08     |
| Resíduo Total                  | 0,08     |

Fonte: ANA (2018)

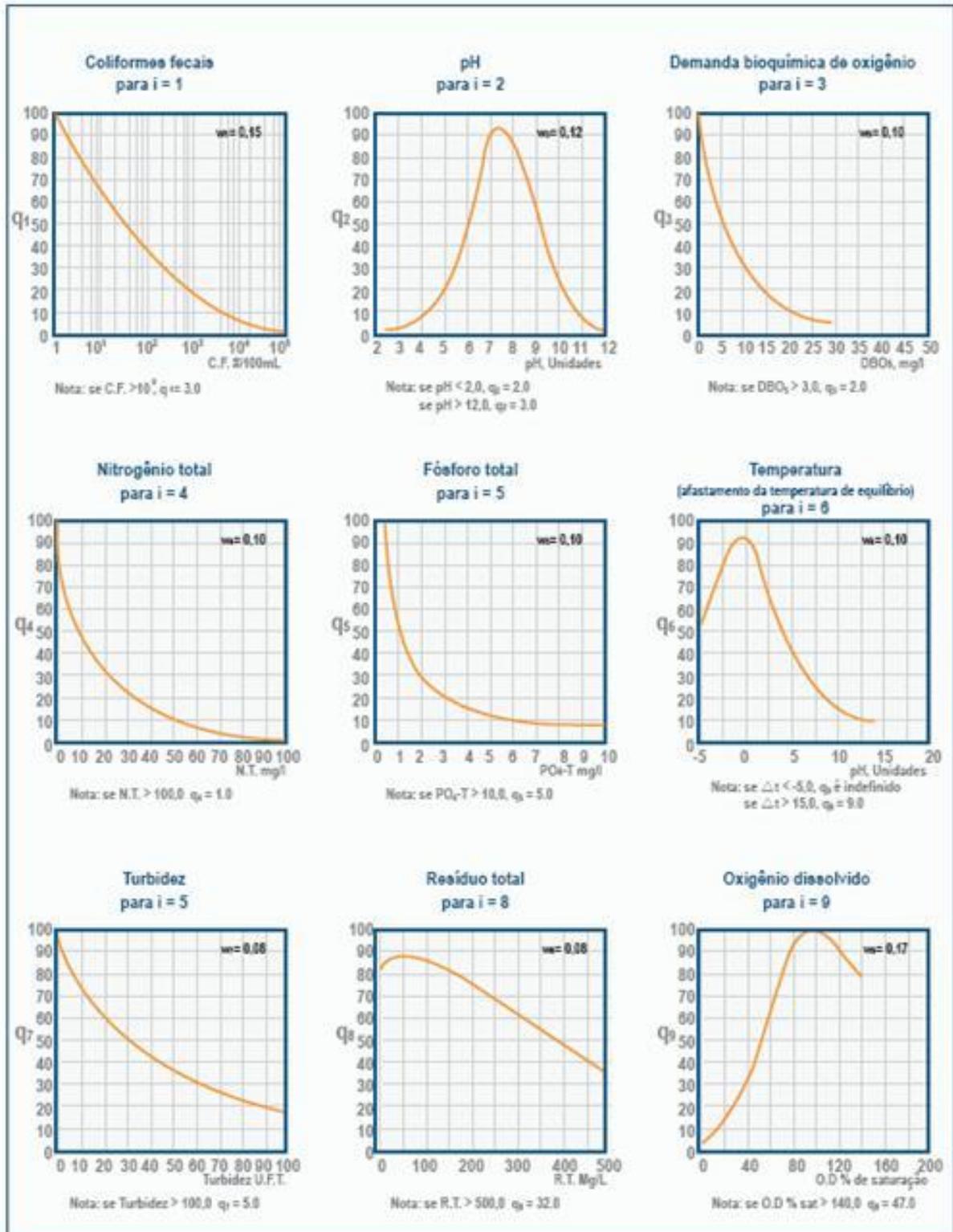
A tabela 3 traz as faixas de classificação de cada categoria, sendo a pior categoria classificada como “Péssima” e a melhor denominada “Ótima”. Essas faixas de classificação variam entre os estados brasileiros como mostra a tabela abaixo, sendo os estados da primeira coluna (AL, MG, MT, PR, RJ, RN, RS) utilizam as faixas de classificação estabelecidas pelo IGAM e os estados (BA, CE, ES, GO, MS, PB, PE, SP) utilizam os valores de acordo com a classificação da CETESB.

Tabela 3-Faixas de IQA-CETESB conforme os estados brasileiros

| CLASSE  | Faixas de IQA-IGAM utilizadas nos seguintes estados: AL, MG, MT, PR, RJ, RN, RS | Faixas de IQA-CETESB utilizadas nos seguintes estados: BA, CE, ES, GO, MS, PB, PE, SP |
|---------|---|---|
| ÓTIMA   | 91-100  | 80-100  |
| BOA     | 71-90   | 52-79   |
| REGULAR | 51-70   | 37-51   |
| RUIM    | 26-50   | 20-36   |
| PÉSSIMA | 0-25  | 0-19  |

Fonte: ANA (2018)

Figura 1-Curvas médias de variação de qualidade de água



Fonte: ANA (2018).

A CETESB a partir das curvas médias de variação de qualidade de água apresentada na figura 1 transformou nas seguintes equações descritas abaixo de acordo com a faixa de valores de cada parâmetro.

- Oxigênio Dissolvido

É necessário calcular inicialmente a concentração de saturação considerando a temperatura (T) em °C e a altitude (A) conforme a equação 3.

$$C_s = ((14,62 - 0,3898 T) + (0,006969 (T^2)) - (0,00005896(T^3))) \times ((1 - 0,0000228675 A))^{5,167} \quad (3)$$

Onde:  $C_s$  é a concentração de saturação do  $O_2$  a temperatura ambiente.

Em seguida obtém-se o valor percentual de oxigênio dissolvido de acordo com a equação 4.

$$OD\% = \frac{OD}{C_s} \times 100 \quad (4)$$

Onde:

OD é a concentração de  $O_2$  medida em mg/L

OD % é o percentual de  $O_2$  dissolvido na água

Para os valores de OD saturado  $\% \leq 50$

$$qOD = ((0,34 \%OD) + (0,008095 (\%OD^2)) + (1,35252 \times 0,00001(\%OD^3)) + 3) \quad (5)$$

Para o intervalo  $50 < OD \text{ saturado } \% \leq 85$

$$qOD = ((-1,166 \%OD) + (0,058 (\%OD^2)) - (3,803435 \times 0,0001(\%OD^3)) + 3) \quad (6)$$

Para o intervalo de  $85 < OD \text{ Saturado } \% \leq 100$

$$qOD = (3,7745 \times (\%OD^{0,704889})) + 3) \quad (7)$$

Para o intervalo  $100 < OD \text{ Saturado } \% \leq 140$

$$qOD = ((2,9 \%OD) - (0,02496(\%OD^2)) + (5,60919 \times 0,00001(\%OD^3)) + 3) \quad (8)$$

Para OD Saturado  $\% > 140$

$$qOD = 47 + 3 \quad (9)$$

- Temperatura

O subíndice considerado para a temperatura é igual a 94, pois considera-se que não há grandes variações de temperatura nos corpos hídricos.

$$qTemp = 94 \quad (10)$$

- Coliformes Termotolerantes

Para a obtenção do valor de coliformes termotolerantes, se for igual a zero, o subíndice será igual 100 conforme a equação 11 e para valores maiores que zero calcula-se o logaritmo do valor medido em NMP/100ml e conforme o intervalo aplica-se nas equações 12 a 14.

Quando Col= 0

$$qCOL = 100 \quad (11)$$

Onde: col é medido em NMP/100ml

Quando  $0 < \log(\text{col}) \leq 1$

$$qCOL = 100 - 33 \log(\text{col}) \quad (12)$$

Quando  $1 < \log(\text{col}) \leq 5$

$$qCOL = 100 - 37,2 \log(\text{col}) + 3,60743(\log(\text{col})^2) \quad (13)$$

Quando  $\log(\text{col}) > 5$

$$qCOL = 3 \quad (14)$$

- pH

Para o cálculo do subíndice do parâmetro do pH existe uma série de equações conforme as faixas de pH abaixo:

Quando  $\text{pH} \leq 2$

$$qpH = 2 \quad (15)$$

Quando  $2 < \text{pH} \leq 4$

$$qpH = 13,6 - (10,6 \times \text{pH}) + (2,4364 \times (\text{pH}^2)) \quad (16)$$

Quando  $4 < \text{pH} \leq 6,2$

$$qpH = 155,5 - (77,36 \times \text{pH}) + (10,24 \times (\text{pH}^2)) \quad (17)$$

Quando  $6,2 < \text{pH} \leq 7$

$$qpH = -657,2 + (197,38 \times \text{pH}) - (12,9167 \times (\text{pH}^2)) \quad (18)$$

Quando  $7 < \text{pH} \leq 8$

$$qpH = -427,8 + (142,05 \times \text{pH}) - (9,695 \times (\text{pH}^2)) \quad (19)$$

Quando  $8 < \text{pH} \leq 8,5$

$$qpH = 216 - (16 \times pH) \quad (20)$$

Quando  $8,5 < pH \leq 9$

$$qpH = 1415823 \times (EXP(-1,1507 \times pH)) \quad (21)$$

Quando  $9 < pH \leq 10$

$$qpH = 228 - (27 \times pH) \quad (22)$$

Quando  $10 < pH \leq 12$

$$qpH = 633 - (106,5 \times pH) + (4,5 \times (pH^2)) \quad (23)$$

Quando  $pH > 12$

$$qpH = 2 \quad (24)$$

- Demanda Bioquímica de Oxigênio

Para  $DBO \leq 5$

$$qDBO = 99,96 \times (2,71828^{-0,1232728} \times DBO) \quad (25)$$

Onde DBO é dada em mg/l de O<sub>2</sub>

Quando  $5 < DBO \leq 15$

$$qDBO = 104,67 - (31,5463 \times \log DBO) \quad (26)$$

Quando  $15 < DBO \leq 30$

$$qDBO = 4394,91 \times (DBO^{-1,99809}) \quad (27)$$

Para  $DBO > 30$

$$qDBO = 2 \quad (28)$$

- Nitrogênio Total

Quando  $N_{total} \leq 10$

$$qn = 100 - 8,169N + 0,3059 N^2 \quad (29)$$

Quando  $10 < N_{total} \leq 60$

$$qn = 101,9 - 23,1023 \log N \quad (30)$$

Quando  $N > 100$

$$qn = 1 \quad (31)$$

- Fosfato Total ( $F_{total}$ )

Inicialmente é necessário fazer a conversão de fósforo para fosfato total através da equação 32 e em seguida de acordo com a faixa de fosfato calcula-se o subíndice com a respectiva equação.

$$PO4 = \text{fósforo} \times 3,066 \quad (32)$$

Onde: PO4 é igual à quantidade fosfato obtida da conversão do fósforo em mg/L

Para  $PO4 \leq 1$

$$qPO4 = 99 e^{-0,91629 \times F_{total}} \quad (33)$$

Quando  $1 < PO4 \leq 5$

$$qPO4 = 57,6 - (20,178 \times F_{total}) + (2,1326 \times F_{total}^2) \quad (34)$$

Quando  $5 < PO4 \leq 10$

$$qPO4 = 19,8 e^{-0,13544 \times F_{total}} \quad (35)$$

$PO4 > 10$

$$qPO4 = 5 \quad (36)$$

- Turbidez (Turb)

Para  $Turb \leq 25$

$$qTurb = 100,17 - (2,67 * turb) + 0,03775x (Turb^2)) \quad (37)$$

Turb: medida da turbidez em UFT

Quando  $25 < Turb \leq 100$

$$qTurb = 84,76 \times 2,71828^{(-0,016206 \times Turb)} \quad (38)$$

Quando  $Turb > 100$

$$qTurb = 5 \quad (39)$$

- Resíduo Total (RT)

Para  $RT \leq 150$

$$qRT = 79,75 + (0,166 \times RT) - (0,001088 \times (RT^2)) \quad (40)$$

Quando  $150 < RT \leq 500$

$$qRT = 101,67 - (0,13917 \times RT) \quad (41)$$

Para  $RT > 500$

$$qRT = 32 \quad (42)$$

### 3.2.3 Índice de Qualidade de Água- IQA-CCME

O índice de qualidade de água- CCME foi desenvolvido em 2001 pelo *Canadian Council of Ministers of the Environment* e até então vem sendo utilizado largamente no Canadá e em outros países como citado anteriormente para informar sobre a qualidade da água.

Uma característica importante desse método é que ele não estabelece quais os parâmetros devem ser utilizados, nem a quantidade máxima destes, viabilizando assim a qualidade da água para diversos usos. Entretanto, o manual para usuários recomenda o uso de no mínimo de quatro parâmetros amostrados pelo menos quatro vezes para que sejam usados no cálculo com a finalidade de obter resultados mais precisos (CCME, 2017; LUMB; SHARMA; BIBEAULT; 2011).

O IQA-CCME é formado por três elementos denominados de escopo (F1), frequência (F2) e a amplitude (F3). O parâmetro F1 representa o número de parâmetros que não estão de acordo com os padrões de qualidade e é calculado conforme a equação 43.

$$F1 = \left( \frac{\text{Nº de Parâmetros que não cumprem os critérios}}{\text{Nº Total de Parâmetros}} \right) \times 100 \quad (43)$$

O critério da frequência (F2) está relacionado com o número de vezes que os critérios não atendem aos padrões de qualidade estabelecido.

$$F2 = \left( \frac{\text{Número total de testes falhos}}{\text{Número Total de Testes}} \right) \times 100 \quad (44)$$

O terceiro elemento é a amplitude (F3) representando o quanto cada parâmetro excede do padrão estabelecido. O cálculo de F3 segue três passos. O primeiro passo é calcular a excursão, no qual consiste em calcular o número de vezes que a concentração individual é maior ou menor de acordo com os critérios estabelecidos.

- Quando o valor do parâmetro é maior que o critério estabelecido o cálculo é efetuado conforme a equação 45.

$$Excurs\tilde{a}o = \left( \frac{Valor\ de\ Exced\tilde{e}ncia}{Valor\ Padr\tilde{a}o} \right) - 1 \quad (45)$$

- Quando o valor do parâmetro é menor que o critério estabelecido se utiliza a equação 46.

$$Excurs\tilde{a}o = \left( \frac{Valor\ Padr\tilde{a}o}{Valor\ de\ Exced\tilde{e}ncia} \right) - 1 \quad (46)$$

Em seguida calcula-se o nse através do somatório das excursões dividindo pelo número total de testes.

$$nse = \left( \frac{\sum_{i=1}^n excurs\tilde{a}o}{N\acute{u}mero\ de\ Testes} \right) \quad (47)$$

Por fim o parâmetro F3 é calculado conforme a equação 48 variando numa escala de 0 a 100.

$$F3 = \left( \frac{nse}{0,01nse + 0,01} \right) \quad (48)$$

Após o cálculo de todos os parâmetros (F1, F2, F3) o IQA-CCME é obtido pela equação 49.

$$IQA = 100 - \left( \frac{\sqrt{F1^2 + F2^2 + F3^2}}{1.732} \right) \quad (49)$$

O valor do IQA varia de 0 a 100 no qual é dividido em 5 categorias conforme a tabela 4 abaixo.

Tabela 4-Classe e Faixa de Valores IQA-CCME

| CLASSE    | FAIXA DE VALORES |
|-----------|------------------|
| EXCELENTE | 95-100           |
| BOA       | 80-94            |
| RAZOÁVEL  | 65-79            |
| RUIM      | 45-64            |
| PÉSSIMA   | 0-44             |

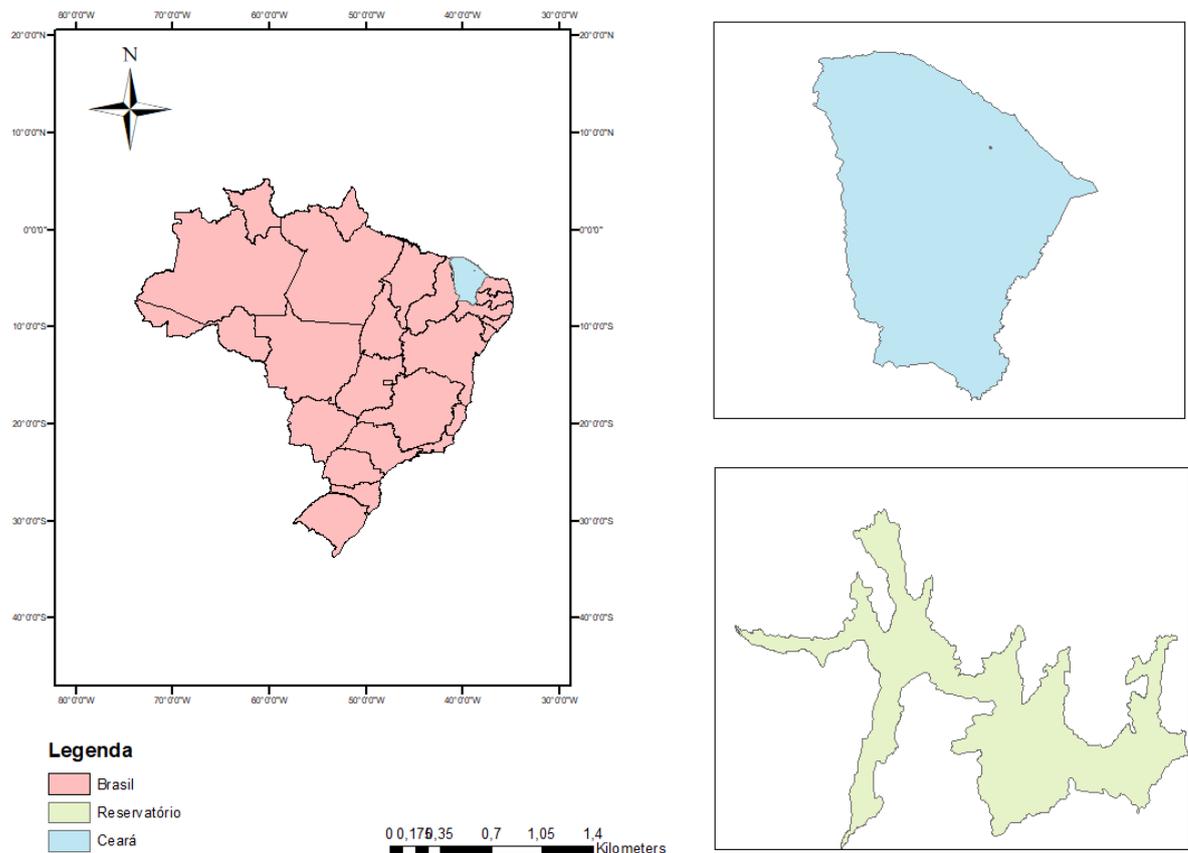
Fonte: CCME (2017)

## 4.METODOLOGIA

### 4.1 Reservatório de Estudo

O reservatório Acarape do Meio, localizado no município de Redenção-Ceará, barra o rio Pacoti possuindo uma área de espelho d'água de 220 hectares e apresenta capacidade de armazenamento de 29,6 de hm<sup>3</sup>. Composto por uma barragem de gravidade em concreto, um vertedouro com 60 m de largura e lâmina máxima de 1,8 m e com tomada de água do tipo galeria (CEARÁ apud COGERH,2008; FUNCEME,2018). A figura 2 traz o mapa de localização do reservatório em estudo.

Figura 2- Mapa de Localização do Reservatório



Fonte: Próprio Autor (2018).

### 4.2 Caracterização da Bacia da Área de Estudo.

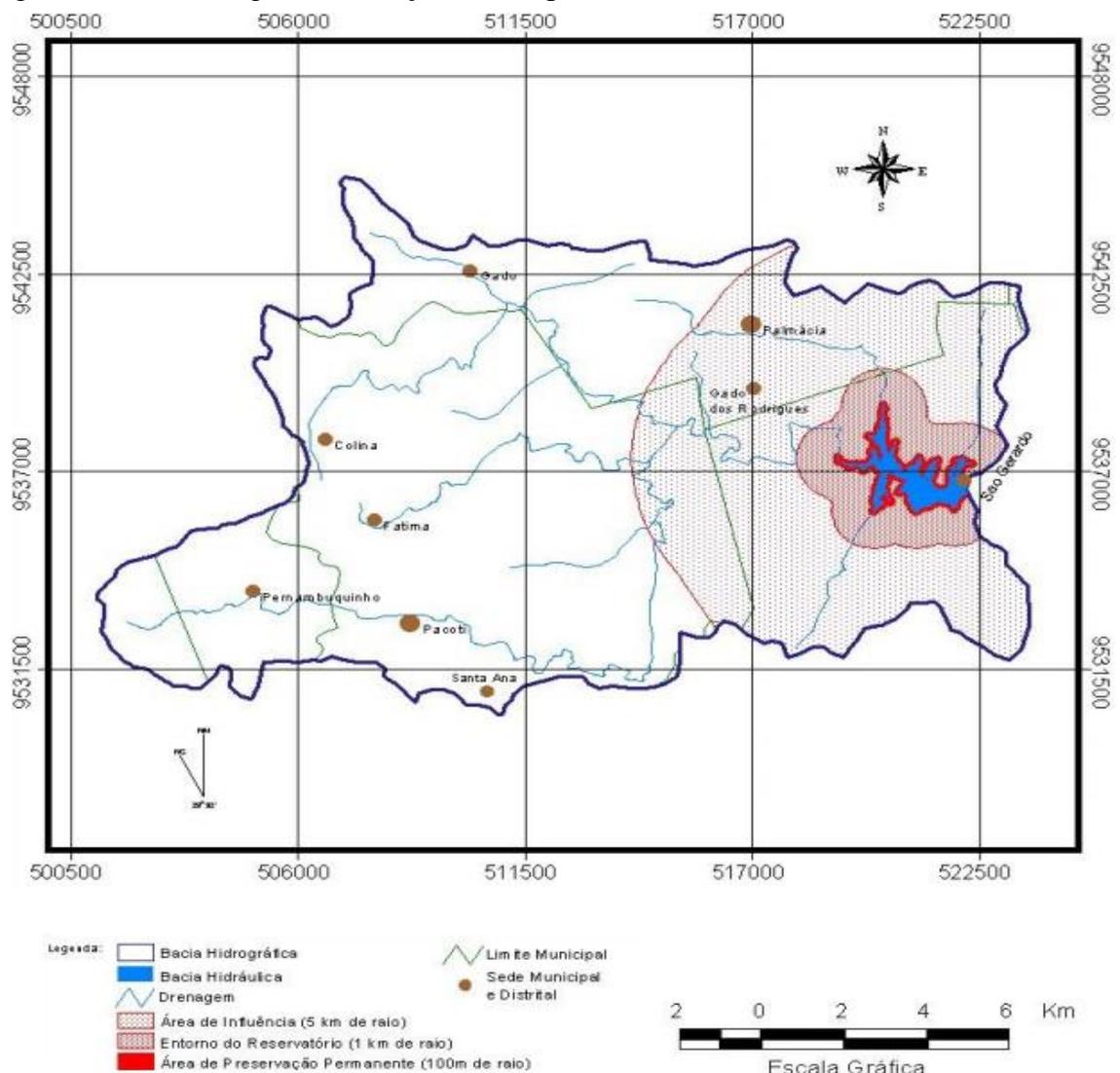
A bacia do Açude Acarape do Meio, pertencente a bacia metropolitana, abrange uma área de 210 km<sup>2</sup> conforme mostra a figura 3, na qual faz parte os municípios de Redenção,

Guaramiranga, Pacoti, Palmácia, Mulungu, Guaiúba, Baturité, localizados na região do Maciço de Baturité no estado do Ceará (COGERH, 2008).

A área apresenta clima do tipo Amw' tropical chuvoso de monção. (KÖPPEN, 1918 apud COGERH, 2008). De acordo com Ponzoni *et al* (2012) esse tipo de clima apresenta temperatura média do dia mais frio acima de 18° C e o período de chuvas concentrado nos meses de fevereiro a maio. Os índices pluviométricos anuais são superiores a 1400mm e temperatura em média 25°C.

A vegetação com maior predominância é do tipo caatinga arbustiva, floresta subcaducifólia tropical pluvial (mata seca) e floresta subperenifólia tropical pluvio-nebular (mata úmida). Em relação aos tipos de solo destacam-se os Aluviais, Planossolo solódico, Podzólico vermelho-amarelo e Bruno não-cálcico (CEARÁ, 2012 apud COGERH, 2008).

Figura 3-Bacia hidrográfica do Açude Acarape do Meio

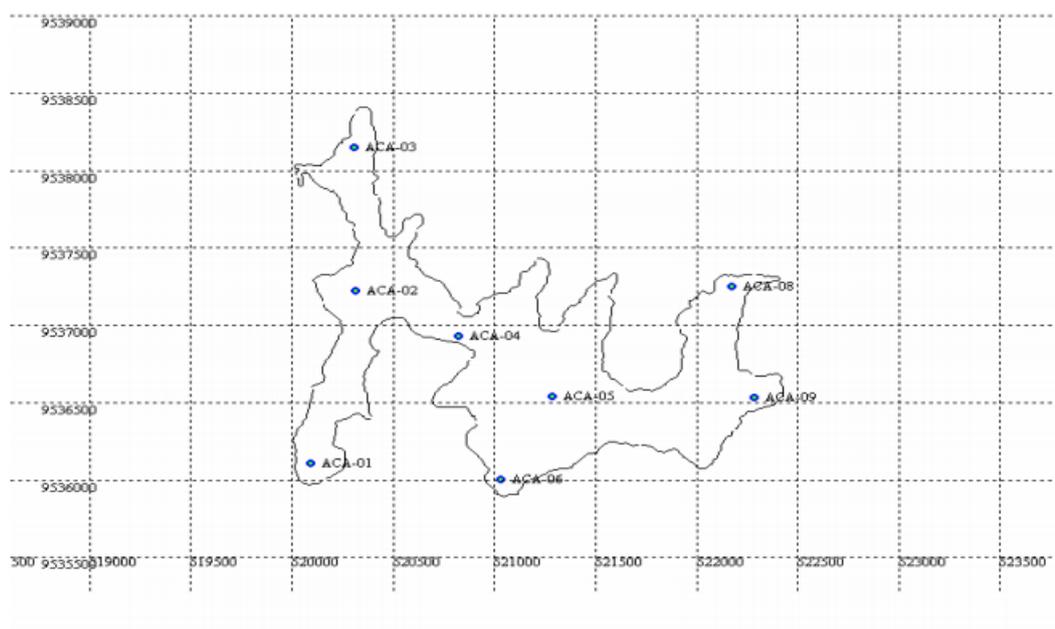


Fonte: COGERH (2008)

### 4.3 Obtenção dos Dados

Para o cálculo do Índice de Qualidade de Água utilizando as metodologias IQA-CETESB e IQA-CCME utilizou-se os dados referentes aos anos de 2010, 2014 e 2016 obtidos através de arquivo eletrônico disponibilizado pela COGERH apresentando os dados dos principais parâmetros utilizados no monitoramento da qualidade de água nos pontos monitorados conforme mostra a figura abaixo.

Figura 4-Pontos no Açude Acarape do Meio monitorados pela COGERH.



Fonte: COGERH (2008)

Com os dados dos nove parâmetros exigidos para o cálculo do IQA-CETESB utilizou-se Software Microsoft Excel para obtenção do cálculo do IQA utilizando as equações obtidas a partir das curvas médias de variação de qualidade de água.

Através das funções do software foi possível verificar facilmente quais os parâmetros não estavam de acordo com os parâmetros estabelecidos pela Resolução CONAMA N° 357/2005, informação necessária para a obtenção dos parâmetros necessários no cálculo do IQA-CCME.

Para cálculo do IQA-CETESB utilizou-se os dados disponibilizados para os meses de outubro e novembro de 2010 e para todos os meses do ano de 2014. Para obtenção do IQA-CCME utilizou-se os dados de todos os meses para os anos de 2014 e 2016.

## 5.RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Índice de Qualidade de Água- IQA-CETESB

As tabelas 5 e 6 trazem os resultados dos cálculos do IQA-CETESB, no qual traz os valores observados para cada parâmetro, sendo estes as médias anuais e conforme as equações descritas anteriormente para cada parâmetro calculou-se o subíndice (qi), que varia de 0 a 100 e através da equação 50 obteve-se o valor final do IQA-CETESB para o ano de 2010 e a equação 51 para o ano de 2014.

Tabela 5-Resultado do cálculo para IQA-CETESB (2010)

| Parâmetro           | Valor Obs | Qi    | Peso (wi)         | Total        |
|---------------------|-----------|-------|-------------------|--------------|
| OD                  | 5,96      | 83,00 | 0,17              | 2,12         |
| Col. Termotolerante | 1,8       | 91,57 | 0,15              | 1,97         |
| pH                  | 7,52      | 92,16 | 0,12              | 1,72         |
| DBO                 | 8,08      | 76,05 | 0,10              | 1,54         |
| Temperatura         | 28        | 94    | 0,10              | 1,57         |
| Nitrogênio Total    | 1,38      | 100   | 0,10              | 1,58         |
| Fosfato Total       | 0,047     | 86,63 | 0,10              | 1,56         |
| Turbidez            | 6,61      | 96,39 | 0,08              | 1,44         |
| Resíduo Total       | 218,5     | 71,29 | 0,08              | 1,41         |
|                     |           |       | <b>IQA-CETESB</b> | <b>87,58</b> |

Fonte: Próprio Autor

$$IQA = \prod_{i=1}^n qi^{wi} = 83,0^{0,17} * 91,57^{0,15} * 92,16^{0,12} * 76,05^{0,10} * 94^{0,10} * 100^{0,10} * 86,63^{0,10} * 96,39^{0,08} * 71,29^{0,08} = \mathbf{87,58} \quad (50)$$

Tabela 6-Resultado do cálculo para IQA-CETESB (2014)

| Parâmetro           | Valor Obs | Qi    | Peso (wi)         | Total        |
|---------------------|-----------|-------|-------------------|--------------|
| OD                  | 7,28      | 89,25 | 0,17              | 2,14         |
| Col. Termotolerante | 33,96     | 51,50 | 0,15              | 1,81         |
| pH                  | 8,41      | 81,4  | 0,12              | 1,69         |
| DBO                 | 6,06      | 78,81 | 0,10              | 1,55         |
| Temperatura         | 28        | 94    | 0,10              | 1,57         |
| Nitrogênio Total    | 2,10      | 100   | 0,10              | 1,58         |
| Fosfato Total       | 0,22      | 53,13 | 0,10              | 1,49         |
| Turbidez            | 22,62     | 20,46 | 0,08              | 1,48         |
| Resíduo Total       | 255,75    | 66,13 | 0,08              | 1,38         |
|                     |           |       | <b>IQA-CETESB</b> | <b>67,24</b> |

Fonte: Próprio Autor

$$IQA = \prod_{i=1}^n qi^{wi} = 89,25^{0,17} * 51,50^{0,15} * 81,4^{0,12} * 78,81^{0,10} * 94^{0,10} * 100^{0,10} * 53,13^{0,10} * 20,46^{0,08} * 66,13^{0,08} = \mathbf{67,24}$$
 (51)

Verificou-se para o ano de 2010 que o índice de qualidade da água igual a 87,50 enquadrando-se desta forma na classe “Ótima”, enquanto que para o ano de 2014 esse valor cai 67,25 ficando classificada na categoria “Boa” conforme mostra as faixas da tabela 3.

## 5.2 Índice de Qualidade de Água- IQA-CCME

As tabelas 7, 8 trazem também um resumo dos dados para aplicação do método IQA-CCME para os anos de 2014 e 2016. Assim, verificou-se o número de parâmetros e o número de amostras que que não estavam de acordo com o valor determinado na Resolução CONAMA N° 357/2005 para efetuar os cálculos dos parâmetros F1, F2 e F3 conforme as equações 52 a 55. Os valores em negrito são valores que ultrapassaram o limite estabelecido pela norma citada.

Tabela 7--Resumo do cálculo para IQA-CCME (2014)

| Mês    | COL<br>NMP/<br>100ml | DBO<br>Mg/L<br>O <sub>2</sub> | Fósf.<br>Mg/L P | Nitrog.<br>Mg/L | OD<br>Mg/L<br>O <sub>2</sub> | pH          | Sólidos<br>Mg/L | Turbidez<br>NTU |
|--------|----------------------|-------------------------------|-----------------|-----------------|------------------------------|-------------|-----------------|-----------------|
| Jan    | 3,00                 | <b>6,88</b>                   | <b>0,21</b>     | 1,93            | 8,70                         | 8,81        | 251             | 21,83           |
| Fev    | 8,60                 | <b>10,22</b>                  | <b>0,23</b>     | 0,92            | 8,00                         | <b>9,95</b> | 273             | 26,43           |
| Mar    | 5,20                 | <b>10,83</b>                  | <b>0,23</b>     | <b>5,38</b>     | 7,98                         | 7,94        | 261             | 26,34           |
| Abr    | 185                  | <b>7,99</b>                   | <b>0,23</b>     | 2,52            | -                            | 8,81        | 243             | 22,54           |
| Mai    | -                    | <b>6,63</b>                   | <b>0,24</b>     | 1,47            | 7,33                         | 8,51        | 262             | -               |
| Jun    | -                    | <b>5,77</b>                   | <b>0,20</b>     | 1,97            | 9,67                         | 8,76        | 240             | 15,51           |
| Jul    | -                    | 2,25                          | <b>0,28</b>     | 2,24            | 5,63                         | 7,85        | 235             | 22,81           |
| Ago    | -                    | 3,14                          | <b>0,31</b>     | 1,55            | 5,85                         | 7,94        | 246             | 22,11           |
| Set    | -                    | <b>9,65</b>                   | <b>0,20</b>     | 1,54            | 7,70                         | 7,94        | 260             | 24,05           |
| Out    | -                    | <b>7,33</b>                   | <b>0,10</b>     | 1,54            | 8,71                         | 8,38        | 267             | 22,75           |
| Nov    | -                    | <b>5,9</b>                    | <b>0,25</b>     | 1,77            | 5,52                         | 8,17        | 241             | 25,55           |
| Dez    | -                    | 2,67                          | <b>0,15</b>     | -               | 5,04                         | 8,79        | 255             | 18,89           |
| Padrão | ≤1000                | ≤5                            | ≤0,03           | ≤5              | ≥5                           | 6-9         | ≤500            | ≤100            |

Fonte: Próprio Autor

$$F1 = \left(\frac{4}{8}\right) x 100 = 50$$
 (52)

$$F2 = \left(\frac{122}{272}\right) x 100 = 44,85$$
 (53)

$$F3 = \left(\frac{2,50}{0,01 * 2,50 + 0,01}\right) = 71,50$$
 (54)

$$IQA = 100 - \left( \frac{\sqrt{50^2 + 44,85^2 + 71,50^2}}{1.732} \right) = \mathbf{43,53} \quad (55)$$

Para o ano de 2014 analisando os dados percebe-se que quatros dos oitos parâmetros ultrapassam os limites estabelecidos pela Resolução 357/2005 CONAMA, são eles DBO, fósforo, nitrogênio e pH e após o cálculo de os parâmetros obtém-se o valor do IQA-CCME de 43,53 enquadrando-se na categoria “Péssima” de acordo com a classificação do método.

Para efetuar o cálculo do IQA-CMME para o ano de 2016 utilizou-se sete parâmetros, pois os dados de coliformes termotolerantes não foram disponibilizados para esse período. Da mesma forma calculou-se o valor dos parâmetros F1, F2 e F3 e por fim obteve-se valor de 61,55, categoria “Ruim”. Os valores em negrito na tabela 8 são valores que estavam acima do padrão estabelecido pela Resolução do CONAMA.

Tabela 8-Resumo do cálculo para IQA-CCME (2016)

| Mês    | DBO<br>Mg/L<br>O <sub>2</sub> | Fósf.<br>Mg/L P | Nitrog.<br>Mg/L | OD<br>Mg/L<br>O <sub>2</sub> | pH   | Sólidos<br>Mg/L | Turbidez<br>NTU |
|--------|-------------------------------|-----------------|-----------------|------------------------------|------|-----------------|-----------------|
| Jan    | -                             | 0,03            | 0,99            | -                            | -    | -               | -               |
| Fev    | <b>6,39</b>                   | <b>0,13</b>     | 1,80            | 8,77                         | 8,48 | 202             | 6,76            |
| Mar    | <b>7,24</b>                   | <b>0,18</b>     | 3,17            | 6,51                         | 7,91 | 232             | 6,45            |
| Abr    | <b>6,20</b>                   | <b>0,35</b>     | 3,20            | <b>3,00</b>                  | 7,73 | 194             | 7,86            |
| Mai    | 4,05                          | <b>0,09</b>     | 2,83            | 8,76                         | 8,37 | 215             | 3,74            |
| Jun    | <b>5,58</b>                   | <b>0,11</b>     | 2,25            | 7,52                         | 8,16 | 150             | 2,35            |
| Jul    | <b>9,48</b>                   | 0,01            | 0,71            | 7,70                         | 8,21 | 188             | 4,10            |
| Ago    | <b>6,63</b>                   | <b>0,07</b>     | 0,97            | 6,50                         | 7,88 | 174             | 2,76            |
| Set    | <b>5,48</b>                   | <b>0,14</b>     | 0,21            | 7,20                         | 7,94 | 192             | 2,07            |
| Out    | <b>6,20</b>                   | <b>0,04</b>     | 0,40            | 6,86                         | 7,98 | 192             | 2,52            |
| Nov    | <b>6,87</b>                   | 0,01            | 0,98            | 7,41                         | 8,05 | 207             | 3,12            |
| Dez    | 4,90                          | 0,02            | 1,00            | 7,71                         | 8,46 | 236             | 4,88            |
| Padrão | ≤5                            | ≤0,03           | ≤5              | ≥5                           | 6-9  | ≤500            | ≤100            |

Fonte: Próprio Autor

$$F1 = \left( \frac{3}{7} \right) \times 100 = 42,5 \quad (56)$$

$$F2 = \left( \frac{30}{113} \right) \times 100 = 26,54 \quad (57)$$

$$F3 = \left( \frac{0,77}{0,01 * 0,77 + 0,01} \right) = 43,50 \quad (58)$$

$$IQA = 100 - \left( \frac{\sqrt{42,5^2 + 26,54^2 + 43,50^2}}{1.732} \right) = 61,55 \quad (59)$$

### 5.3 Discussões

A tabela 11 traz um comparativo entre as duas metodologias utilizada para os anos de 2010, 2014 e 2016. Para o ano de 2016 não foi possível aplicar o método do IQA-CETESB, pois para esse método a falta de um parâmetro inviabiliza o cálculo do IQA, sendo uma desvantagem para essa metodologia.

Como o procedimento utilizado pelo IQA-CCME não restringe quais e quantos parâmetros deve ser utilizado, foi possível calcular o índice de qualidade da água para os anos de 2014 e 2016, caracterizando um aspecto positivo desse método. Porém é recomendado que se analise quatro parâmetros amostrados pelo menos quatro vezes, assim não foi possível calcular o IQA-CCME para o ano de 2010, pois a maioria dos parâmetros havia sido analisados apenas duas vezes, caracterizando uma limitação de aplicabilidade do método.

No quadro 3 ao compararmos os dois métodos com as referidas escalas e observa-se facilmente que o IQA-CCME é bem mais restrito na classificação da qualidade da água quando comparado com o IQA-CETESB, pois a faixa classificada como “Excelente” varia de apenas de 95-100, em contrapartida no método adaptado pela CETESB a faixa varia de 80-100 para categoria “Ótima”. É possível apontar essa restrição com uma das principais diferenças dos valores de IQA para as duas metodologias.

Tabela 9-Comparativo entre as metodologias utilizadas.

| ANO  | IQA-CETESB |           | IQA-CCME |           |
|------|------------|-----------|----------|-----------|
|      | Faixa      | Categoria | Faixa    | Categoria |
| 2010 | 87,58      | ÓTIMA     | -        | -         |
| 2014 | 67,24      | BOA       | 43,53    | PÉSSIMA   |
| 2016 | -          | -         | 61,55    | RUIM      |

Fonte: Próprio Autor.

Quadro 3-Escalas IQA-CETESB e IQA-CCME.

| FAIXAS | 0       | 19 | 20   | 36 | 37       | 44   | 45 | 51 | 52  | 64       | 65 | 79  | 80    | 94        | 95 | 100 |
|--------|---------|----|------|----|----------|------|----|----|-----|----------|----|-----|-------|-----------|----|-----|
| CETESB | Péssima |    | Ruim |    | Razoável |      |    |    | Boa |          |    |     | Ótima |           |    |     |
| CCME   | Péssima |    |      |    |          | Ruim |    |    |     | Razoável |    | Boa |       | Excelente |    |     |

Fonte: Adaptado OLIVEIRA et al. (2012).

Analisando os dados percebe-se que os parâmetros restritivos são o fósforo e  $DBO_{5,20}$  pois foram os que mais apresentaram desconformidade, sendo o limite do CONAMA de 0,03 mg/L para o fósforo e de 5,0 mg/L para  $DBO_{5,20}$ , na maior parte do tempo ultrapassado para o período estudado conforme as figuras 5 e 6.

Esses valores não-conforme com a norma influenciam consideravelmente no cálculo do parâmetro F2 e F3 no método CCME, uma vez que o F2 é calculado de acordo número de vezes que os critérios não atendem aos padrões estabelecidos pelo número total de análises realizadas e F3 representa a magnitude que cada parâmetro excedeu ao limite estabelecido calculado através das excursões, contribuindo no final para o baixo valor do IQA-CCME.

Estudos realizados por Almeida (2014) concluíram através de análise gráfica que o parâmetro F3 tem uma maior influência sobre o resultado do IQA-CCME. Almeida (2014) e Almeida (2007) constataram também que a redução na quantidade de parâmetros analisados levou uma redução no valor do IQA-CCME.

Conforme mostra a tabela 11, em todos os anos analisados o fósforo é responsável em mais de 70% do valor total excedido, seguido do parâmetro  $DBO_{5,20}$ .

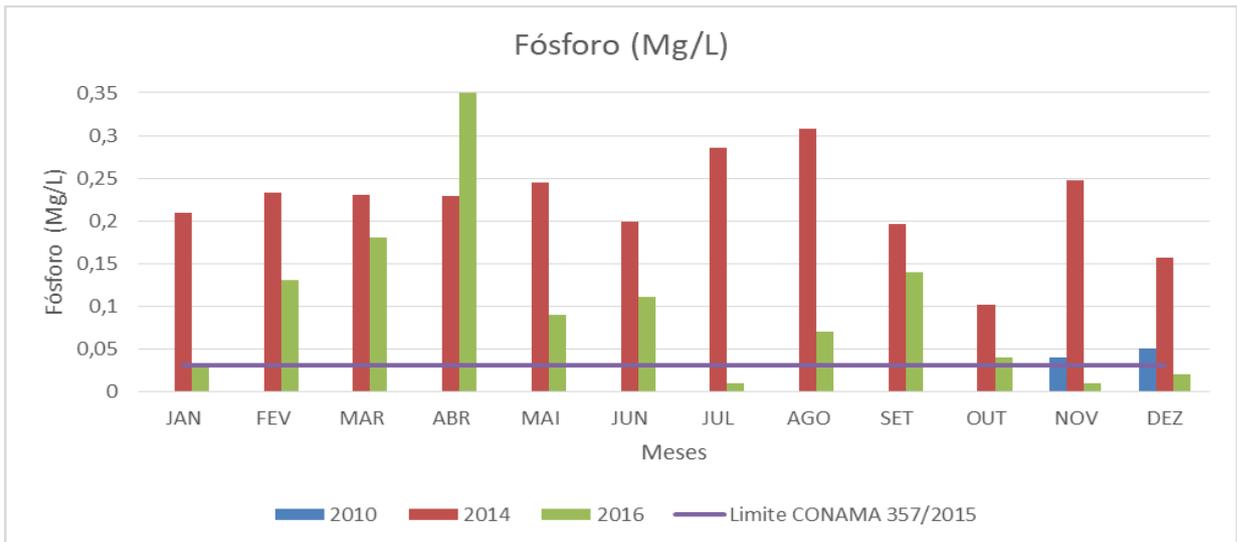
Tabela 10- Valores não conformes do período analisado

| Ano  | Valores não conformes | Valores não conformes | Valores não conformes |
|------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
|      | Total                 | Fósforo               | $DBO_{5,20}$          |
| 2014 | 122                   | 106                   | 9                     |
| 2016 | 31                    | 21                    | 9                     |

Fonte: Próprio Autor

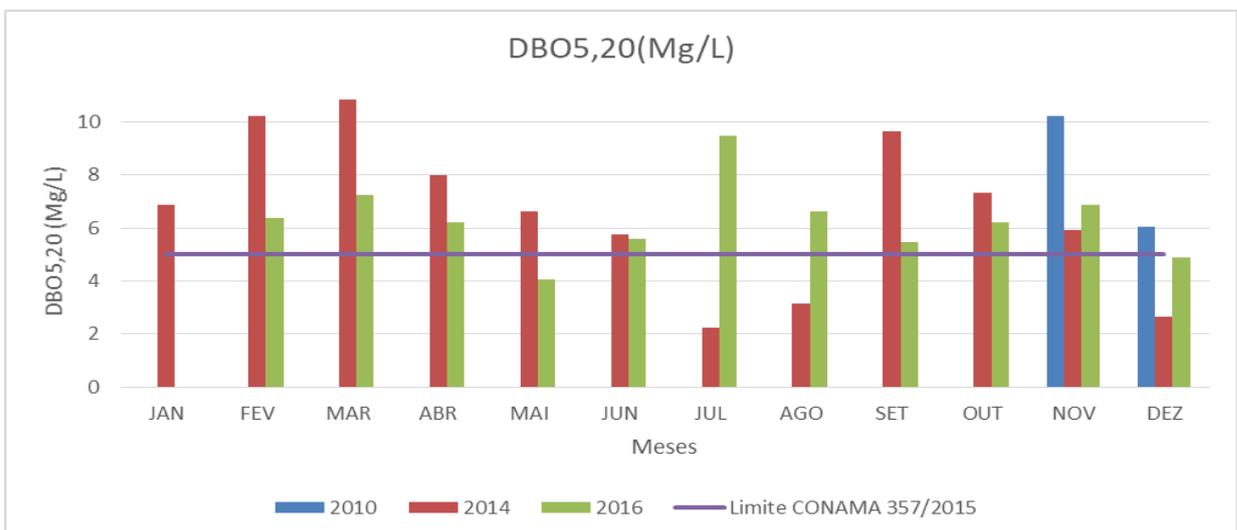
Como já citado anteriormente a presença de fósforo em um corpo hídrico pode ser resultante de atividades antrópicas, causando a eutrofização das águas naturais. Segundo o Inventário Ambiental do Açude Acarape do Meio realizado pela COGERH no ano de 2008, apontou para o recebimento de carga poluidora oriundas de fontes difusas decorrentes da atividade agrícola com uso de agrotóxicos, presença de várias residências com fossa rudimentar na área no entorno do reservatório, além do lançamento no rio de efluentes das ETEs do município de Pacoti e Palmácia, o que explica de fato os elevados índices de fósforo nas análises realizadas.

Figura 5-Perfil do Fósforo.



Fonte: Próprio Autor.

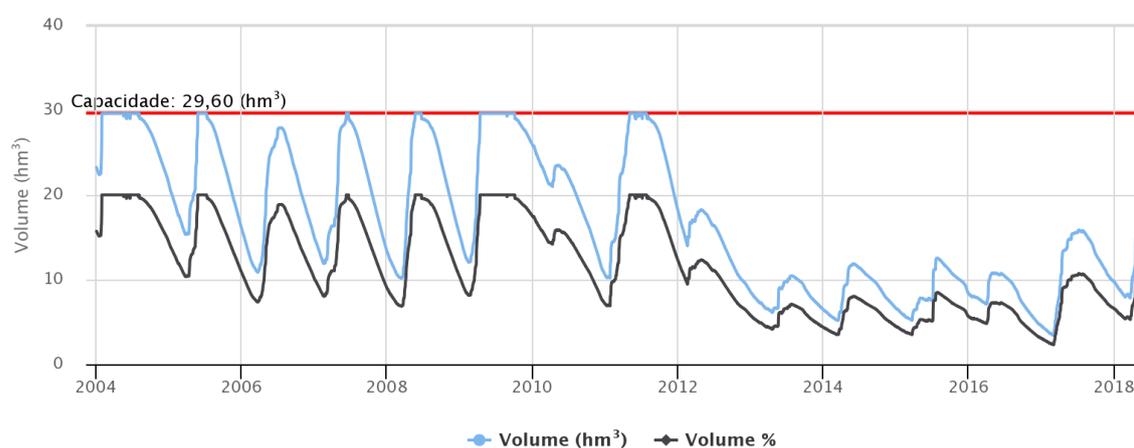
Lima (2016) em seu estudo sobre a Bacia do Açude Acarape do Meio também constatou que o fósforo era o parâmetro restritivo na qualidade da água. Verificou que algumas ETEs presentes próximas a rede de drenagem da bacia não estavam em funcionamento, sendo o esgoto lançando de forma concentrada no rio Pacoti sem nenhum tratamento, contribuindo para elevados valores de  $DBO_{5,20}$ , que em geral tem seu valor elevado devido a despejos de origem orgânica no corpo hídrico, limitando a vida aquática. A figura 6 mostra que na maioria dos meses o valor de  $DBO_{5,20}$  ultrapassou o limite estabelecido na Resolução 375/05. Também observou que os agrotóxicos utilizados pelos agricultores não tinham nenhum acompanhamento da Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Ceará.

Figura 6-Perfil da  $DBO_{5,20}$ .

Fonte: Próprio Autor.

O inventário do reservatório realizado pela COGERH aponta sobre a correlação entre volume armazenado e a qualidade da água. Assim a qualidade da água é reduzida à medida que o volume armazenado diminui. A figura 7 traz a evolução do volume armazenado desde do ano de 2004. Para os anos de 2014 e 2016 por exemplo o volume armazenado estava abaixo de 50% da capacidade total do reservatório e apresentou valores de IQA mais baixo comparados com valor obtido em 2010, que apresentou volume armazenado acima de 50%.

Figura 7- Volume Armazenado no Açude Acarape do Meio



Fonte: Funceme (2018).

## 6. CONCLUSÃO

Percebeu-se que a metodologia do IQA-CCME apresenta uma maior facilidade de aplicação do método, pelo fato de não restringir quais e quantos os parâmetros devem ser utilizados, caracterizando uma maior flexibilidade deste método. Em contrapartida do método IQA-CETESB em que é necessária informação dos nove parâmetros estabelecidos e a falta de um parâmetro inviabiliza a obtenção do IQA por este método.

Os baixos valores do IQA-CCME em relação ao IQA-CETESB estão relacionados com a restrição da escala e também pelo fato de alguns parâmetros não estarem de acordo com os valores estabelecidos na Resolução CONAMA N° 357/2005 influenciando o parâmetro F3 que tem uma maior influência no cálculo do IQA-CCME.

Os altos índices de fósforo, assim como a quantidade de  $DBO_{5,20}$  no reservatório está relacionado com as atividades antrópicas desenvolvidas na área da bacia do Açude do Acarape do Meio e conseqüentemente influenciando na qualidade da água do reservatório.

## REFERÊNCIAS

ANA - Agência Nacional de Águas. **A Evolução da Gestão de Recursos Hídricos no Brasil.** 2002. Disponível em: <<http://arquivos.ana.gov.br/institucional/sge/CEDOC/Catalogo/2002/AEvolucaoDaGestaoDosRecursosHidricosnoBrasil.pdf>>. Acesso em: 16 janeiro 2018

ANA-Agência Nacional de Águas. **Portal da qualidade das águas: índice de qualidade das águas.** Disponível em: <<http://portalpnqa.ana.gov.br/indicadores-indice-aguas.aspx>>. Acesso em: 16 janeiro de 2018 .

ALMEIDA, Alaíde.Alves. **Estudo Comparativo entre os Métodos IQA<sub>NSF</sub> e IQA<sub>CCME</sub> na Análise da Qualidade da Água do Rio Cuiabá.** 2007. Dissertação (Mestrado em Física e Meio Ambiental) -Universidade Federal de Mato Grosso. 2007.

ALMEIDA, Jaqueline Colvara de. **Avaliação do Índice de Qualidade da Água na lagoa dos Patos.** 2013. 51f. Trabalho de Conclusão de Curso. Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas. 2013

ALMEIDA, Geane Silva de. **Avaliação da Aplicação do IQA-CCME na divulgação da qualidade de água de bacias hidrográficas. Estudo de caso: Bacia Hidrográfica do Rio Joanes.** 2014. 131 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal da Bahia. 2014

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente - **Resolução CONAMA 357/2005 de 17 de março de 2005.** Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.

CARMICHAEL, W.W., AZEVEDO, S., AN, J., MOLICA, R., JOCHIMSEN, E., LAU, S., RINEHART, K., SHAW, G., EAGLESHAM, G., 2001. Human fatalities from cyanobacteria: chemical and biological evidence for cyanotoxins. **Environmental Health Perspectives.** V.109, n.7. July 2001.

CCME. Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life: CCME Water Quality Index User's Manual 2017 Update. Disponível em: <[https://www.ccme.ca/files/Resources/water/water\\_quality/WQI%20Manual%20EN.pdf](https://www.ccme.ca/files/Resources/water/water_quality/WQI%20Manual%20EN.pdf)>. Acesso em: 28 janeiro de 2018

CETESB. **Qualidade das águas superficiais no estado de São Paulo.** São Paulo.2014. Disponível em: <[http://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wpcontent/uploads/sites/12/2013/11/Cetesb\\_QualidadeAguasSuperficiais2014\\_PartI\\_vers%C3%A3o2015\\_Web.pdf](http://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wpcontent/uploads/sites/12/2013/11/Cetesb_QualidadeAguasSuperficiais2014_PartI_vers%C3%A3o2015_Web.pdf)>. Acesso em: 17 janeiro de 2018.

CETESB. **Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo**. 2004. Disponível em: <[http://www.mpsp.mp.br/portal/page/portal/cao\\_urbanismo\\_e\\_meio\\_ambiente/biblioteca\\_virtual/bv\\_informativos\\_tecnicos/Relat%C3%B3rio%20Anual.pdf](http://www.mpsp.mp.br/portal/page/portal/cao_urbanismo_e_meio_ambiente/biblioteca_virtual/bv_informativos_tecnicos/Relat%C3%B3rio%20Anual.pdf)>. Acesso em: 25 janeiro 2018.

CORADI, P.C.; FIA, R.; PEREIRA- RAMIREZ, O. **Avaliação da qualidade da água superficial dos cursos de água do município de Pelotas-RS**. *Ambi-Água*, Taubaté, v. 4, n. 2, p. 46-56, 2009. Disponível em: <[ww.researchgate.net](http://www.researchgate.net)>. Acesso em: 18 janeiro de 2018

COGERH. **Inventário Ambiental do Açude Acarape do Meio: Fatores Condicionantes da Qualidade das Águas**. 2008. Disponível em: <<http://www.hidro.ce.gov.br/>>. Acesso em: 22 janeiro de 2018

COGERH. **Monitoramento**. Disponível em: <<https://www.cogerh.com.br/eixos-de-atuacao/monitoramento.html>>. Acesso em: 22 janeiro de 2018

COGERH. **Adutora**. Disponível em: <<https://www.cogerh.com.br/eixos-de-atuacao/operacao-e-manutencao/infraestrutura-hidrica-metropolitana/sistemas-hidricos/adutoras.html>>. Acesso em: 25 janeiro de 2018

CPRH-Agência Estadual de Meio Ambiente. **Índices e Indicadores de Qualidade da Água – Seleção Preliminar e Material de Apoio para a Aplicação**. Programa Nacional do Meio Ambiente II – PNMAII. Disponível em: <<http://www.cprh.pe.gov.br/downloads/indice-agua-volume2.pdf>>. Acesso em: 21 fevereiro 2018

DNOCS. **Açude Acarape do Meio**. 1997. Disponível em: <[http://www.dnocs.gov.br/~dnocs/doc/canais/barragens/Barragem%20do%20Ceara/acarape\\_d\\_o\\_meio.htm](http://www.dnocs.gov.br/~dnocs/doc/canais/barragens/Barragem%20do%20Ceara/acarape_d_o_meio.htm)>. Acesso em 22 janeiro de 2018.

FRANÇA, Josefa Marciana Barbosa de. **Avaliação da degradação do Açude Acarape do Meio -CE com uso de modelo matemático e geotecnologia**. 2013. Dissertação (Mestrado em recursos Hídricos) – Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013.

FIORUCCI, A. R.; FILHO, E. B. A importância do oxigênio dissolvido em ecossistemas aquáticos. **Revista Química e Sociedade**, n. 22, p.10-16, 2005.

IGAM - Instituto Mineiro De Gestão Das Águas. **Sistema de Cálculo de Índice de Qualidade de Água (SCQA) – Estabelecimento das Equações do índice de Qualidade das Águas (IQA)**. Belo Horizonte. IGAM, 2005. Disponível em: <[www.igam.mg.gov.br](http://www.igam.mg.gov.br)> Acesso em: 22 fevereiro de 2018.

KARR; J.R. **Biological integrity: a long-neglected aspect of water resource management.** Ecological Applications 1991;1:66-84.

LIMA, Berthyer Peixoto. **Enquadramento de corpos d'água no Nordeste Brasileiro como Instrumento de Gestão e Sustentabilidade Ambiental: o caso da Bacia Hidrográfica Acarape do Meio – Ce.** 2016. Tese de Doutorado, Departamento de Engenharia Agrícola /Universidade Federal do Ceará. 2016

LUMB, A.; SHARMA, TC. ; BIBEALUT, J-F. 2011. **A review of genesis and evolution of Water Quality Index (WQI) and some future direction.** Water, Quality, Exposure and Health, 2011, vol.3, n°1, p. 11-24.

MERTEN, G. H.; MINELLA, J. P. **Qualidade da água em bacias hidrográficas rurais: um desafio atual para sobrevivência futura.** Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável, Porto Alegre, v. 3, n. 4, p. 33-38, out./dez. 2002.

OLIVEIRA, C. N.; CAMPOS, V. P.; MEDEIROS, Y. Avaliação e identificação de parâmetros importantes para a qualidade de corpos d'água no semi-árido baiano. Estudo de caso: bacia hidrográfica do Rio Salitre. **Química Nova**, v. 33, p. 1059-1066, 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422010000500010>.

OLIVEIRA, I. B.; ALMEIDA R. A. S.; NEGRÃO, F. I. & BERETTA, M. **Avaliação da Qualidade da Água do Aquífero Sedimentar do Estado da Bahia Utilizando os Índices de Qualidade IQNAS E CCME WQI.** Anais. XVII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 23-26/10/2012, Abas Bonito, MS. 2012. <http://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/27681/17935>

PEREIRA, R. D. S., **Identificação e Caracterização das Fontes de Poluição em Sistemas Hídricos.** Revista Eletrônica de Recursos Hídricos (RERH). Porto Alegre/RS, Brasil. Volume 1. Número 1. p. 20-36. Instituto de Pesquisas Hidráulicas/UFRGS, 2004.

REBOUÇAS, A. C. Água Doce no Mundo e no Brasil. In: REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B. & TUNDISI, J. G. (Org.). **Águas Doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação.** 3. ed. São Paulo: Escrituras, 2006. p. 145 – 160

RICHTER, Carlos A. **Água: métodos e tecnologia de tratamento.** São Paulo: Edgard Blucher, 2009.

TUNDISI, J.G. Novas Perspectivas para a Gestão de Recursos Hídricos. **Revista USP**, São Paulo, n.70, p. 24-35, junho/agosto 2006

TUNDISI. J. G.; TUNDISI. M. T. M. **Limnologia: Ciência da Terra.** São Paulo: Oficina de Textos. 2008.

SMITH, V.H.; SCHINDLER, D. W. Eutrophication science: where do we go from here? **Trends in Ecology and Evolution**. Vol 24. N° 4 2009.

SHR- Secretaria dos Recursos Hídricos. **Projeto Estudo da Qualidade Das Águas em Reservatórios Superficiais da Bacia Metropolitana**. 2002. Disponível em: <<http://www.funceme.br/documents/Projetos/Qualidade.pdf>> Acesso em 16 fevereiro de 2018.

VON SPERLING, Marcos. **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias – Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. v.01. 3ªed. Belo Horizonte. DESA-UFMG. 425p. 2005.

## ANEXO

## ANEXO A- Características do Açude do Acarape do Meio

| DETALHES DO AÇUDE: Acarape do Meio<br>(Concluído em 1924) |   |
|---|---|
| <b>:: LOCALIZAÇÃO (Ver no mapa)</b>                       |   |
| Município:  | Redenção  |
| Coordenada E:   | 522.254   |
| Coordenada N:   | 9.536.421   |
| Bacia:  | Metropolitana   |
| Rio/Riacho Barrado:                                       | Pacoti  |
| <b>:: BARRAGEM</b>  |   |
| Tipo:   | Gravidade (alvenaria de pedra)  |
| Capacidade (m³):  | 31.500.000  |
| Bacia Hidrográfica(Km²):                                  | 210,010   |
| Bacia Hidráulica(ha):                                     | 220,000   |
| Vazão Regularizada(m³/s):                                 | 0,150   |
| Extensão pelo Coroamento(m):                              | 267,0   |
| Largura do Coroamento(m):                                 | 3,00  |
| Cota do Coroamento(m):                                    | 133,00  |
| Altura Máxima(m):   | 33,00   |
| <b>:: SANGRADOURO</b>                                     |   |
| Tipo:   | Vertedouro  |
| Largura(m):   | 60,0  |
| Lâmina Máxima(m):   | 1,80  |
| Cota da Soleira(m):                                       | 130,0   |
| <b>:: TOMADA D'ÁGUA</b>                                   |   |
| Tipo:   | Galeria 2,5 x 2,5m  |
| Diâmetro(mm):   |   |
| Comprimento(m):   | 45,00   |
| Observação:   |   |
| Referência Bibliográfica:                                 | ARAÚJO, José Amaury de Aragão, coord. Barragens no Nordeste do Brasil; uma experiência na região semi-árida. 2ª ed. Fortaleza, DNOCS, 1990. 328p. |