



**ipece**

INSTITUTO DE PESQUISA E SUSTENTABILIDADE ECONÔMICA DO CEARÁ



**GOVERNO DO  
ESTADO DO CEARÁ**  
*Secretaria dos Recursos Hídricos*

# CONTRATAÇÃO DOS SERVIÇOS DE CONSULTORIA (PESSOA JURÍDICA) PARA ELABORAÇÃO DO PLANO DE SEGURANÇA HÍDRICA DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS ESTRATÉGICAS DO ACARAÚ, METROPOLITANAS E DA SUB-BACIA DO SALGADO

PSH-RT14-04

## RELATÓRIO DE IDENTIFICAÇÃO DAS VULNERABILIDADES DOS SISTEMAS HÍDRICOS





**ipece**

INSTITUTO DE PESQUISA E SISTEMAS ECONÔMICOS DO CEARÁ



**GOVERNO DO  
ESTADO DO CEARÁ**  
*Secretaria dos Recursos Hídricos*

GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ

Governador: Camilo Sobreira de Santana

SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS

Secretário: Francisco José Coelho Teixeira

COMPANHIA DE GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS

Diretor-Presidente: João Lúcio Farias de Oliveira

CHEFIA DE GABINETE

Antônio Treze de Melo Lima

DIRETORIA DE PLANEJAMENTO

Elano Lamartine Leão Joca

DIRETORIA DE OPERAÇÕES

Débora Maria Rios Bezerra

DIRETORIA FINANCEIRA

Paulo Henrique Studart Pinho

GERENTE DO PROJETO

Zulene Almada Teixeira





**ipece**

INSTITUTO DE PESQUISA E ESTATÍSTICA ECONÔMICA DO CEARÁ



**GOVERNO DO  
ESTADO DO CEARÁ**  
*Secretaria dos Recursos Hídricos*

#### EQUIPE TÉCNICA DO CONSÓRCIO

Francisco Jácome Sarmiento (Coordenador Geral)

Romulo de Macedo Vieira

Bruno Costa Castro Alves

Juliana Argélia Garcia de Almeida

Akira Duarte Kobayashi

Alan Pinheiro de Souza

Talles Chateaubriand de Macedo

Emanuella Almeida Figueiredo

Marcela Rafaela de Freitas Silva

#### EQUIPE TÉCNICA DA COGERH

Francimeyre Freire Avelino

Micaella da Silva Teixeira Rodrigues

Nice Maria da Cunha Cavalcante

Ubirajara Patrício Álvares da Silva

Zulene Almada Teixeira

#### AGRADECIMENTOS/COLABORADORES

Arthur Jordan de Azevedo Toné

Berthyer Peixoto Lima

Claire Anne Viana de Sousa

Davi Martins Pereira

Francisco de Assis de Souza Filho

Fátima Lorena Magalhães Ferreira

Walt Disney Paulino





**ipece**

INSTITUTO DE PESQUISA E SISTEMAS ECONÔMICOS DO CEARÁ



**GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ**  
Secretaria dos Recursos Hídricos

## QUADRO DE CODIFICAÇÃO

<b>Código do Documento</b>	PSH-RT14-04		
<b>Título</b>	Contratação dos serviços de consultoria (pessoa jurídica) para elaboração do Plano de Segurança Hídrica das Bacias hidrográficas estratégicas do Acaraú, Metropolitanas e da Sub-Bacia do Salgado		
<b>Aprovação Inicial por:</b>	Francisco Jácome Sarmiento		
<b>Data da Aprovação Inicial:</b>	01/06/2017		
<b>Controle de Revisões</b>			
<b>Revisão Nº</b>	<b>Natureza</b>	<b>Data</b>	<b>Aprovação</b>
01	Forma/Conteúdo	07/07/2017	Francisco Jácome Sarmiento
02	Forma/Conteúdo	10/01/2018	Francisco Jácome Sarmiento
03	Forma/Conteúdo	24/01/2018	Francisco Jácome Sarmiento
04	Forma	29/01/2018	Francisco Jácome Sarmiento







## APRESENTAÇÃO

Este documento, denominado *Produto 14 – Relatório de Identificação de Vulnerabilidades dos Sistemas Hídricos* é parte integrante do **Plano de Segurança Hídrica das Bacias Hidrográficas do Acaraú, Metropolitanas e Sub-Bacia do Salgado**, que é um indicador do Projeto de Apoio ao Crescimento Econômico com Redução das Desigualdades e Sustentabilidade Ambiental do Estado do Ceará – Programa para Resultados (PforR). Este plano foi contratado pela Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos (Cogerh).

O Produto 14 - Relatório de Identificação de Vulnerabilidades dos Sistemas Hídricos é produto editado em volume único, onde os sistemas hídricos pertencentes às duas bacias e a sub-bacia de interesse são tratados à luz das metodologias e informações especificadas nos Termos de Referência.





## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Variação do PIB agropecuário e as secas no Ceará.....	18
Figura 2 - Decréscimos percentuais acumulados – PIB-Agropecuário.....	20
Figura 3 - Localização dos açudes nas Bacias Metropolitanas .....	28
Figura 4 - Localização dos açudes na Bacia do Acaraú.....	32
Figura 5 - Localização dos açudes na Sub-Bacia do Salgado .....	35
Figura 6 - Diagrama unifilar dos reservatórios monitorados pela Cogeh na Bacias Metropolitanas.....	39
Figura 7 - Diagrama unifilar dos reservatórios monitorados pela Cogeh na Bacia do Acaraú .....	41
Figura 8 - Diagrama unifilar dos reservatórios monitorados pela Cogeh na Sub-Bacia do Salgado .....	43
Figura 9 - Aracoiaba: DBO e classes de enquadramento .....	65
Figura 10 - Aracoiaba: OD e classes de enquadramento .....	66
Figura 11 - Aracoiaba: Nitrogênio total e classes de enquadramento .....	66
Figura 12 - Aracoiaba: Fósforo total e classes de enquadramento.....	67
Figura 13 - Aracoiaba: Clorofila a e classes de enquadramento. ....	67
Figura 14 - Aracoiaba: Coliformes termotolerantes e classes de enquadramento .....	68
Figura 15 - Catucinzenta: DBO e classes de enquadramento. ....	68
Figura 16 - Catucinzenta: OD e classes de enquadramento. ....	69
Figura 17 - Catucinzenta: Nitrogênio total e classes de enquadramento.....	69
Figura 18 - Catucinzenta: Fósforo total e classes de enquadramento.....	70
Figura 19 - Catucinzenta: Clorofila-a e classes de enquadramento. ....	70
Figura 20 - Catucinzenta: Coliformes termotolerantes e classes de enquadramento.....	71
Figura 21 - Gavião: DBO e classes de enquadramento. ....	71
Figura 22 - Gavião: OD e classes de enquadramento. ....	72
Figura 23 - Gavião: Nitrogênio total e classes de enquadramento.....	72
Figura 24 - Gavião: Fósforo total e classes de enquadramento.....	73
Figura 25 - Gavião: Clorofila-a e classes de enquadramento. ....	73
Figura 26 - Gavião: Coliformes termotolerantes e classes de enquadramento.....	74
Figura 27 - Malcozinhado: DBO e classes de enquadramento. ....	74
Figura 28 - Malcozinhado: OD e classes de enquadramento. ....	75
Figura 29 - Malcozinhado: Nitrogênio total e classes de enquadramento. ....	75
Figura 30 - Malcozinhado: Fósforo total e classes de enquadramento.....	76
Figura 31 - Malcozinhado: Clorofila-a e classes de enquadramento.....	76
Figura 32 - Malcozinhado: Coliformes termotolerantes e classes de enquadramento. ....	77
Figura 33 - Maranguapinho: DBO e classes de enquadramento. ....	77
Figura 34 - Maranguapinho: OD e classes de enquadramento. ....	78
Figura 35 - Maranguapinho: Nitrogênio total e classes de enquadramento.....	78





**ipece**

INSTITUTO DE PESQUISA E ESTATÍSTICA ECONÔMICA DO CEARÁ



**GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ**  
Secretaria dos Recursos Hídricos

Figura 36 - Maranguapinho: Fósforo total e classes de enquadramento.....	79
Figura 37 - Maranguapinho: Clorofila-a e classes de enquadramento.....	79
Figura 38 - Maranguapinho: Coliformes termotolerantes e classes de enquadramento.....	80
Figura 39 - Acaraú Mirim: DBO e classes de enquadramento.....	82
Figura 40 - Acaraú Mirim: OD e classes de enquadramento.....	83
Figura 41 - Acaraú Mirim: Nitrogênio total e classes de enquadramento.....	83
Figura 42 - Acaraú Mirim: Fósforo total e classes de enquadramento.....	84
Figura 43 - Acaraú Mirim: Clorofila a e classes de enquadramento.....	84
Figura 44 - Acaraú Mirim: Coliformes termotolerantes e classes de enquadramento.....	85
Figura 45 - Araras: DBO e classes de enquadramento.....	85
Figura 46 - Araras: OD e classes de enquadramento.....	86
Figura 47 - Araras: Nitrogênio total e classes de enquadramento.....	86
Figura 48 - Araras: Fósforo total e classes de enquadramento.....	87
Figura 49 - Araras: Clorofila-a e classes de enquadramento.....	87
Figura 50 - Araras: Coliformes termotolerantes e classes de enquadramento.....	88
Figura 51 - Jenipapo: DBO e classes de enquadramento.....	88
Figura 52 - Jenipapo: OD e classes de enquadramento.....	89
Figura 53 - Jenipapo: Nitrogênio total e classes de enquadramento.....	89
Figura 54 - Jenipapo: Fósforo total e classes de enquadramento.....	90
Figura 55 - Jenipapo: Clorofila-a e classes de enquadramento.....	90
Figura 56 - Jenipapo: Coliformes termotolerantes e classes de enquadramento.....	91
Figura 57 - São Vicente: DBO e classes de enquadramento.....	91
Figura 58 - São Vicente: OD e classes de enquadramento.....	92
Figura 59 - São Vicente: Nitrogênio total e classes de enquadramento.....	92
Figura 60 - São Vicente: Fósforo total e classes de enquadramento.....	93
Figura 61 - São Vicente: Clorofila-a e classes de enquadramento.....	93
Figura 62 - São Vicente: Coliformes termotolerantes e classes de enquadramento.....	94
Figura 63 - Taquara: DBO e classes de enquadramento.....	94
Figura 64 - Taquara: OD e classes de enquadramento.....	95
Figura 65 - Taquara: Nitrogênio total e classes de enquadramento.....	95
Figura 66 - Taquara: Fósforo total e classes de enquadramento.....	96
Figura 67 - Taquara: Clorofila-a e classes de enquadramento.....	96
Figura 68 - Taquara: Coliformes termotolerantes e classes de enquadramento.....	97
Figura 69 - Lima Campos: DBO e classes de enquadramento.....	100
Figura 70 - Lima Campos: OD e classes de enquadramento.....	101
Figura 71 - Lima Campos: Nitrogênio total e classes de enquadramento.....	101
Figura 72 - Lima Campos: Fósforo total e classes de enquadramento.....	102





**ipece**

INSTITUTO DE PESQUISA E ESTATÍSTICA ECONÔMICA DO CEARÁ



**GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ**  
Secretaria dos Recursos Hídricos

Figura 73 - Lima Campos: Clorofila a e classes de enquadramento .....	102
Figura 74 - Lima Campos: Coliformes termotolerantes e classes de enquadramento.....	103
Figura 75 - Junco: DBO e classes de enquadramento.....	103
Figura 76 - Junco: OD e classes de enquadramento.....	104
Figura 77 - Junco: Nitrogênio total e classes de enquadramento.....	104
Figura 78 - Junco: Fósforo total e classes de enquadramento.....	105
Figura 79 - Junco: Clorofila-a e classes de enquadramento.....	105
Figura 80 - Junco: Coliformes termotolerantes e classes de enquadramento.....	106
Figura 81 - Manoel Balbino: DBO e classes de enquadramento.....	106
Figura 82 - Manoel Balbino: OD e classes de enquadramento.....	107
Figura 83 - Manoel Balbino: Nitrogênio total e classes de enquadramento.....	107
Figura 84 - Manoel Balbino: Fósforo total e classes de enquadramento.....	108
Figura 85 - Manoel Balbino: Clorofila-a e classes de enquadramento.....	108
Figura 86 - Manoel Balbino: Coliformes termotolerantes e classes de enquadramento.....	109
Figura 87 - Tatajuba: DBO e classes de enquadramento.....	109
Figura 88 - Tatajuba: OD e classes de enquadramento.....	110
Figura 89 - Tatajuba: Nitrogênio total e classes de enquadramento.....	110
Figura 90 - Tatajuba: Fósforo total e classes de enquadramento.....	111
Figura 91 - Tatajuba: Clorofila-a e classes de enquadramento.....	111
Figura 92 - Tatajuba: Coliformes termotolerantes e classes de enquadramento.....	112
Figura 93 - Ubaldinho: DBO e classes de enquadramento.....	112
Figura 94 - Ubaldinho: OD e classes de enquadramento.....	113
Figura 95 - Ubaldinho: Nitrogênio total e classes de enquadramento.....	113
Figura 96 - Ubaldinho: Fósforo total e classes de enquadramento.....	114
Figura 97 - Ubaldinho: Clorofila-a e classes de enquadramento.....	114
Figura 98 - Ubaldinho: Coliformes termotolerantes e classes de enquadramento.....	115
Figura 99 - Duração e volumes de déficit em período de falhas.....	117





## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Vazões regularizadas dos reservatórios com suas respectivas demandas atuais e futuras – Bacias Metropolitanas.	27
Tabela 2 - Vazões regularizadas dos reservatórios com suas respectivas demandas atuais e futuras - Bacia do Acaraú.....	31
Tabela 3 - Vazões regularizadas dos reservatórios com suas respectivas demandas atuais e futuras – Sub-Bacia do Salgado .	34
Tabela 4 - Vazões regularizadas com suas respectivas demandas atuais e futuras – Bacias Metropolitanas .....	38
Tabela 5 - Vazões regularizadas com suas respectivas demandas atuais e futuras - Bacia do Acaraú.....	40
Tabela 6 - Vazões regularizadas com suas respectivas demandas atuais e futuras – Sub-Bacia do Salgado .....	42
Tabela 7 - Ofertas hídricas e demandas para os sistemas Pacajus e Pacoti – Riachão – Gavião .....	45
Tabela 8 - Vazões regularizadas com e sem condição de volume de alerta para reservatórios enquadrados no Nível I – Bacias Metropolitanas .....	53
Tabela 9 - Vazões regularizadas com e sem condição de volume de alerta para reservatórios enquadrados no Nível I – Bacia do Acaraú .....	54
Tabela 10 - Vazões regularizadas com e sem condição de volume de alerta para reservatórios enquadrados no Nível I - Sub-Bacia do Salgado .....	54
Tabela 11 - Comparativo das vazões regularizadas dos reservatórios e suas respectivas capacidades de armazenamento utilizadas em cada estudo.....	58
Tabela 12 - Concentrações médias anuais de fósforo para cada cenário produtivo dos reservatórios das Bacias Metropolitanas .....	80
Tabela 13 - Concentrações médias anuais de fósforo para cada cenário produtivo dos reservatórios da Bacia do Acaraú.....	97
Tabela 14 - Concentrações médias anuais de fósforo para cada cenário produtivo dos reservatórios da Sub-Bacia do Salgado .....	115
Tabela 15 - Indicadores de análise de desempenho da demanda simulada para máxima garantia qualitativa - Bacias Metropolitanas .....	119
Tabela 16 - Indicadores de análise de desempenho da demanda simulada para máxima garantia qualitativa - Bacia do Acaraú .....	119
Tabela 17 - Indicadores de análise de desempenho da demanda simulada para máxima garantia qualitativa - Sub-Bacia do Salgado.....	120
Tabela 18 - Indicadores de análise de desempenho da demanda simulada para vazão regularizada com 90% de garantia - Bacias Metropolitanas .....	121
Tabela 19 - Indicadores de análise de desempenho da demanda simulada para vazão regularizada com 90% de garantia - Bacia do Acaraú.....	122
Tabela 20 - Indicadores de análise de desempenho da demanda simulada para vazão regularizada com 90% de garantia - Sub-Bacia do Salgado .....	122





**ipece**

INSTITUTO DE PESQUISA E SUSTENTABILIDADE ECONÔMICA DO CEARÁ



**GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ**  
*Secretaria dos Recursos Hídricos*

## LISTA DE SIGLAS

ANA - Agência Nacional de Águas

APP - Área de Preservação Permanente

CAGECE - Companhia de Água e Esgoto do Estado do Ceará

CE - Ceará

CLA - Clorofila-a

COGERH - Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

CTm - Coliformes Termotolerantes

DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio

DIBAU - Distrito de Irrigação do Perímetro Baixo Acaraú

DIPAN - Distrito de Irrigação do Perímetro Araras Norte

FT - Fósforo Total

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

MODHAC - Modelo Hidrológico Autocalibrável

NT - Nitrogênio Total

OD - Oxigênio dissolvido

PB - Paraíba

PforR - Projeto de Apoio ao Crescimento Econômico com Redução das Desigualdades e Sustentabilidade Ambiental do Estado do Ceará – Programa para Resultados

PIB - Produto Interno Bruto

PISF - Projeto de Integração do São Francisco com o Nordeste Setentrional

PLANERH - Consolidação da Política e dos Programas de Recursos Hídricos do Estado do Ceará – Atualização do Plano Estadual de Recursos Hídricos

PSH - Plano de Segurança Hídrica





**ipece**

INSTITUTO DE PESQUISA E ESTATÍSTICA ECONÔMICA DO CEARÁ



**GOVERNO DO  
ESTADO DO CEARÁ**  
*Secretaria dos Recursos Hídricos*

RMF - Região Metropolitana de Fortaleza

RN - Rio Grande do Norte

SMAP - *Soil Moisture Accounting Procedure*

SRH - Secretaria dos Recursos Hídricos

TR - Termo de Referência

UFC - Universidade Federal do Ceará





**ipece**

INSTITUTO DE PESQUISA E SISTEMAS ECONÔMICOS DO CEARÁ



**GOVERNO DO  
ESTADO DO CEARÁ**  
*Secretaria dos Recursos Hídricos*

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
<b>2. SECAS: IMPACTOS E RESPOSTAS .....</b>	<b>17</b>
<b>3. DEMANDAS ASSOCIADAS AOS HIDROSSISTEMAS .....</b>	<b>24</b>
3.1 Bacias Metropolitanas .....	25
3.2 Bacia do Acaraú .....	29
3.3 Sub-Bacia do Salgado.....	33
<b>4. VULNERABILIDADES QUANTITATIVAS .....</b>	<b>37</b>
4.1 Níveis de Criticidade .....	46
4.2. Cenários de Simulação .....	48
4.3. Estudos anteriores: Comparando vazões regularizadas .....	55
<b>5. VULNERABILIDADES QUALITATIVAS.....</b>	<b>60</b>
5.1 Bacias Metropolitanas .....	63
5.2 Bacia do Acaraú .....	81
5.3 Sub-Bacia do Salgado.....	98
<b>6. INDICADORES DE ANÁLISE DE DESEMPENHO .....</b>	<b>117</b>
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>124</b>







**ipece**

INSTITUTO  
DE PESQUISA  
E POTENCIAL  
ECONÔMICO  
DO CEARÁ



**GOVERNO DO  
ESTADO DO CEARÁ**  
*Secretaria dos Recursos Hídricos*

## 1. INTRODUÇÃO



## 1. INTRODUÇÃO

Conforme aduz-se dos Termos de Referência – TRs, a identificação das vulnerabilidades dos sistemas hídricos (sistemas de abastecimento urbano, irrigação e industrial) deverá ser realizada a partir da avaliação de segurança quantitativa e qualitativa da água, tendo em vista os horizontes de 2020 e 2030. De acordo com os TRs, os hidrossistemas deverão ser classificados em função do seu nível de vulnerabilidade e deverão ser hierarquizados quanto à urgência em que se requerem as ações e a severidade dos danos potenciais associados à falha dos mesmos. Aquele documento editalício estabelece ainda que todos os sistemas de abastecimento de sedes municipais atrelados aos reservatórios de interesse deverão ser avaliados, bem como os distritos com população acima de 1.000 habitantes. Da mesma forma, os sistemas de abastecimento que também contemplam usos múltiplos deverão ser analisados.

Também de acordo com os TRs, a avaliação da Segurança Hídrica em seus aspectos quantitativos deve ser realizada em função das garantias de abastecimento de cada manancial (52 reservatórios), sendo essas expressas pelas suas respectivas curvas de regularização. Quanto à avaliação da Segurança Hídrica em seus aspectos qualitativos especifica-se no mesmo documento que deverá ser baseada nos seguintes estudos desenvolvidos no âmbito do presente contrato:

a) Inventário Ambiental de Açudes localizados nas Bacias Hidrográficas Metropolitanas e Acaraú, e na Sub-Bacia do Salgado: Nesses produtos, constam as informações referentes à qualidade das águas dos reservatórios de interesse, bem como contêm os impactos ambientais que comprometem a qualidade ambiental de cada reservatório, propondo medidas promotoras da mitigação de tais impactos;

b) Metodologia de Enquadramento das águas no âmbito dos reservatórios: Nos produtos denominados R4, R5 e R6 - aprovados pela contratante - foi realizada a estruturação e a análise estatística da base de dados observacionais da Cogeh, revelando assim a dinâmica da qualidade da água. Nos referidos relatórios foram comentados, para cada parâmetro encontrado com valores acima dos limites de norma (bem como para os limítrofes), os riscos associados à qualidade da água, bem como as suas respectivas influências da perspectiva de comprometimento do suprimento de água fornecida por cada reservatório de interesse. A avaliação realizada permitiu visualizar, de maneira gráfica e numérica, os problemas crônicos e/ou episódicos de qualidade da

água ao longo da série disponível. Já no relatório R11, onde foi apresentada a Metodologia de Enquadramento de Reservatórios, foram seguidas as orientações contidas no Anexo II do Termo de Referência e aprovada pela contratante.

Os impactos e as respostas às secas foram avaliados por meio de análise de documentos (estudos anteriores), visitas de campo e entrevistas para identificar as respostas dadas pelos planejadores e sociedade durante a seca do quadriênio 2012 - 2015. Além disso, essa etapa foi complementada por análise de séries temporais de dados socioeconômicos das regiões em estudo.

Face ao acima exposto, o texto deste Relatório foi organizado em 07 (sete) capítulos, a saber:

1. Introdução;
2. Secas: Impactos e respostas;
3. Demandas associadas aos hidrossistemas;
4. Vulnerabilidades quantitativas;
5. Vulnerabilidades qualitativas;
6. Indicadores de análise de desempenho;
7. Referências bibliográficas;

No Capítulo 2 são compilados e comentados a níveis históricos os impactos das secas, bem como suas consequências sociais e econômicas.

Concernente ao Capítulo 3, seu conteúdo identifica os usos correntes dos reservatórios de interesse, bem como os sistemas hídricos que se constituem objeto de abordagem no presente relatório. São aqui repassadas e consideradas todas as demandas concedidas para cada um dos 52 reservatórios nas três regiões hidrográficas.

As vulnerabilidades quantitativas são tratadas no Capítulo 4, em que os dados de demandas de cada reservatório e suas respectivas vazões regularizadas são confrontadas a fim de identificar possíveis restrições hídricas nos sistemas, atuais ou futuras.

No Capítulo 5 são tratadas as vulnerabilidades qualitativas, à luz do modelo de otimização/simulação, que permite uma avaliação objetiva e extremamente realista das condições de suporte dos reservatórios em termo do atendimento quali-quantitativo da água fornecida. As



**ipece**

INSTITUTO DE PESQUISA E FOMENTO ECONÔMICO DO CEARÁ



**GOVERNO DO  
ESTADO DO CEARÁ**  
*Secretaria dos Recursos Hídricos*

curvas de regularização, que relacionam as retiradas com os níveis de garantia de atendimento das demandas, igualmente dão suporte ao que se pretende expor no capítulo em comento.

Concernente ao Capítulo 6, são apresentados os indicadores de análise de desempenho em duas condições diferentes para elucidação das formas de operação.





**ipece**

INSTITUTO  
DE PESQUISA  
E POTENCIAL  
ECONÔMICA  
DO CEARÁ



**GOVERNO DO  
ESTADO DO CEARÁ**  
*Secretaria dos Recursos Hídricos*

## **2. SECAS: IMPACTOS E RESPOSTAS**



## 2. SECAS: IMPACTOS E RESPOSTAS

Assim como ocorre nas demais áreas do nordeste semiárido, nas bacias cearenses de interesse no presente trabalho, a coexistência de realidades contrapostas sobre chuvas anuais extremamente elevadas (cheias) e extremamente reduzidas (secas) justificam por si, atenção maior em estruturação adequada ao convívio ambiental sustentável no semiárido. Tais realidades constituem também fator de degradação dos solos, sempre mais erodidos, sempre mais pobres.

Além da adversa realidade socioeconômica concomitantemente modelada pela dimensão hídrica, há um custo pago ao longo da história, mais diretamente sentido pela sociedade, decorrente da carência de soluções estruturantes capazes de dotar o semiárido de segurança em face de fenômenos hidrológicos tão conhecidos quanto encarados paliativamente, sob uma ótica de planejamento destituída de pragmatismo sonogado pelo Poder Público no transcurso de séculos, muito embora, nas últimas décadas o estado do Ceará vem promovendo uma verdadeira revolução no campo da implantação de infraestrutura destinada ao aumento da oferta de água e da segurança hídrica, destacando-se como pioneiro na gestão hídrica, tendo sido o primeiro estado do país a implantar a cobrança pelo uso da água bruta, um dos principais instrumentos da Política de Recursos Hídricos.

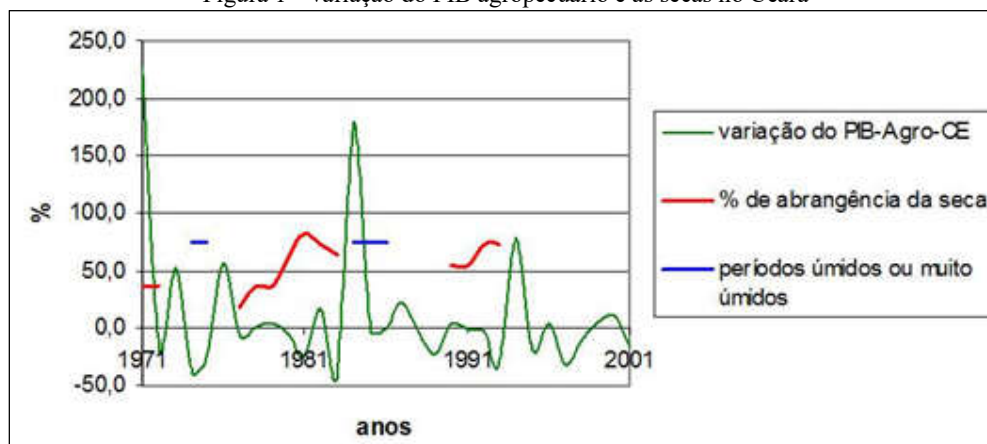
A título informativo e ilustrativo comenta-se a seguir o efeito dos eventos extremos ocorridos nas últimas três décadas do século XX sobre o PIB-Agro do Ceará, tendo como fonte de informações os Estudos de Inserção Regional da Transposição do rio São Francisco. Embora esses estudos tenham sido concluídos no início da década de 2000, as séries temporais utilizadas possuem significância estatística (número de valores maior ou igual a 30 anos) e, portanto, espelham o efeito dos eventos extremos no PIB agropecuário, efeitos esses que recorrem a cada seca ou cheia ocorrida na área geográfica de estudo.

Mais do que estimar quantitativamente perdas econômicas acumuladas pelo Ceará e os outros estados beneficiados pela Transposição do Rio São Francisco, a menção à cifras feitas na abordagem que se segue tem a pretensão apenas de fornecer uma ideia do quão deletério à socioeconômica estadual e regional podem ser os eventos extremos, permitindo assim, com a representatividade estatística que a quantidade de dados utilizados propiciou, vislumbrar a relação direta entre a ocorrência desses eventos e seu impacto direto sobre o PIB-Agropecuário.

Da estrita perspectiva econômica, a mensuração do impacto de eventos climáticos sobre a economia de qualquer estado do nordeste semiárido, desprovido de segurança hídrica até mesmo para atendimento de suas cidades, pode ser feita superpondo-se séries temporais do PIB a séries climatológicas que exibam o histórico de tais eventos. Bem mais curtas que as séries de precipitação disponíveis, as séries temporais anuais do PIB, no nível estadual, são obtidas com informações desde 1970, facultando a superposição que envolve secas ocorridas em pelo menos 30 anos.

Observando-as em séries pluviométricas disponíveis em estações espacialmente distribuídas para representar a incidência de chuvas no semiárido, onde se insere o estado do Ceará, identifica-se severidade superior a 50% da severidade média anual. Os anos úmidos e extremamente úmidos num período podem ser também classificados. Estudo realizado no âmbito dos Estudos de Inserção Regional da Transposição do rio São Francisco, adotou o ano de 2001 como tendo sido, à época, o último ano com seca relativamente ampla e tomou-o como referência para a conversão do PIB do setor primário em dólares americanos por estado nordestino inserto no semiárido. A Figura 1 a seguir representa grande parte do impacto de uma convivência inadequada com os eventos extremos no estado do Ceará.

Figura 1 - Variação do PIB agropecuário e as secas no Ceará



Fonte: Sarmento (2005).

Embora genericamente a variação do PIB agrícola resulte de fatores climáticos e não climáticos, o grau de influência dos extremos climáticos no Ceará e no semiárido, em particular no semiárido setentrional, é o mais elevado dentre as variáveis que explicam a variância do PIB.

O comportamento explicitado na Figura 1 demonstra crescimento pouco significativo ou decréscimo do PIB, enquanto persistem anos de secas/cheias e súbita elevação pós-manifestações climáticas extremas. Aponta, pois, essas particularidades hidroclimatológicas do semiárido cearense e nordestino, como grandes condicionantes da trajetória temporal do PIB.

Estudar o comportamento interanual das chuvas no semiárido cearense revela que a transição para períodos de seca normalmente não é abrupta. Secas de grande severidade - com abrangência espacial que extrapola o semiárido - evoluem a esse estágio após um ou mais anos de escassa precipitação, registrando-se regiões diferentemente afetadas quanto à pluviosidade. O reflexo deste comportamento nas atividades econômicas rurais implica variabilidade espacial e temporal na produção agrícola. A soma das perdas contribui para arrefecer o crescimento do PIB.

Apesar da ausência de dados não propiciar separação entre efeitos climáticos e não climáticos sobre a variação do PIB, uma tessitura prática pode avaliar a imprecisão de se adotar a seca como principal determinante da variância em foco. Deve-se antes lembrar a alta frequência de secas com díspares severidades no período (1970 - 2001). Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco tiveram, em aproximadamente 50% dos anos de variabilidade espacial considerável, anomalias pluviométricas. Anos úmidos e extremamente úmidos são 22% dos extremos climáticos deste período.

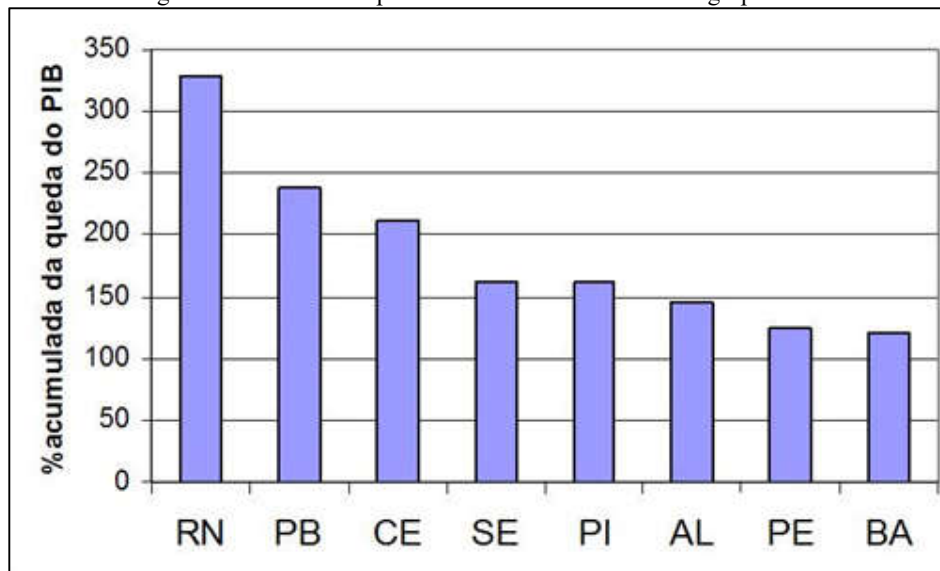
Além disso, se houver seca/cheia, quaisquer variáveis influentes sobre crescimento/decréscimo do PIB serão inócuas, porque os extremos climáticos apresentar-se-ão como envoltórios dos efeitos nocivos ao crescimento econômico. Revendo-se a série histórica de anos sem influência de secas/cheias, o crescimento do PIB prepondera, mesmo que pouco expressivo nalguns casos. Portanto, reforça-se a tese de que extremos climáticos são a envoltória dos efeitos nocivos ao crescimento, dado que a resultante de efeitos não climáticos, sozinha, não é suficiente para decrescer o PIB do setor primário.

Embora não se descarte - para anos de extremos climáticos, na dimensão espacial, sobretudo - uma composição de efeitos climáticos e não climáticos, é pouco significativa a contribuição dos não climáticos. Sendo desejável estimar o impacto das secas na economia nordestina, reflexo na queda do PIB do setor primário e preferencialmente subestimando-o, pode-se ter como critério estimativo apenas os decréscimos do PIB, mormente nos anos em que se



constatou seca de severidade superior à severidade média em cada estado. Reforçando a subestimação, adota-se a variação negativa do PIB (em dado ano) relativamente ao ano anterior, não em relação ao último ano de variação positiva; toma-se em conta a perda efetiva, não a perda potencial. Sarmiento (2005) aplicou esse procedimento para todos os estados do Nordeste, exceto para o Maranhão. O estudo aponta que a região perdeu 13,2 bilhões de dólares nas três últimas décadas do século XX. A Figura 2 exhibe o ranking dos estados mais afetados em decréscimos percentuais acumulados do PIB, calculados sob o critério enunciado. O Ceará se encontra na terceira posição nesse indesejável ranking de perdas.

Figura 2 - Decréscimos percentuais acumulados – PIB-Agropecuário



Fonte: Sarmiento (2005).

Somente estados do semiárido setentrional fora da Bacia do São Francisco (RN, PB, CE) respondem por 52% da perda percentual acumulada do PIB primário dos 8 estados avaliados.

A seca provoca impacto difuso, afeta a produção rural empreendida sob condições de insegurança hídrica em todas as bacias hidrográficas. A correção do problema da insegurança hídrica criaria alternativas de investimento em atividades rurais sustentáveis ao menos no aspecto dependente da disponibilidade de água. Considerando apenas os estados do Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco, as perdas acumuladas nos 30 anos finais do século XX somam 5,3 bilhões de dólares. Individualmente, nesse intervalo, o Rio Grande do Norte perdeu 4,3 PIBs primários médios, a Paraíba (2,6) e o Ceará (2,2), em terceiro lugar nesse indesejável ranking. Isso,



**ipece**

INSTITUTO DE PESQUISA E ESTATÍSTICA ECONÔMICA DO CEARÁ



**GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ**  
Secretaria dos Recursos Hídricos

sem que tenham sido computadas as perdas pela propagação de efeitos da queda do PIB primário nos outros setores da economia.

Perversa angulação econômica, incutida na inadequabilidade de convivência com secas, é a dos dispêndios governamentais referentes à desestruturação que o fenômeno provoca. Segundo Sarmiento (2005), tão só na seca de 1997-98-99 foram gastos 4,05 bilhões de dólares em programas socioeconômicos, singularmente de saúde. Considerando-se que seca com nível semelhante de severidade e abrangência reincide uma vez a cada 10 anos, adiciona-se a toda a sociedade brasileira - em todas as gerações e indefinidamente - o altíssimo ônus de não se encarar o problema do semiárido com a responsabilidade de sua extensão.

Apesar da evidência dessa realidade nordestina, a ação espasmódica dos governos contra os impactos do fenômeno é a tônica secularmente consolidada. As providências (raras as exceções) jamais enfrentaram o extremo subdesenvolvimento característico do semiárido. Em termos históricos, na maioria nem foram ações, mas tímidas reações à seca, à insegurança hídrica. Uma mudança nesse paradigma histórico só veio a ocorrer a partir do final da década de 80, quando a gestão corporativa tomou lugar daquela de natureza estritamente política, passando o estado do Ceará a tomar a dianteira nas iniciativas voltadas à solução estruturante e definitiva dos problemas de oferta hídrica em seu território.

Fora da condição de emergência percebe-se ênfase a providências de infraestrutura, constantemente exaltando obras de porte e visibilidade maiores, cujos supostos poderes transformadores da realidade subjagam até o clima, "amansando" desertos. Intervenções de engenharia de grandes dimensões não são por si inadequadas ou validam o preconceituoso rótulo de "faraônico", porém requerem muita reflexão quando os investimentos públicos excluem providências básicas em pesquisa e tecnologia e concentram-se em megaintervenções e difusão da "virtualidade dos milagres". Não transcendem à funcionalidade. São ferramentas que combatem questões crônicas e derivativas coconvertendo potencialidades e vocações regionais em benefícios socioeconômicos proporcionais aos avanços no desmonte da estrutura de singularidades políticas, econômicas, sociais, culturais e ambientais de gênese e interinfluência seculares.

No Ceará não é diferente, a seca é força natural denunciativa, tal que a cogitação de transumância e de abandono de áreas de excelentes condições edáficas, insolação, níveis de





**ipece**

INSTITUTO  
DE PESQUISA  
E ESTATÍSTICA  
ECONÔMICA  
DO CEARÁ



**GOVERNO DO  
ESTADO DO CEARÁ**  
*Secretaria dos Recursos Hídricos*

precipitação médios superiores a várias regiões produtivas exploradas no mundo mantêm-se, ainda hoje, alternativo à região.

Na medida em que o presente Plano de Segurança Hídrica aponta os condicionantes e as ações estruturais e não estruturais para reverter a situação diagnosticada, contribui para lançar a luz da racionalidade nas ações estatais, em suas diversas esferas de responsabilidade perante a sociedade.





**ipece**

INSTITUTO  
DE PESQUISA  
E POTENCIAL  
ECONÔMICA  
DO CEARÁ



**GOVERNO DO  
ESTADO DO CEARÁ**  
*Secretaria dos Recursos Hídricos*

### **3. DEMANDAS ASSOCIADAS AOS HIDROSSISTEMAS**





**ipece**

INSTITUTO DE PESQUISA E ESTATÍSTICA ECONÔMICA DO CEARÁ



**GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ**  
Secretaria dos Recursos Hídricos

### 3. DEMANDAS ASSOCIADAS AOS HIDROSSISTEMAS

Conforme determinam os Termos de Referência, dois horizontes de projeção das demandas devem ser considerados para fins de análise: 2020 e 2030. Vale ressaltar que as demandas utilizadas como base/atuais foram fornecidas pela Cogehrh.

Para projeções das demandas de abastecimento humano foram utilizadas informações com base nas estimativas populacionais do IBGE (anos 2013, 2014, 2015, 2016 e 2017). As taxas de crescimento populacionais de cada município foram calculadas e, em seguida, visto quais municípios compunham a bacia hidrográfica de cada reservatório, foram obtidas as médias das taxas para cada bacia.

Convém comentar que analisando os números estimados da população cearense nos anos de 2013 até 2017, percebe-se uma inversão na tendência de crescimento da população observada no passado, onde constata-se uma redução de suas taxas de crescimento. Por outro lado, observa-se uma elevada concentração populacional nas Bacias Metropolitanas, devido estar inserida na Região Metropolitana de Fortaleza (RMF), principal polo econômico do estado. Consequentemente, o fluxo migratório para essa região é considerável, resultando em elevadas demandas hídricas a serem supridas para essa população crescente.

A respeito da demanda de irrigação, além da disponibilidade hídrica, uma série de fatores fisioclimáticos e socioeconômicos afetam o desenvolvimento de áreas irrigadas, principalmente no semiárido nordestino, onde o clima, mais que o relevo e a aptidão dos solos, pode ser determinante para a produção agrícola. Ademais, torna-se necessário para a ampliação da irrigação investimentos em medidas estruturais, tais como transporte, instalações e estradas, e ainda medidas não estruturais como programas de apoio ao trabalhador, incentivos para qualificação técnica, crédito facilitado, entre outros. A implantação dessas medidas é intrínseca ao incremento da oferta hídrica para irrigação, otimizando o uso da água e, consequentemente, refletindo quantitativamente nas projeções de demanda, no que se refere à indução ao desenvolvimento provocada pela presença da água.

Para as demandas industriais, percebe-se a partir de estudos elaborados pela SRH, como “Consolidação da Política e dos Programas de Recursos Hídricos do Estado do Ceará – Atualização do Plano Estadual de Recursos Hídricos (PLANERH)” do ano 2005, que existe uma



insuficiência de estudos que abordem demandas futuras para esse tipo de atividade. Apesar disso, sabe-se que a atividade industrial presente no Ceará se concentra basicamente na região das Bacias Metropolitanas, resultando em demandas mais elevadas para essa atividade nessa região, quando compara-se com outras bacias.

Assim, para as demais projeções de demandas, como irrigação, dessedentação animal e industrial foram utilizadas informações aduzidas do estudo “Consolidação da Política e dos Programas de Recursos Hídricos do Estado do Ceará – Atualização do Plano Estadual de Recursos Hídricos (PLANERH)” do ano 2005. As análises e projeções apresentadas no trabalho em comento possibilitaram os cálculos de taxas de crescimento que posteriormente serão abordadas.

Nos subtópicos seguintes serão apresentados mapas com as localizações dos sistemas hídricos e as demandas de água de cada um dos 52 reservatórios: 22 que fazem parte das Bacias Metropolitanas, 15 da Bacia do Acaraú e 15 da Sub-Bacia do Salgado.

Por fim, destaca-se que, seguindo recomendações da contratante, para as demandas atuais foram utilizadas as referentes ao ano de 2012. A escolha deve-se ao fato de que nesse ano as restrições de oferta hídricas eram mínimas, devido ao regime hídrico do ano 2011, ano esse com pluviometria acima da média. Em alguns casos específicos, para poucos reservatórios, foram utilizados outros anos como base, por motivos que serão comentados mais adiante.

### 3.1 Bacias Metropolitanas

Neste tópico são apresentadas as demandas atuais e futuras para os 22 reservatórios das Bacias Metropolitanas atualmente monitorados pela Cogeh. Destaca-se que os reservatórios Cocó e Maranguapinho destinam-se a controle de cheia, entretanto, o reservatório Maranguapinho está sendo usado de forma especial em razão da crise hídrica. Para o reservatório Itapebussu foi utilizada a demanda de irrigação do ano 2011, e para o Malcozinhado a demanda de abastecimento humano do ano 2016, ambas por serem as maiores dentre os anos analisados. A respeito das demandas para abastecimento humano, essas foram obtidas como descrito anteriormente. As especificidades referentes às demais demandas são tratadas a seguir.

Para as projeções das demandas de irrigação nas Bacias Metropolitanas, inicialmente calculou-se a taxa de crescimento a partir das projeções das demandas hídricas das áreas privadas

de irrigação para os horizontes de 2000, 2010 e 2020 obtidas do PLANERH (SRH, 2005). Entretanto, observou-se que a demanda hídrica para o ano de 2010 mostrou uma tendência de aumento pouco verossímil (164,94 hm<sup>3</sup>/ano) quando comparada com a soma das demandas hídricas de irrigação dos reservatórios presentes nas Bacias Metropolitanas para o ano base de 2012 (22,56 hm<sup>3</sup>/ano) fornecidas pela Cogeh. Por conseguinte, optou-se no presente documento pela utilização da taxa de crescimento calculada a partir das demandas de irrigação de 2000 e 2012 provenientes, respectivamente, do PLANERH (SRH, 2005) e da Cogeh. Vale ressaltar que o volume de 22,56 hm<sup>3</sup>/ano refere-se somente as demandas nos mananciais, sendo desconsideradas as outorgas dos trechos 3 e 4 do Eixão das Águas.

As taxas de crescimento utilizadas no cálculo das projeções das demandas industriais foram elaboradas a partir de dados oriundos das projeções das demandas industriais municipais consolidadas para os horizontes 2000, 2010 e 2020 provenientes do estudo “Plano de Gerenciamento das Águas das Bacias Metropolitanas” elaborado no ano 2000 (COGERH, 2000). As demandas industriais calculadas nesse documento levam em consideração as demandas provenientes do Complexo Industrial e Portuário do Pecém, dos Distritos Industriais e das indústrias difusas dos municípios. Dessa forma, primeiramente calculou-se as taxas de crescimento da demanda industrial de cada município e, em seguida, determinou-se a média das taxas dos municípios que compunham a bacia do reservatório, obtendo-se assim valores representativos adequados à composição das demandas futuras.

A seguir, na Tabela 1 apresentam-se as demandas hídricas atuais e para os horizontes 2020 e 2030 de cada reservatório, exceto para Cocó e Germinal, pois são reservatórios de construção recente, sem demandas estabelecidas, conforme atestam os dados fornecidos pela contratante. Em seguida, na Figura 3 são localizadas todas as bacias hidrográficas e hidráulicas desses corpos hídricos.



Tabela 1 - Vazões regularizadas dos reservatórios com suas respectivas demandas atuais e futuras – Bacias Metropolitanas

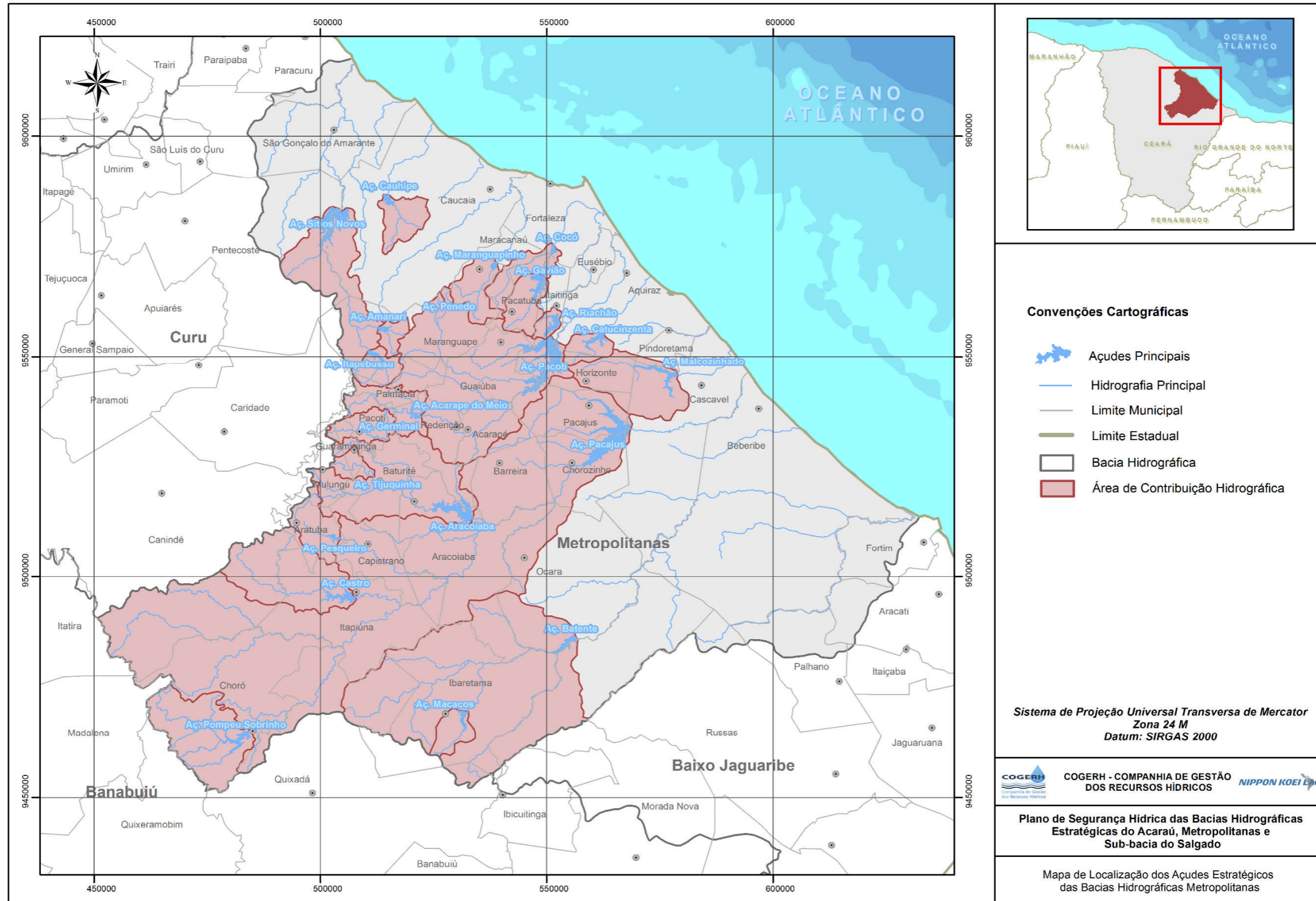
Reservatórios	Usos	Demandas (L/s)					
		ano *		ano 2020		ano 2030	
Acarape do Meio	abast. Humano	200,0	400,0	203,1	408,9	207,0	420,2
	irrigação	200,0		205,8		213,3	
Amanary	abast. humano	10,0	210,0	10,8	216,6	11,9	225,2
	irrigação	200,0		205,8		213,3	
Aracoiaba	abast. humano	35,0	415,0	35,0	418,5	35,0	427,7
	irrigação	45,0		46,3		48,0	
	industrial	335		337,2		344,7	
Batente	abast. humano	30,0	60,0	30,7	61,6	31,6	63,6
	irrigação	30,0		30,9		32,0	
Castro	abast. humano	34,0	134,0	34,4	137,3	35,0	141,6
	irrigação	100,0		102,9		106,6	
Catucinzenta	abast. humano	100,0	135,0	110,4	146,4	124,8	162,2
	irrigação	35,0		36,0		37,3	
Cauhipe	abast. humano	10,0	20,0	10,8	21,1	11,9	22,6
	irrigação	10,0		10,3		10,7	
Gavião	abast. humano	8200,0	9357,0	8795,4	9960,0	9600,8	10791,0
	industrial	1157,0		1164,6		1190,5	
Itapebussu	abast. humano	20,0	80,0	21,5	83,2	23,5	87,5
	irrigação	60,0		61,7		64,0	
Macacos	abast. humano	12,0	12,0	12,1	12,1	12,2	12,2
	irrigação	0,0		0,0		0,0	
Malcozinhado	abast. humano	144,0	144,0	156,7	156,7	174,1	174,1
	irrigação	0,0		0,0		0,0	
Maranguapinho	abast. humano	200,0	200,0	216,1	216,1	238,0	238,0
	irrigação	0,0		0,0		0,0	
Pacajus	abast. humano	120,0	220,0	124,6	230,9	130,6	245,4
	irrigação	0,0		0,0		0,0	
	industrial	100,0		106,3		114,8	
Pacoti	abast. humano	200,0	240,0	215,0	262,2	235,4	293,3
	irrigação	0,0		0,0		0,0	
	industrial	40,0		47,1		57,8	
Penedo	abast. humano	20,0	30,0	21,6	31,9	23,9	34,5
	irrigação	10,0		10,3		10,7	
Pesqueiro	abast. humano	16,0	50,0	16,5	51,5	17,1	53,3
	irrigação	34,0		35,0		36,3	
Pompeu Sobrinho	abast. humano	10,0	200,0	10,2	205,7	10,5	213,1
	irrigação	190,0		195,5		202,6	
Riachão	abast. humano	34,0	34,0	37,0	37,0	41,1	41,1
	irrigação	0,0		0,0		0,0	
Sítios Novos	abast. humano	55,0	720,0	58,5	835,8	63,1	1007,9
	irrigação	0,0		0,0		0,0	
	industrial	665,0		777,3		944,8	
Tijuquinha	abast. humano	40,0	40,0	39,6	39,6	39,0	39,0
	irrigação	0,0		0,0		0,0	
Total agregado das demandas		12701,0		13479,0		14693,8	

Fonte: Cogerh (2017); Nippon Koei Lac (2017).

Nota: \* seguindo recomendações da contratante foram utilizadas como base as demandas do ano 2012, que devido ao elevado volume precipitado em 2011 foi um ano de baixíssimas restrições hídricas. Para algumas demandas de alguns reservatórios foram utilizados outros anos como base, foi o caso da demanda para irrigação do reservatório Itapebussu, com ano 2011 e da demanda para abastecimento humano do reservatório Malcozinhado, com ano 2016.



Figura 3 - Localização dos açudes nas Bacias Metropolitanas



Fonte: IBGE (2015); ANA (2016); Cogerh (2016); com adaptação da Nippon Koei Lac (2017).



**IPECE**

INSTITUTO DE PESQUISA E FOMENTO ECONÔMICO DO CEARÁ



**GOVERNO DO  
ESTADO DO CEARÁ**  
*Secretaria dos Recursos Hídricos*

### 3.2 Bacia do Acaraú

No tocante a Bacia do Acaraú, apresentam-se as demandas atuais e futuras para os 15 reservatórios dessa bacia atualmente monitorados pela Cogeh. Em particular para o reservatório Jenipapo foi considerada a demanda de 2014, por se tratar de um reservatório que teve sua conclusão em 2012.

Como a metodologia das projeções de demandas de abastecimento humano já estão esclarecidas, resta comentar sobre algumas particularidades para determinação das projeções dos outros tipos de demandas.

Para o cálculo das demandas de irrigação referentes aos reservatórios localizados na Bacia do Acaraú utilizou-se uma taxa de crescimento anual de 4,42% ao ano, obtida a partir dos dados apresentados no documento do “Plano de Gerenciamento das Águas da Bacia do Acaraú” (COGERH, 2010). Nesse mesmo estudo, aponta-se uma diminuição de cerca de 15% na quantidade de hectares irrigados na Bacia do Acaraú para o ano de 2010, portanto, a utilização dessa taxa homogênea anual objetiva retratar com maior coerência o período projetado, já que, segundo observações contidas no PLANERH, há uma ausência de estudos consolidados sobre uma política de longo prazo para a agricultura irrigada.

Com relação ao reservatório Araras, cuja irrigação consolidada no local ocorre no Distrito de Irrigação do Perímetro Araras Norte (DIPAN) e no Distrito de Irrigação do Perímetro Baixo Acaraú (DIBAU), as projeções para 2020 e 2030 seguiram o que foi exposto no “Plano de Gerenciamento das Águas da Bacia do Acaraú” (2010). Nesse documento, verificou-se que as projeções de crescimento dos perímetros públicos irrigados para o ano de 2010, que foram propostas originalmente pelo PLANERH, não foram concretizadas. Portanto, os dados expostos no Plano de Gerenciamento das Águas da Bacia do Acaraú não previam um aumento em demanda para ambos os perímetros DIPAN e DIBAU para os cenários de 2020 e 2030. Conseqüentemente, adotou-se a mesma demanda para o estudo em questão nos respectivos cenários, mesmo porque se tratam de projetos relativamente antigos, implantados sob a premissa de aproveitamento integral do potencial edáfico da bacia e limitados pela disponibilidade hídrica da principal fonte de abastecimento desses sistemas.



Destaca-se ainda que existe uma outorga para o Perímetro de Irrigação Araras Norte, emitida pela ANA, porém tendo como corpo hídrico o próprio rio Acaraú. O documento registra ainda uma vazão média em 12 meses =  $3600 \text{ m}^3/\text{h} = 1 \text{ m}^3/\text{s}$ , um volume anual de  $18.057.600 \text{ m}^3$  e uma vazão =  $0,57260 \text{ m}^3/\text{s}$ . Adicionalmente, também no rio Acaraú, há uma segunda outorga, referente ao Distrito de Irrigação do perímetro Baixo Acaraú (aproximadamente 180 km a jusante do reservatório Araras) com vazão média em 12 meses =  $12600 \text{ m}^3/\text{h} = 3,5 \text{ m}^3/\text{s}$  (conforme consta no documento) e um volume anual de  $55.921.320 \text{ m}^3$ , equivalendo, segundo a mesma fonte, a uma vazão de  $1,7732 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Para o cálculo das demandas industriais referentes aos reservatórios localizados na Bacia do Acaraú, utilizou-se uma taxa de crescimento anual de aproximadamente 1,29% ao ano, obtida a partir dos dados apresentados no “Plano de Gerenciamento das Águas da Bacia do Acaraú”. Nesse Plano, assumiu-se a hipótese de que o crescimento do setor industrial, por município, é equivalente às taxas de crescimento da população urbana, utilizando-se de uma relação direta entre a intensificação do processo de urbanização e o crescimento industrial. Assim, constatou-se que, para a Bacia do Acaraú, Sobral era o único município com dados cadastrais suficientes para obter estimativas de consumo de água por essa atividade, sendo considerada como 20% da demanda por abastecimento humano para esse município. Com exceções, a demanda industrial no nordeste e no Ceará é concentrada em poucos municípios.

Na Tabela 2 serão apresentadas as demandas hídricas atuais e para os horizontes 2020 e 2030 de cada reservatório. Posteriormente, na Figura 4 são localizadas todas as bacias hidrográficas e hidráulicas desses corpos hídricos, onde destacam-se ainda os reservatórios Pedregulho e Poço Comprido, cujos projetos estão em fase de licitação.

Tabela 2 - Vazões regularizadas dos reservatórios com suas respectivas demandas atuais e futuras - Bacia do Acaraú

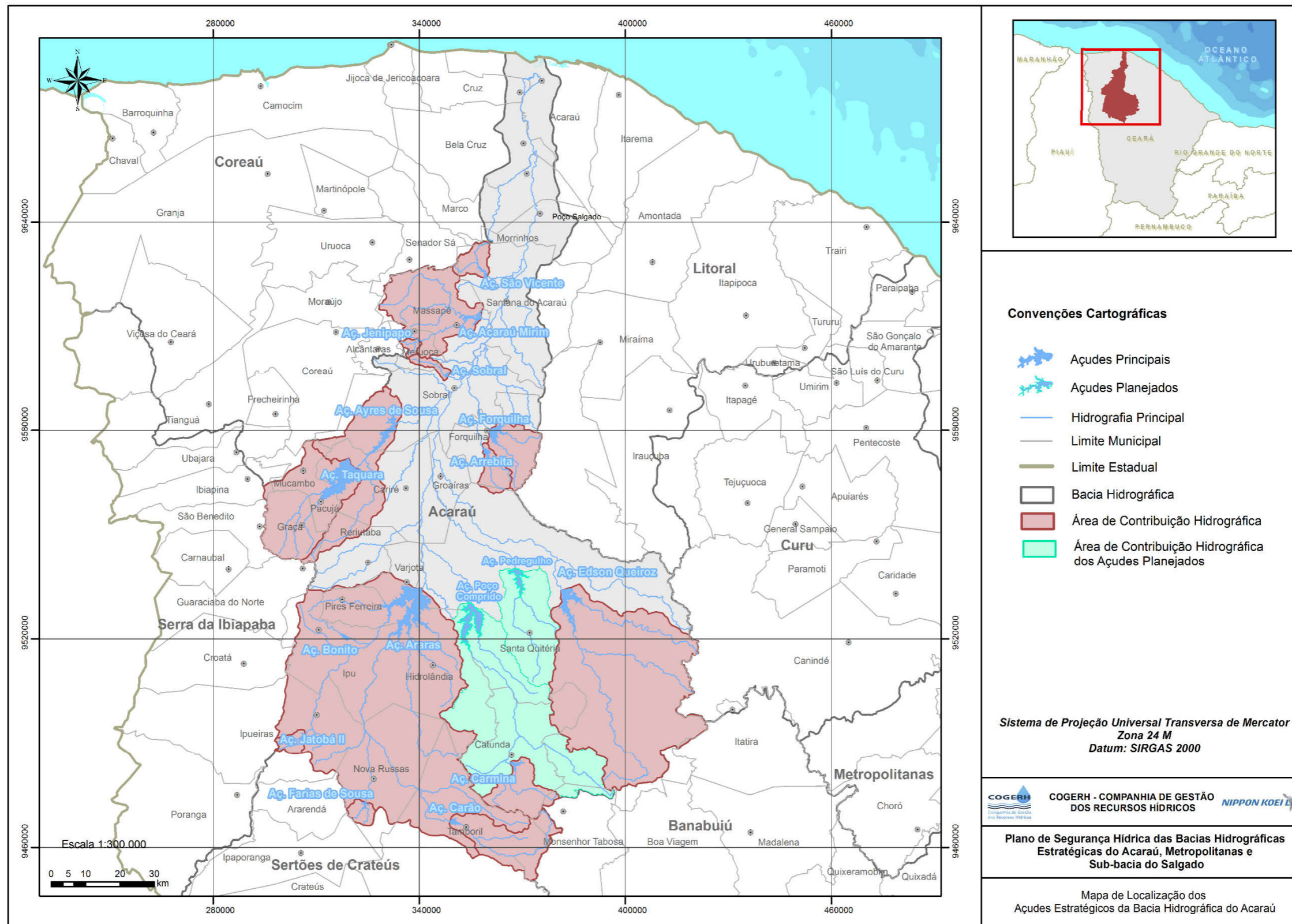
Reservatórios	Usos	Demandas (L/s)					
		ano *		ano 2020		ano 2030	
Acaraú Mirim	abast. humano	51,1	411,1	52,3	462,1	56,3	688,0
	irrigação	360,0		409,9		631,7	
Araras	abast. humano	575,0	4217,8	578,8	4243,0	591,6	4255,8
	irrigação	3242,8		3264,2		3264,2	
	perenização	400,0		400,0		400,0	
Arrebita	abast. humano	6,0	6,0	6,1	6,1	6,4	6,4
	irrigação	0,0		0,0		0,0	
Ayres de Sousa	abast. humano	581,5	655,5	582,7	665,4	586,8	707,5
	irrigação	58,0		66,0		101,8	
	industrial*	16,0		16,6		18,9	
Bonito	abast. humano	44,0	44,0	44,3	44,3	45,1	45,1
	irrigação	0,0		0,0		0,0	
Carão	abast. humano	20,0	20,0	20,0	20,0	19,9	19,9
	irrigação	0,0		0,0		0,0	
Carmina	abast. humano	6,0	6,0	6,0	6,0	6,1	6,1
	irrigação	0,0		0,0		0,0	
Edson de Queiroz	abast. humano	77,5	226,6	77,8	227,9	78,9	232,3
	irrigação	149,0		150,0		153,3	
	industrial	0,13		0,13		0,13	
Farias de Sousa	abast. humano	30,0	30,0	30,2	30,2	30,9	30,9
	irrigação	0,0		0,0		0,0	
Forquilha	abast. humano	45,0	45,0	46,2	46,2	50,6	50,6
	irrigação	0,0		0,0		0,0	
Jenipapo	abast. humano	30,0	30,0	30,7	30,7	33,2	33,2
	irrigação	0,0		0,0		0,0	
Jatobá II	abast. humano	20,0	20,0	19,9	19,9	19,6	19,6
	irrigação	0,0		0,0		0,0	
São Vicente	abast. humano	1,4	1,4	1,4	1,4	1,5	1,5
	irrigação	0,0		0,0		0,0	
Sobral	abast. humano	0,0	15,0	0,0	15,0	0,0	15,0
	irrigação	15,0		15,0		15,0	
Taquara	abast. humano	60,0	60,0	60,2	60,2	61,0	61,0
	irrigação	0,0		0,0		0,0	
Total agregado das demandas		5788,4		5878,4		6172,9	

Fonte: Cogerh (2017); Nippon Koei Lac (2017).

Nota: \* seguindo recomendações da contratante foram utilizadas como base as demandas do ano 2012, que devido ao elevado volume precipitado em 2011 foi um ano de baixíssimas restrições hídricas.



Figura 4 - Localização dos açudes na Bacia do Acaraú



Fonte: IBGE (2015); ANA (2016); Cogerh (2016); com adaptação da Nippon Koei Lac (2017).

### 3.3 Sub-Bacia do Salgado

Quanto às demandas atuais e futuras para os 15 reservatórios da Sub-Bacia do Salgado, atualmente monitorados pela Cogerh, destaca-se que em alguns deles foram utilizados outros anos como base, tais como o reservatório Gomes, onde foi utilizado o ano 2011, já que a demanda desse ano foi maior para ele, e o Jenipapeiro II, onde foi usada a demanda do ano 2014, já que a conclusão do reservatório foi posterior ao ano 2012.

As projeções das demandas de abastecimento humano nessa sub-bacia seguiu a metodologia comentada na apresentação deste capítulo. Apenas para projeções de outras demandas seguirão descrições concernentes ao sistema hídrico.

Para as demandas de irrigação na Sub-Bacia do Salgado determinou-se uma taxa de crescimento de 1,9% com base no estudo “Consolidação da Política e dos Programas de Recursos Hídricos do Estado do Ceará – Atualização do Plano Estadual de Recursos Hídricos (PLANERH)” do ano 2005, que na época apresentou informações de demanda do ano 2000 e projeções para os horizontes dos anos 2010 e 2020.

As projeções das demandas industriais para os 15 reservatórios em comento são inexistentes, segundo relação das demandas fornecidas pela contratante.

As informações apresentadas na Tabela 3 referem-se as demandas hídricas de cada reservatório para os horizontes 2020 e 2030. Posteriormente, na Figura 5 são localizadas todas as bacias hidrográficas e hidráulicas desses corpos hídricos.

Tabela 3 - Vazões regularizadas dos reservatórios com suas respectivas demandas atuais e futuras – Sub-Bacia do Salgado

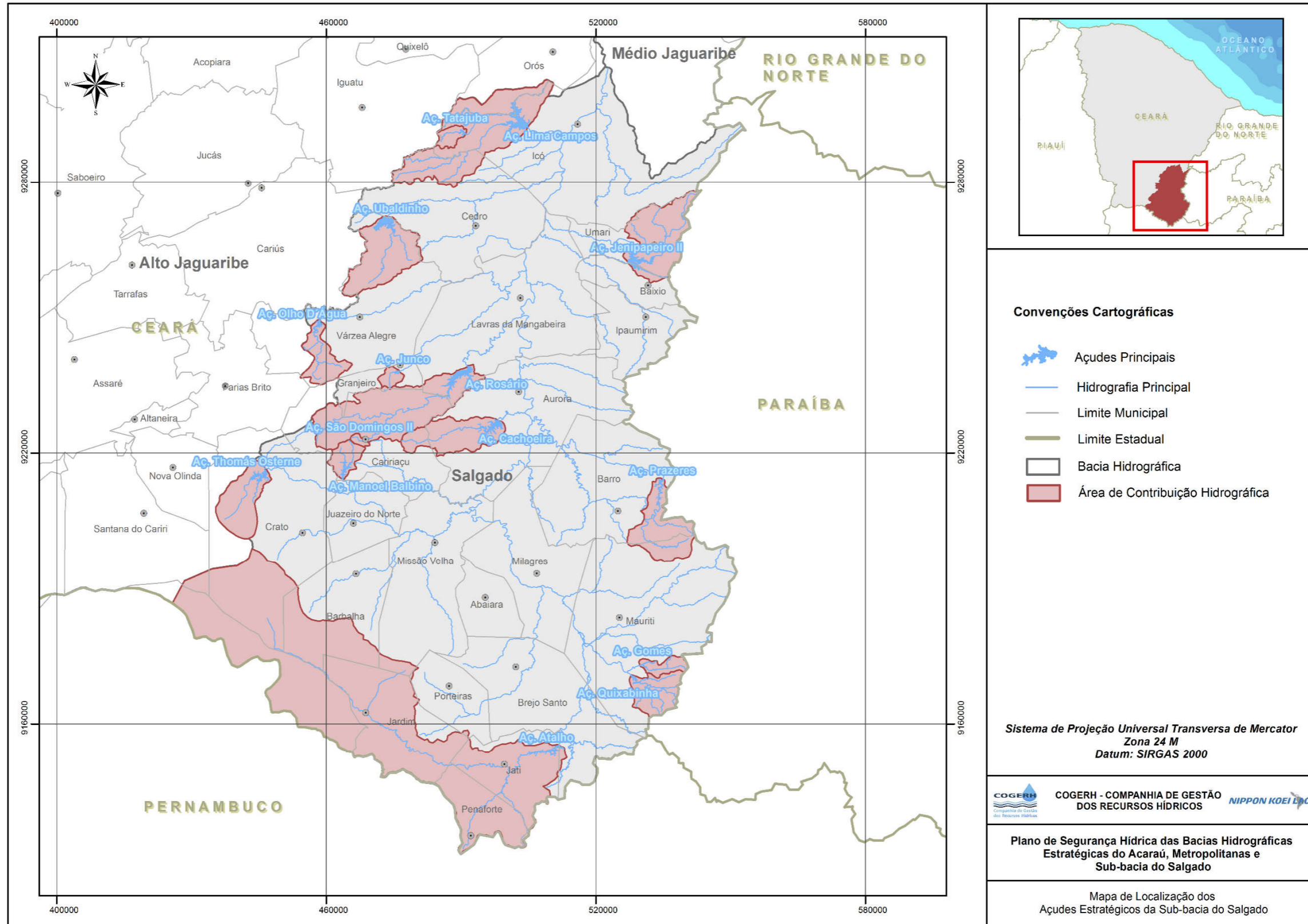
Reservatórios	Usos	Demandas (L/s)					
		ano *		ano 2020		ano 2030	
Atalho	abast. humano	0,0	590,0	0,0	624,3	0,0	753,6
	dessed. animal	590,0		624,3		753,6	
	irrigação						
Cachoeira	abast. humano	25,0	200,0	25,0	210,1	24,8	248,3
	dessed. animal	175,0		185,1		223,5	
	irrigação						
Gomes	abast. humano	0,0	45,0	0,0	47,6	0,0	57,5
	dessed. animal	45,0		47,6		57,5	
	irrigação						
Jenipapeiro II	abast. humano	40,0	40,0	40,2	40,2	41,0	41,0
	dessed. animal	0,0		0,0		0,0	
	irrigação						
Junco	abast. humano	7,0	7,0	6,8	6,8	6,4	6,4
	dessed. animal	0,0		0,0		0,0	
	irrigação						
Lima Campos	abast. humano	115,0	1615,0	115,1	1625,0	115,3	1658,8
	dessed. animal	1500,0		1509,9		1543,5	
	irrigação						
Manoel Balbino	abast. humano	35,0	225,0	35,4	236,4	36,6	279,3
	dessed. animal	190,0		201,0		242,7	
	irrigação						
Olho d'Água	abast. humano	50,0	130,0	50,3	134,9	51,5	153,7
	dessed. animal	80,0		84,6		102,2	
	irrigação						
Prazeres	abast. humano	5,0	270,0	5,1	285,5	5,3	343,8
	dessed. animal	265,0		280,4		338,5	
	irrigação						
Quixabinha	abast. humano	0,0	120,0	0,0	126,9	0,0	153,2
	dessed. animal	120,0		126,9		153,2	
	irrigação						
Rosário	abast. humano	40,0	800,0	39,7	855,5	38,9	1023,6
	dessed. animal	760,0		815,8		984,7	
	irrigação						
São Domingos II	abast. humano	30,0	30,0	30,4,0	30,4	31,8	31,8
	dessed. animal	0,0		0,0		0,0	
	irrigação						
Tatajuba	abast. humano	4,0	30	4,05	31,55	4,10	37,3
	dessed. animal	26,0		27,5		33,2	
	irrigação						
Thomás Osterne	abast. humano	10,0	300,0	10,2	317,0	10,9	381,2
	dessed. animal	290,0		306,8		370,3	
	irrigação						
Ubaldinho	abast. humano	35,0	180,0	35,3	188,7	36,1	221,2
	dessed. animal	145,0		153,4		185,1	
	irrigação						
Total agregado das demandas		4582,0		4769,8		5390,7	

Fonte: Fonte: Cogerh (2017); Nippon Koei Lac (2017).

Nota: \* seguindo recomendações da contratante foram utilizadas como base as demandas do ano 2012, que devido ao elevado volume precipitado em 2011 foi um ano de baixíssimas restrições hídricas. Para alguns reservatórios foram utilizados outros anos com base, foi o caso do reservatório Gomes, com ano 2011 e do Jenipapeiro II, com ano 2014.



Figura 5 - Localização dos açudes na Sub-Bacia do Salgado



Fonte: IBGE (2015); ANA (2016); Cogerh (2016); com adaptação da Nippon Koei Lac (2017).





**ipece**

INSTITUTO  
DE PESQUISA  
E POTENCIAL  
ECONÔMICA  
DO CEARÁ



**GOVERNO DO  
ESTADO DO CEARÁ**  
*Secretaria dos Recursos Hídricos*

#### **4. VULNERABILIDADES QUANTITATIVAS**



#### 4. VULNERABILIDADES QUANTITATIVAS

Uma vez avaliada a segurança hídrica em seu aspecto quantitativo, a análise das vulnerabilidades encadeia-se como fase subsequente natural, preparatória da elaboração de estratégias e ações mitigadoras das vulnerabilidades identificadas.

Já tendo sido apresentadas as demandas e suas respectivas projeções no capítulo anterior, sucede-se a abordagem a respeito das vazões regularizadas para os 52 corpos hídricos. Esses volumes de água que podem ser fornecidas por cada reservatório, dada uma determinada garantia de atendimento, foram simulados com base em séries pseudo-históricas das vazões afluentes advindas dos estudos que a Cogerh conveniou com a UFC. Ressalta-se que explicações mais criteriosas sobre a metodologia foram fornecidas no produto denominado R13 (Relatório de Avaliação da Segurança Hídrica: Aspectos Quantitativos).

As Tabelas 4, 5 e 6 mostradas a seguir, resumem as demandas de água confrontadas com as curvas de garantia obtidas para cada um dos 52 reservatórios considerados, inseridos nas Bacias Metropolitanas, na Bacia do Acaraú e na Sub-Bacia do Salgado, seguido de seus respectivos diagramas unifilares, apresentados nas Figuras 6, 7 e 8.

Em observação dos dados apresentados, nota-se que existem distintas particularidades no que diz respeito às ofertas e demandas hídricas para cada reservatório. Entretanto, essas particularidades são comuns aos três sistemas hidrográficos em estudo. Vale destacar que existem casos nas Bacias Metropolitanas que envolvem transposição de bacia, onde há interação entre vários corpos hídricos.

Diante disso, no subtópico seguinte as particularidades dos balanços hídricos de cada sistema foram divididas em níveis de criticidade, abordando-se os casos encontrados de uma maneira menos repetitiva.

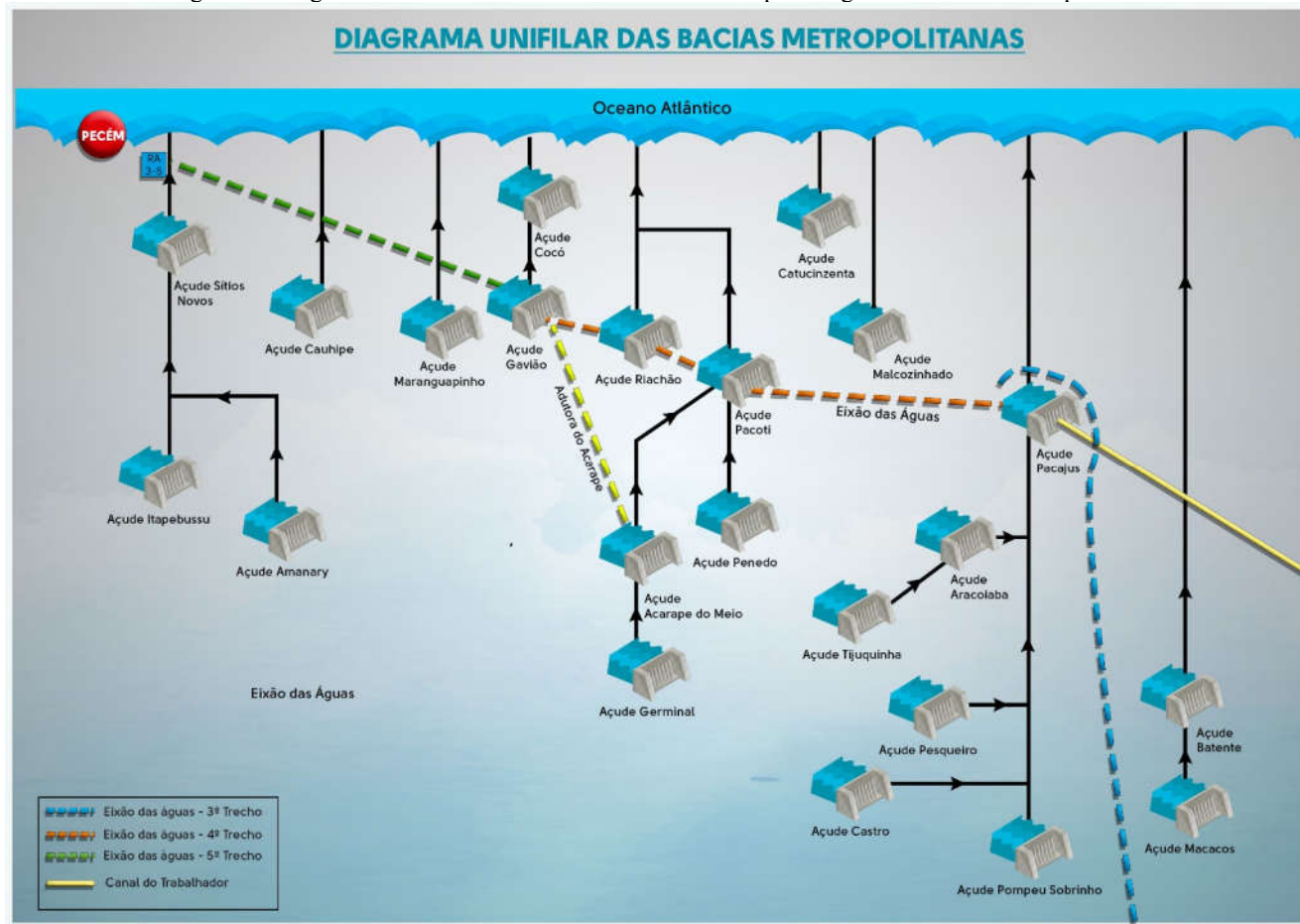
Tabela 4 - Vazões regularizadas com suas respectivas demandas atuais e futuras – Bacias Metropolitanas

Reservatórios	Volume máx. (m <sup>3</sup> )	Vazão/garantia (L/s)		Usos	Demandas (L/s)					
		g 90%	g 99%		ano **		ano 2020		ano 2030	
Acarape do Meio	29.593.388	740,34	561,94	abast. humano	200,0	400,0	203,1	408,9	207,0	420,2
				irrigação	200,0		205,8		213,3	
Amanary	11.010.000	194,13	92,92	abast. humano	10,0	10,0	10,8	10,8	11,9	11,9
				irrigação	0,0		0,0		0,0	
Aracoiaba	162.000.000	3906,26	2636,74	abast. humano	35,0	415,0	35,0	418,5	35,0	427,7
				irrigação	45,0		46,3		48,0	
				industrial	335,0		337,2		344,7	
Batente	33.510.000	227,26	95,96	abast. humano	30,0	60,0	30,7	61,6	31,6	63,6
				irrigação	30,0		30,9		32,0	
Castro	62.310.000	2023,63	1014,17	abast. humano	34,0	134,0	34,4	137,3	35,0	141,6
				irrigação	100,0		102,9		106,6	
Catucinzenta	24.900.000	187,16	138,85	abast. humano	100,0	135,0	110,4	146,4	124,8	162,2
				irrigação	35,0		36,0		37,3	
Cauhipe	12.000.000	162,76	75,96	abast. humano	10,0	20,0	10,8	21,1	11,9	22,6
				irrigação	10,0		10,3		10,7	
Cocó*	5.095.672	195,82	116,73	-	-	-	-	-	-	-
Gavião	33.300.000	479,27	321,19	abast. humano	8200,0	9357,0	8795,4	9960,0	9600,8	10791,3
				industrial	1157,0		1164,6		1190,5	
Germinal*	2.107.201	135,92	66,05	-	-	-	-	-	-	-
Itapebussu	6.000.000	155,53	23,51	abast. humano	20,0	80,0	21,5	83,2	23,5	87,5
				irrigação	60,0		61,7		64,0	
Macacos	10.320.000	7,20	0,0	abast. humano	12,0	12,0	12,1	12,1	12,2	12,2
				irrigação	0,0		0,0		0,0	
Malcozinhado	36.550.000	138,55	75,42	abast. humano	144,0	144,0	156,7	156,7	174,1	174,1
				irrigação	0,0		0,0		0,0	
Maranguapinho	9.350.000	291,68	191,64	abast. humano	200,0	200,0	216,1	216,1	238,0	238,0
				irrigação	0,0		0,0		0,0	
Pacajus	232.000.000	6852,83	4685,11	abast. humano	120,0	220,0	124,6	230,9	130,6	245,4
				irrigação	0,0		0,0		0,0	
				industrial	100,0		106,3		114,8	
Pacoti	380.000.000	5383,20	3464,74	abast. humano	200,0	240,0	215,0	262,2	235,4	293,3
				irrigação	0,0		0,0		0,0	
				industrial	40,0		47,1		57,8	
Penedo	2.400.000	18,08	9,40	abast. humano	20,0	30,0	21,6	31,9	23,9	34,5
				irrigação	10,0		10,3		10,7	
Pesqueiro	9.031.000	391,97	185,10	abast. humano	16,0	50,0	16,5	51,5	17,1	53,3
				irrigação	34,0		35,0		36,3	
Pompeu Sobrinho	143.000.000	2187,41	948,25	abast. humano	10,0	200,0	10,2	205,7	10,5	213,1
				irrigação	190,0		195,5		202,6	
Riachão	47.916.512	222,96	181,44	abast. humano	34,0	34,0	37,0	37,0	41,1	41,1
				irrigação	0,0		0,0		0,0	
Sítios Novos	126.000.000	1974,84	1063,39	abast. humano	55,0	720,0	58,5	835,8	63,1	1007,9
				irrigação	0,0		0,0		0,0	
				industrial	665,0		777,3		944,8	
Tijuquinha	403.871	30,80	20,0	abast. humano	40,0	40,0	39,6	39,6	39,0	39,0
				irrigação	0,0		0,0		0,0	
Total agregado das demandas					12701,0		13479,0		14693,8	

Fonte: Cogerh (2017); Nippon Koei Lac (2017).

Nota: \* reservatórios de construção recente, sem demandas estabelecidas. \*\* seguindo recomendações da contratante, foram utilizadas como base as demandas do ano 2012, que devido ao elevado volume precipitado em 2011 foi um ano de baixíssimas restrições hídricas. Para algumas demandas de alguns reservatórios foram utilizados outros anos como base, foi o caso da demanda para irrigação do reservatório Itapebussu, com ano 2011 e da demanda para abastecimento humano do reservatório Malcozinhado, com ano 2016.

Figura 6 - Diagrama unifilar dos reservatórios monitorados pela Cogeh nas Bacias Metropolitanas



Fonte: Nippon Koei Lac (2017).

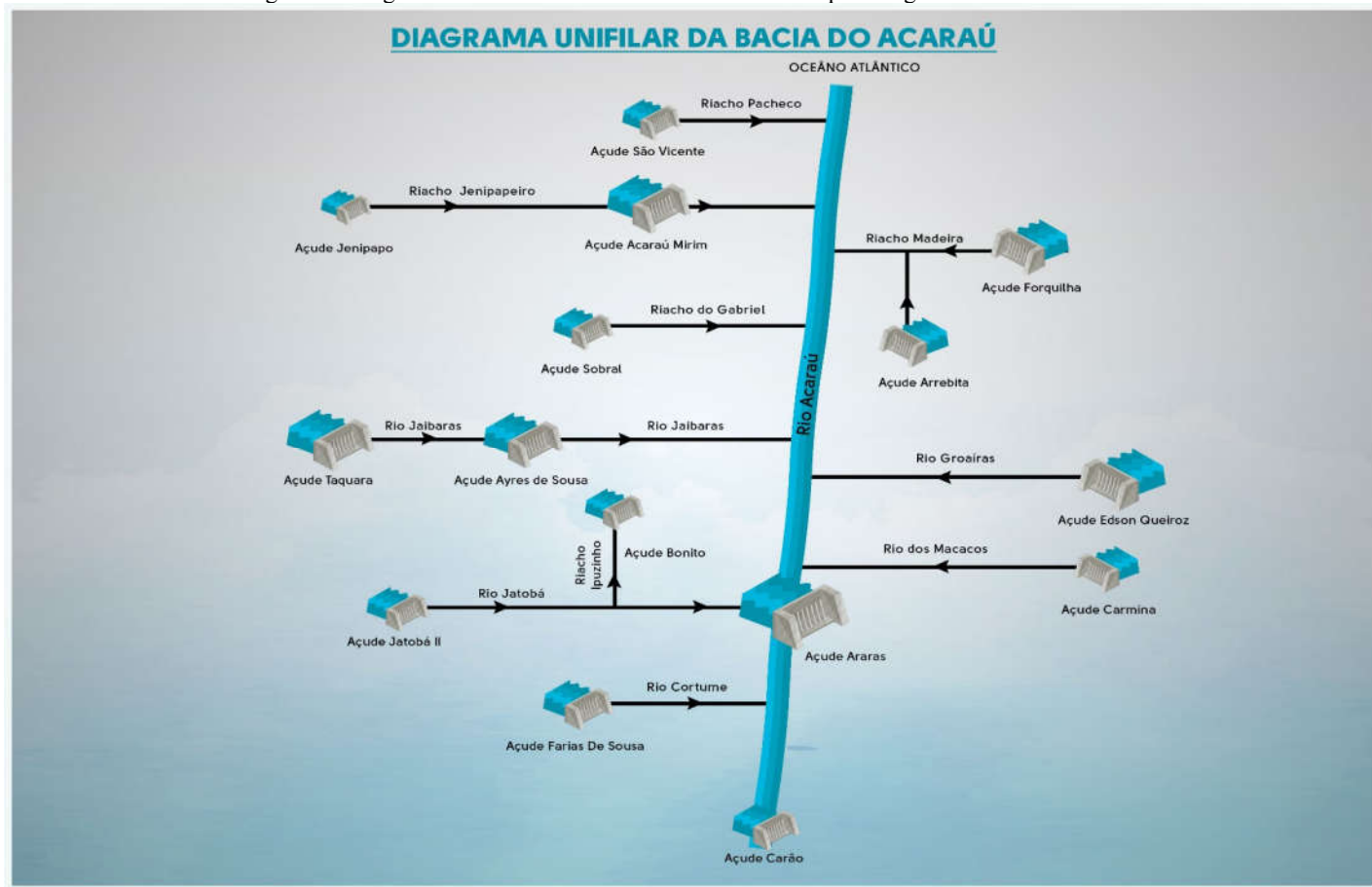
Tabela 5 - Vazões regularizadas com suas respectivas demandas atuais e futuras - Bacia do Acaraú

Reservatórios	Volume máx. (m <sup>3</sup> )	Vazão/garantia (L/s)		Usos	Demandas (L/s)					
		g 90%	g 99%		ano *		ano 2020		ano 2030	
Acaraú Mirim	36.715.658	631,0	218,4	abast. humano	51,1	411,1	52,3	462,1	56,3	688,0
				irrigação	360,0		409,9		631,7	
Araras	859.533.000	11749,4	7653,9	abast. humano	575,0	4217,8	578,8	4243,0	591,6	4255,8
				irrigação	3242,8		3264,2		3264,2	
				perenização	400,0		400,0		400,0	
Arrebita	18.530.000	642,3	413,3	abast. humano	6,0	6,0	6,1	6,1	6,4	6,4
				irrigação	0,0		0,0		0,0	
Ayres de Sousa	96.800.000	3238,6	1940,2	abast. humano	581,5	655,5	582,7	665,4	586,8	707,5
				irrigação	58,0		66,0		101,8	
				industrial*	16,0		16,6		18,9	
Bonito	6.000.000	7,7	0,0	abast. humano	44,0	44,0	44,3	44,3	45,1	45,1
				irrigação	0,0		0,0		0,0	
Carão	26.230.000	27,7	0,0	abast. humano	20,0	20,0	20,0	20,0	19,9	19,9
				irrigação	0,0		0,0		0,0	
Carmina	13.480.000	5,1	0,0	abast. humano	6,0	6,0	6,0	6,0	6,1	6,1
				irrigação	0,0		0,0		0,0	
Edson Queiroz	254.000.000	2296,8	1033,6	abast. humano	77,5	226,6	77,8	227,9	78,9	232,3
				irrigação	149,0		150,0		153,3	
				industrial	0,13		0,13		0,13	
Farias de Sousa	12.230.000	94,7	59,9	abast. humano	30,0	30,0	30,2	30,2	30,9	30,9
				irrigação	0,0		0,0		0,0	
Forquilha	50.130.000	1050,1	747,9	abast. humano	45,0	45,0	46,2	46,2	50,6	50,6
				irrigação	0,0		0,0		0,0	
Jenipapo	3.500.000	125,0	78,5	abast. humano	30,0	30,0	30,7	30,7	33,2	33,2
				irrigação	0,0		0,0		0,0	
Jatobá II	6.240.000	111,0	65,8	abast. humano	20,0	20,0	19,9	19,9	19,6	19,6
				irrigação	0,0		0,0		0,0	
São Vicente	9.840.000	194,4	105,3	abast. humano	1,4	1,4	1,4	1,4	1,5	1,5
				irrigação	0,0		0,0		0,0	
Sobral	4.272.502	0,0	0,0	abast. humano	0,0	15,0	0,0	15,0	0,0	15,0
				irrigação	15,0		15,0		15,0	
Taquara	320.000.000	1680,0	894,4	abast. humano	60,0	60,0	60,2	60,2	61,0	61,0
				irrigação	0,0		0,0		0,0	
Total agregado das demandas					5788,4		5878,4		6172,9	

Fonte: Cogerh (2017); Nippon Koei Lac (2017).

Nota: \* seguindo recomendações da contratante, foram utilizadas como base as demandas do ano 2012, que devido ao elevado volume precipitado em 2011 foi um ano de baixíssimas restrições hídricas.

Figura 7 - Diagrama unifilar dos reservatórios monitorados pela Cogerh na Bacia do Acaraú



Fonte: Nippon Koei Lac (2017).



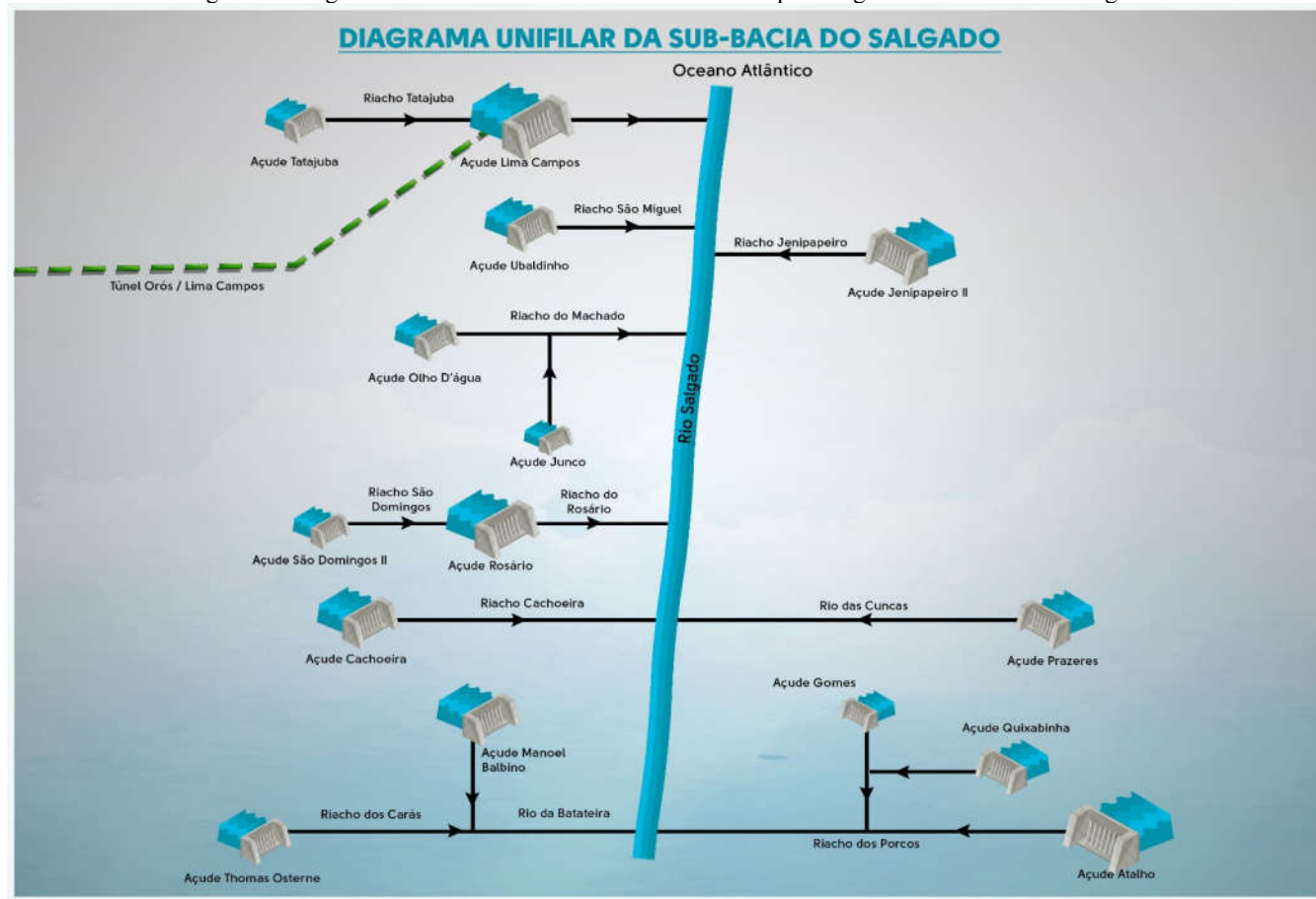
Tabela 6 - Vazões regularizadas com suas respectivas demandas atuais e futuras – Sub-Bacia do Salgado

Reservatórios	Volume máx. (m³)	Vazão/garantia (L/s)		Usos	Demandas (L/s)					
		g 90%	g 99%		ano *	ano 2020	ano 2030			
Atalho	72.552.000	535,7	306,16	abast. humano	0,0	590,0	0,0	624,3	0,0	753,6
				dessed. animal	590,0		624,3		753,6	
				irrigação						
Cachoeira	34.330.000	377,03	175,91	abast. humano	25,0	200,0	25,0	210,1	24,8	248,3
				dessed. animal	175,0		185,1		223,5	
				irrigação						
Gomes	2.390.000	31,33	19,00	abast. humano	0,0	45,0	0,0	47,6	0,0	57,5
				dessed. animal	45,0		47,6		57,5	
				irrigação						
Jenipapeiro II	41.400.000	315,08	187,18	abast. humano	40,0	40,0	40,2	40,2	41,0	41,0
				dessed. animal	0,0		0,0		0,0	
				irrigação						
Junco	2.030.000	22,02	11,01	abast. humano	7,0	7,0	6,8	6,8	6,4	6,4
				dessed. animal	0,0		0,0		0,0	
				irrigação						
Lima Campos	66.380.000	412,67	230,10	abast. humano	115,0	1615,0	115,1	1625,0	115,3	1658,8
				dessed. animal	1500,0		1509,9		1543,5	
				irrigação						
Manoel Balbino	37.180.000	179,31	133,08	abast. humano	35,0	225,0	35,4	236,4	36,6	279,3
				dessed. animal	190,0		201,0		242,7	
				irrigação						
Olho d'Água	19.000.000	136,01	53,69	abast. humano	50,0	130,0	50,3	134,9	51,5	153,7
				dessed. animal	80,0		84,6		102,2	
				irrigação						
Prazeres	32.500.000	188,57	144,50	abast. humano	5,0	270,0	5,1	285,5	5,3	343,8
				dessed. animal	265,0		280,4		338,5	
				irrigação						
Quixabinha	31.780.000	46,4	25,15	abast. humano	0,0	120,0	0,0	126,9	0,0	153,2
				dessed. animal	120,0		126,9		153,2	
				irrigação						
Rosário	47.220.000	355,81	128,10	abast. humano	40,0	800,0	39,7	855,5	38,9	1023,6
				dessed. animal	760,0		815,8		984,7	
				irrigação						
São Domingos II	2.250.000	18,86	14,24	abast. humano	30,0	30,0	30,4	30,4	31,8	31,8
				dessed. animal	0,0		0,0		0,0	
				irrigação						
Tatajuba	2.720.000	13,52	4,10	abast. humano	4,0	30,0	4,05	31,5	4,10	37,3
				dessed. animal	26,0		27,5		33,2	
				irrigação						
Thomás Osterne	28.780.000	186,5	86,75	abast. humano	10,0	300,0	10,2	317,0	10,9	370,3
				dessed. animal	290,0		306,8		370,3	
				irrigação						
Ubalzinho	31.800.000	268,37	143,77	abast. humano	35,0	180,0	35,3	188,7	36,1	221,2
				dessed. animal	145,0		153,4		185,1	
				irrigação						
Total agregado das demandas					4582,0		4760,8		5390,7	

Fonte: Cogerh (2017); Nippon Koei Lac (2017).

Nota: \* seguindo recomendações da contratante, foram utilizadas como base as demandas do ano 2012, que devido ao elevado volume precipitado em 2011 foi um ano de baixíssimas restrições hídricas. Para alguns reservatórios foram utilizados outros anos com base, foi o caso do reservatório Gomes, com ano 2011 e do Jenipapeiro II, com ano 2014.

Figura 8 - Diagrama unifilar dos reservatórios monitorados pela Cogerh na Sub-Bacia do Salgado



Fonte: Nippon Koei Lac (2017).



Nas Bacias Metropolitanas há que se destacar uma situação especial relacionada com o reservatório Gavião. O caso justifica uma breve análise do que vem ocorrendo no sistema de abastecimento de água da Região Metropolitana de Fortaleza. A condição de “caixa de passagem” do açude Gavião enquanto integrante do sistema explica a superação das ofertas locais desse reservatório pelas demandas.

Atualmente, a Cagece necessita de vazões da ordem de 8,2 a 8,5 m<sup>3</sup>/s para abastecer a região da grande Fortaleza. No contexto de suprimento hídrico em análise, o Canal do Trabalhador (com capacidade aproximada de 4,5 m<sup>3</sup>/s), embora concebido e implantado emergencialmente, opera com cerca de 3 m<sup>3</sup>/s para complementar o abastecimento da RMF. O canal chega no reservatório Pacajus e suas águas integram-se ao sistema Pacoti - Riachão - Gavião.

O grau de dependência das grandes demandas hídricas estaduais do reservatório Castanhão e, mais recentemente, a liberação de água do açude Orós para reforço imprescindível do sistema, evidencia outras vulnerabilidades importantes a exigirem providências de cunho estrutural e não estrutural.

O Canal do Trabalhador desempenha o importante papel, atualmente operando com o sentido invertido (Serra do Felix → Itaiçaba), o sistema passa por constante manutenção (há equipes trabalhando diuturnamente) para retirada de vegetação que cresce em seu leito, devido ao assoreamento decorrente da baixa velocidade de escoamento da água, além de consertar seu revestimento em caso de vazamentos. O canal precisa ser recuperado, mas pairam dúvidas sobre como fazê-lo sem que seja necessário paralisar sua operação. Há a ideia de revesti-lo completamente com placas e, em anos mais distantes, cogitou-se a instalação de turbinas com vistas a acelerar o escoamento, aumentando a capacidade de transporte e minorando o assoreamento.

Diante do exposto anteriormente, a Tabela 7 apresenta, de forma integrada com os incrementos do Canal do Trabalhador e do Eixão das Águas, as ofertas hídricas e demandas para os sistemas Pacajus e Pacoti – Riachão – Gavião.

Tabela 7 - Ofertas hídricas e demandas para os sistemas Pacajus e Pacoti – Riachão – Gavião

<b>Balanco Hídrico do Sistema Integrado</b>					
		<b>Pacajus</b>	<b>Pacoti</b>	<b>Riachão</b>	<b>Gavião</b>
<b>Ofertas</b>	Vazão g 99%	4.685,0	3.464,74	181,44	321,19
	Total de 8.652,3 L/s				
	Canal do Trabalhador	Capacidade máxima de 4.500,0 L/s			
	Eixão das Águas	Capacidade máxima de 19.000,0 L/s			
<b>Demandas</b>	Atuais	220,0	240,0	34,0	9.357,0
	Total de 9.851,0 L/s				
	Para horizonte de 2020	230,9	262,2	37,0	9.960,0
	Total de 10.490,1 L/s				
	Para horizonte de 2030	245,4	293,3	41,1	10.791,3
Total de 11.371,1 L/s					

Fonte: Cogerh (2017); Nippon Koei Lac (2017).

O balanço hídrico integrado apresentado na tabela anterior ilustra que os sistemas Pacajus e Pacoti-Riachão-Gavião, que abastece a RMF, recebe incrementos hídricos provenientes do Canal do Trabalhador e do Eixão das Águas para o atendimento de uma demanda atual de 8,65 m<sup>3</sup>/s. Entretanto, como mencionado anteriormente, a Cagece atualmente demandaria de vazões na ordem de 8,2 a 8,5 m<sup>3</sup>/s para suprir o abastecimento dessa região. A evidente diferença entre oferta e demanda certamente está relacionada com as perdas físicas que a companhia de saneamento (Cagece) enfrenta, a exemplo do que ocorre em outros estados brasileiros.

As perdas presentes nas estruturas constituintes do sistema são provenientes, principalmente, da falta de manutenção e precisam ser controladas, visto que minimizá-las resulta não só na otimização do sistema de abastecimento, como também no aumento da oferta de água local. Para isso, faz-se necessária a substituição de materiais, equipamentos, tubulações e uma reestruturação nas unidades dos sistemas, além de implantação de tecnologias que controlem a magnitude das perdas observadas atualmente.

Adicionalmente, tem-se a problemática das retiradas de água ilegais (não outorgadas) dos reservatórios, realidade comum não só nos reservatórios cearenses, mas em todos os outros estados. Apesar de a Cogerh trabalhar no sentido de coibir usos não outorgados, existe uma dificuldade no controle das retiradas clandestinas, principalmente com o intenso evento de seca que atingiu o estado nos últimos anos.

Para o atendimento das demandas futuras, além dos incrementos de água advindos do Canal do Trabalhador (capacidade para conduzir uma vazão de 4,5 m<sup>3</sup>/s atualmente) e do Eixão das Águas, que chega no sistema Riachão-Pacoti-Gavião com capacidade para transportar 19 m<sup>3</sup>/s, embora se saiba que esses sistemas atualmente não operam com suas capacidades máximas devido ao déficit hídrico, a RMF será assegurada pela importação de águas da Transposição do Rio São Francisco - Eixo Norte, com uma vazão que pode chegar até 40 m<sup>3</sup>/s (SRH, 2017; BRASIL, 2000).

#### 4.1 Níveis de Criticidade

A análise dos dados obtidos nas Tabelas 4, 5 e 6 apresentadas anteriormente, permite observar que existem quatro níveis de criticidade no que se refere ao suprimento das demandas hídricas de abastecimento humano e irrigação para os reservatórios objetos de estudo. Tais níveis determinam o comprometimento desses reservatórios no atendimento de suas demandas levando em consideração as garantias estudadas.

A demanda industrial não foi considerada um fator determinante na categorização de tais reservatórios, uma vez que só é apresentada para os reservatórios Pacajus, Pacoti e Sítios Novos, pertencentes às Bacias Metropolitanas, e para o reservatório Ayres de Sousa, inserido na Bacia do Acaraú. Para os reservatórios das Bacias Metropolitanas, adiciona-se também o fato dessas demandas, direcionadas principalmente para o abastecimento do Complexo Industrial e Portuário do Pecém, serem supridas pela transposição hídrica do Eixão das Águas, e não pelas ofertas locais dos próprios reservatórios.

Dessa forma, para cada premissa de evolução de demanda (demanda atual, demanda para o horizonte de 2020 e demanda para o horizonte de 2030) os reservatórios objetos de estudo são categorizados a seguir:

**Nível I:** Compreende os reservatórios que não conseguem suprir suas demandas para abastecimento humano. Entre esses reservatórios estão os que não regularizam vazão para uma garantia de 99% e, portanto, apresentam valor de vazão nulo, e os que regularizam vazão com valor insuficiente para o atendimento dessa demanda. Para o primeiro caso, incluem-se os reservatórios Bonito, Carão e Carmina, localizados na Bacia do Acaraú, e o reservatório Macacos, situado nas Bacias Metropolitanas. Já para o segundo caso, tem-se os reservatórios Gavião,

Penedo, Malcozinhado, Maranguapinho e Tijuquinha, inseridos nas Bacias Metropolitanas e o reservatório São Domingos II, pertencente à Sub-Bacia do Salgado. Lembrando que o açude Gavião é um caso particular, pois, conforme já mencionado, recebe aportes transpostos da Bacia do Jaguaribe e as demandas que a ele foram associadas encontram atendimento nesses montantes hídricos transpostos de forma complementar ou integral.

**Nível II:** Abrange os reservatórios que satisfazem suas demandas para abastecimento humano, porém são insuficientes para garantir as suas demandas para irrigação. Para o cenário de demanda atual e, conseqüentemente, para os demais cenários encaixam-se nesse nível o reservatório Itapebussu, pertencente às Bacias Metropolitanas, o reservatório Acaraú Mirim, localizado na Bacia do Acaraú, e os reservatórios Cachoeira, Manoel Balbino, Olho d'Água, Prazeres, Rosário, Tatajuba e Thomás Osterne, da Sub-Bacia do Salgado. Para o horizonte de demanda de 2020 e, conseqüentemente, também para 2030, tem-se o reservatório Catucinzenza, das Bacias Metropolitanas. Por fim, apenas para o horizonte de demanda de 2030, enquadra-se o reservatório Ubaldinho, da Sub-Bacia do Salgado. Para os reservatórios enquadrados nesse nível, diretrizes serão tratadas de forma mais criteriosa no produto denominado R15 (Estratégia Geral e Mitigação e Gestão de Risco).

**Nível III:** Configura os reservatórios que conseguem atender todas as suas demandas necessárias (abastecimento humano e/ou irrigação) para todos os horizontes em estudo. Se enquadram nesse nível os reservatórios Acarape do Meio, Amanary, Aracoiaaba, Batente, Castro, Cauhipe, Pacajus, Pacoti, Pesqueiro, Pompeu Sobrinho, Riachão e Sítios Novos, situados nas Bacias Metropolitanas, os reservatórios Araras, Arrebita, Ayres de Sousa, Edson de Queiroz, Jenipapo, Farias de Sousa, Forquilha, Jatobá II, São Vicente e Taquara, da Bacia do Acaraú, e os reservatórios Jenipapeiro II, Junco e Lima Campos, localizados na Sub-Bacia do Salgado.

O açude Lima Campos, apesar de possuir demandas atribuídas superiores à sua vazão regularizada com 99% de garantia, recebe um incremento hídrico do Túnel Orós-Lima Campos, visto que o reservatório Orós possui uma capacidade de regularizar aproximadamente 9 m<sup>3</sup>/s para a mesma garantia (COGERH, 1999).

**Nível IV:** Compreende os reservatórios que apenas possuem demanda para irrigação e essa demanda não é atendida. Enquadram-se nesse nível os reservatórios Sobral na Bacia do Acaraú e Atalho, Gomes e Quixabinha na Sub-Bacia do Salgado.

## 4.2. Cenários de Simulação

Para os reservatórios classificados como Nível I, ou seja, que não conseguem suprir suas demandas para abastecimento humano, foram propostos cenários de simulação para estudar as alternativas de vazões regularizadas disponíveis. Tais cenários, quando possíveis, consideram um Volume de Alerta caracterizado como um certo nível do reservatório que, ao ser atingido, aciona uma nova configuração de operação por um certo intervalo de tempo, por meios de racionamentos das ofertas, assegurando uma maior eficiência no esquema das retiradas e reduzindo a possibilidade de ocorrência de colapsos no sistema.

O conceito de volume de alerta torna-se uma importante ferramenta para tomada de decisão no que concerne à gestão hídrica, na medida que proporciona uma maior assertividade nas decisões sobre o fornecimento de um serviço de oferta de água bruta mais eficaz. Por meio de tal instrumento podem ser visualizadas diversas alternativas para o suprimento de abastecimento de água e, assim, definir a opção que melhor se enquadra para o caso analisado.

Nos cenários de operação dos reservatórios propostos neste estudo, apesar da vazão demandada total não ser atendida quando existe a condição do volume de alerta, o reservatório não passa por períodos de déficit, mas sim por períodos onde essa disponibilidade é limitada por uma porcentagem de sua demanda total. Os cenários elaborados são listados a seguir:

- g 70%: vazão garantida em 70% do tempo;
- g 80%: vazão garantida em 80% do tempo;
- g 90%: vazão garantida em 90% do tempo;
- g 95%: vazão garantida em 95% do tempo;
- g 99%: vazão garantida em 99% do tempo;
- g 98,50,2 %: vazão garantida em 98% do tempo e com 50% de racionamento nos 2% do tempo restante;
- g 90,20,10 %: vazão garantida em 90% do tempo e com 20% de racionamento nos 10% do tempo restante;
- g 90,40,10 %: vazão garantida em 90% do tempo e com 40% de racionamento nos 10% do tempo restante;

- g 95,50,10 %: vazão garantida em 95% do tempo e com 50% de racionamento nos 10% do tempo restante;
- g 95,20,5 %: vazão garantida em 95% do tempo e com 20% de racionamento nos 5% do tempo restante;
- g 95,40,5 %: vazão garantida em 95% do tempo e com 40% de racionamento nos 5% do tempo restante;
- g 95,50,5 %: vazão garantida em 95% do tempo e com 50% de racionamento nos 5% do tempo restante.

Para os reservatórios de pequeno porte em estudo, torna-se inviável o uso de um volume de alerta, pois, para tanto, seria necessário a adoção de um valor muito elevado para essa variável, o que se torna impraticável. Dessa forma, para esses reservatórios são apresentados apenas os resultados para os cinco primeiros cenários de operação.

Vale ressaltar que, apesar de um aumento considerável nas vazões ofertadas, na maioria dos casos estudados o uso do volume de alerta não foi suficiente para garantir o atendimento das demandas de abastecimento humano em sua totalidade.

Importa, por fim, ressaltar que a adoção de um esquema operacional de gestão de águas acumuladas com base no conceito de Volume de Alerta é muito mais aconselhável no caso dos grandes reservatórios (capacidade superior a 10 milhões de m<sup>3</sup>), pois pequenos corpos hídricos, em decorrência dos extremados processos de evaporação típicos do semiárido, tendem a perder eficiência quando um gerenciamento prudencial (que retém a água armazenada por mais tempo) é posto em prática. De qualquer forma, o referido conceito mostra grande utilidade, mesmo nesses casos dos pequenos reservatórios, pois permite uma negociação de alocação da água no âmbito das Comissões Gestoras de Açudes e dos Comitês de Bacias – particularmente nos períodos críticos - sob bases técnicas bem fundamentadas.

Algumas distinções devem ser consideradas a respeito dos reservatórios que não conseguem suprir suas demandas para abastecimento humano, regularizando ou não alguma vazão. Para esses reservatórios destacados no Nível I de criticidade (Bonito, Carão e Carmina, da Bacia do Acaraú, e Macacos, Penedo, Malcozinhado, Maranguapinho e Tijuquinha, das Bacias Metropolitanas e São Domingos II, da Sub-Bacia do Salgado) serão comentadas certas



particularidades a seguir. O caso específico do reservatório Gavião será explicitado posteriormente.

Destaca-se que, devido aos anos consecutivos de seca, o aproveitamento de pequenos reservatórios pelo poder público, outrora não utilizados por não oferecerem segurança hídrica, é realizado principalmente nos períodos mais críticos, com intuito de obter algum incremento na oferta hídrica, aliviando pressões sobre reservatórios importantes que, com o perdurar da crise hídrica, aproximam-se paulatinamente de um possível colapso. Dessa forma, para certos reservatórios, cabe tecer considerações quanto à gestão hídrica realizada pela Cogeh.

Os reservatórios Carão, Carmina e Macacos, que possuem localização desfavorável (próximos de cabeceiras de bacias), não regularizam vazão com 99% de garantia e nem recebem transferências de outros reservatórios para o atendimento das suas demandas. Assim, serão propostas no produto denominado R16 (Plano de Ações: Estruturais e Não Estruturais) medidas estruturais que garantam essas demandas em períodos de falhas da vazão a ser retirada, calculada pelo modelo de simulação que apresenta como série histórica de afluições valores fornecidos pela Cogeh. Todavia, há estudos produzidos pelo Estado - (SRH, 2017) – que fornecem como valor de vazão regularizada presente nas fichas técnicas desses reservatórios, um valor de 100 L/s, o que é suficiente para suprir as suas demandas, caso a garantia associada a mesma seja adequada (a ficha técnica não informa a garantia associada à vazão regularizada).

Quanto às demandas impostas ao reservatório Penedo, ressalta-se que a vazão regularizada apresentada na sua ficha técnica é de 630 L/s (SRH 2017), valor mais que suficiente para atender suas demandas. Entretanto, a curva das vazões regularizadas para esse reservatório, geradas a partir da séries de afluições pseudo-históricas apresentada nos estudos que a Cogeh conveniou com a UFC (COGERH-UFC, 2013), não apresentou valor satisfatório que suprisse suas demandas, nem mesmo a vazão regularizada com 70% de garantia (37,7 L/s) se aproximou da apresentada na ficha técnica do reservatório. Por fim, sabe-se que o corpo hídrico está localizado numa área de grande densidade de reservatórios, e que tanto o município de Maranguape, quanto os municípios lindeiros, são abastecidos por um sistema hídrico mais seguro (sistema adutor Acarape que integra os reservatórios Acarape do Meio e Gavião), logo, a demanda atribuída ao açude Penedo decorre de um aproveitamento estratégico circunstancial, induzido pelos últimos anos de seca, com intuito de aproveitar ao máximo volumes hídricos úteis que ainda estejam disponíveis.



**ipece**

INSTITUTO  
DE FOMENTO  
E PESQUISA  
ECONÔMICA  
DO CEARÁ



**GOVERNO DO  
ESTADO DO CEARÁ**  
*Secretaria dos Recursos Hídricos*

Em relação ao reservatório Maranguapinho, ressalta-se o caráter de urgência do uso das suas águas para o abastecimento de parte do município de Maranguape, já que o mesmo é abastecido pelo sistema adutor Acarape (sistema que integra os reservatórios Acarape do Meio e Gavião) e ainda conta com projetos futuros de dois reservatórios, Maranguape I e Maranguape II, com capacidade aproximada de 5,5 hm<sup>3</sup> e 9,0 hm<sup>3</sup> respectivamente, integrados a um sistema que aduzirá cerca de 132,37 L/s para o município (SRH, 2017).

Para o reservatório Tijuquinha, localizado no município de Baturité e que barra o rio Aracoiaba, sua vazão regularizada com 99% de garantia é de aproximadamente 20,0 L/s, não garantindo completamente a demanda para abastecimento humano atribuída a ele (40,0 L/s). No entanto, Baturité também é abastecida pelo reservatório Aracoiaba (que oferta com 99% de garantia aproximadamente 2.636,74 L/s), que tem sua água aduzida até o município pelo sistema Aracoiaba-Baturité, cuja capacidade é de 133,6 L/s. Também nesse caso, medidas não estruturais, mormente voltadas à área de gestão hídrica, se mostram mais indicadas para contornar problemas de ordem conjuntural, conforme se apontará no relatório R16.

Situação semelhante acontece com o reservatório São Domingos II, sua vazão regularizada com 99% de garantia é de aproximadamente 14,2 L/s, não garantindo completamente a demanda para abastecimento humano atribuída a ele (31,8 L/s para o horizonte de 2030). Assim, serão propostas no produto denominado R16 (Plano de Ações: Estruturais e Não Estruturais) medidas estruturais que garantam essas demandas em períodos de falhas.

Já o reservatório Malcozinhado possui demandas humanas de aproximadamente 144,0 L/s, e regulariza aproximadamente 75,4 L/s, com 99% de garantia. Sabe-se que essa demanda, bem superior à vazão regularizada, deve-se as maximizações de aproveitamentos hídricos já comentadas. Segundo a Cogerh, o reservatório já chegou a contribuir com o abastecimento dos municípios Pindoretama, Cascavel e Beberibe. Todavia, Cascavel e Beberibe têm como principal manancial o rio Choró, que é perenizado pelo reservatório Pacajus (atualmente receptor da transposição de rio Jaguaribe e futuramente receptor da transposição do São Francisco – Eixo Norte). Ainda quanto às demandas projetadas para o Malcozinhado, segundo a SRH (2017), existe uma adutora projetada com captação direta no reservatório, cuja capacidade é de 41,2 L/s, para o município de Pindoretama, e outra a jusante, com captação no trecho perenizado pelo açude, de







**ipece**

INSTITUTO  
DE PESQUISA  
E FOMENTO  
ECONÔMICO  
DO CEARÁ



**GOVERNO DO  
ESTADO DO CEARÁ**  
*Secretaria dos Recursos Hídricos*

capacidade de 34,8 L/s, para o distrito de Caponga, dessa forma, dispondo de uma garantia hídrica em 99% do tempo.

Mais uma vez, enfatize-se também nesse caso do Malcozinhado, a pertinência de se adotar medidas não estruturais de gestão hídrica que compatibilizem e aproximem a operação real praticada nos reservatórios com aquela prescrita pelos modelos de planejamento. No reservatório Malcozinhado fica evidente que atribuir-lhe uma retirada de 144,0 L/s relativa à época (2012), quando o mesmo contava com elevado armazenamento, não significa que tal montante hídrico seja compatível com a curva de regularização calculada, muito menos que seja aconselhável transferir os problemas de desabastecimento afetos a outros mananciais para corpos hídricos que oferecem sustentabilidade sabidamente menor. Ao se retirar de um reservatório uma vazão maior do que aquele por ele oferecida com certa garantia, deve-se sempre ter em mente, na operação real do sistema, que o adicional indevidamente retirado se acumulará como déficit no período crítico.

A própria adoção da vazão retirada de 144,0 L/s, relativa ao ano de 2012, faz aportar à presente análise um problema conjuntural que, apenas na aparência, reveste-se como sendo estrutural. Afinal, qualquer modelo de planejamento que se pretenda realista deve partir do cômputo das ofertas hídricas associadas às garantias de interesse. Certamente foi como procedeu o Governo do Ceará em relação ao projeto das duas adutoras citadas anteriormente, que partem do reservatório Malcozinhado. Observe-se, mais uma vez, que a soma de suas capacidades hidráulicas é praticamente igual à vazão regularizada por esse manancial com uma garantia de 99%. Se por um lado, essa constatação atesta a eficiência e o acerto dos planejadores estatais, por outro lado demonstra que não eram demandas prioritárias (abastecimento humano) aquelas atendidas quando, em 2012, permitiu-se a retirada de quase o dobro da vazão projetada para atendimento das cidades em 2030. Uma vez mais, deparamo-nos com a situação já bem tipificada quando envolve o uso da água de mananciais capazes de garantir o abastecimento humano, mas que, em época de relativa abundância de armazenamento, têm suas águas alocadas para atividades como, por exemplo, a irrigação praticada em propriedades privadas marginais, cujo retorno econômico para o Estado como um todo carece de um estudo que o aquilate dessa perspectiva de maximização dos benefícios para o maior número de pessoas.

Da mesma forma que os reservatórios previamente comentados, o reservatório Bonito, embora não regularize nenhuma vazão com 99% de garantia, tem sua demanda garantida por



incremento aduzido pelo sistema Ipu (que consiste de adutora de aproximadamente 26 km e 4 Estações Elevatórias). Essa adutora com capacidade de 70,4 L/s capta água no reservatório Araras, que tem uma vazão regularizada em 99% do tempo de 7.653,9 L/s. Realidade essa que evidencia a impertinência de medidas estruturais.

A seguir, nas Tabelas 8, 9 e 10, são apresentadas as vazões regularizadas com e sem condição de alerta para os reservatórios que se enquadraram no Nível 1 de criticidade.

Tabela 8 - Vazões regularizadas com e sem condição de volume de alerta para reservatórios enquadrados no Nível I – Bacias Metropolitanas

Garantia sem condição de alerta	Reservatórios									
	Macacos		Tijuquinha		Penedo		Maranguapinho		Malcozinhado	
	Vazão (L/s)		Vazão (L/s)		Vazão (L/s)		Vazão (L/s)		Vazão (L/s)	
g 70%	26,1		51,1		37,7		472,0		230,6	
g 80%	16,7		40,4		26,0		384,7		175,4	
g 90%	7,2		30,8		18,1		291,7		138,6	
g 95%	2,3		25,8		13,7		236,7		109,9	
g 99%	-		20,0		9,4		191,6		75,4	
Garantia com condição de alerta	Vazão (L/s)	*Vol. de alerta	Vazão (L/s)	*Vol. de alerta	Vazão (L/s)	*Vol. de alerta	Vazão (L/s)	*Vol. de alerta	Vazão (L/s)	*Vol. de alerta
g 98,50,2 %	-	-	18,3	35,9%	9,2	54,8%	169,5	35,0%	79,2	41,7%
g 95,50,5 %	-	-	19,5	45,4%	10,5	58,4%	189,7	40,2%	86,2	51,4%
g 95,40,5 %	-	-	18,2	49,6%	9,7	59,9%	180,2	43,9%	79,7	53,8%
g 95,20,5 %	-	-	17,1	55,0%	9,0	63,8%	164,2	53,3%	69,2	60,6%
g 90,50,10 %	-	-	20,1	56,9%	11,8	67,2%	205,3	48,9%	94,9	62,3%
g 90,40,10 %	-	-	19,2	58,6%	10,9	68,7%	191,4	52,1%	87,6	64,2%
g 90,20,10 %	-	-	17,3	66,2%	9,4	73,8%	169,6	59,0%	72,7	71,8%

Fonte: Nippon Koei Lac (2017).

Nota: \* percentual da capacidade máxima de armazenamento do reservatório; “-“ não regularizaram vazão para as condições.

Tabela 9 - Vazões regularizadas com e sem condição de volume de alerta para reservatórios enquadrados no Nível I – Bacia do Acaraú

Garantia sem condição de alerta	Reservatórios					
	Bonito		Carão		Carmina	
	Vazão (L/s)		Vazão (L/s)		Vazão (L/s)	
g 70%	44,5		9,2		31,7	
g 80%	26,0		6,4		15,4	
g 90%	7,7		2,8		5,1	
g 95%	-		0,8		1,1	
g 99%	-		-		-	
Garantia com condição de alerta	Vazão (L/s)	*Vol. de alerta	Vazão (L/s)	*Vol. de alerta	Vazão (L/s)	*Vol. de alerta
g 98,50,2 %	-	-	-	-	-	-
g 95,50,5 %	-	-	-	-	-	-
g 95,40,5 %	-	-	-	-	-	-
g 95,20,5 %	-	-	-	-	-	-
g 90,50,10 %	-	-	-	-	-	-
g 90,40,10 %	-	-	-	-	-	-
g 90,20,10 %	-	-	-	-	-	-

Fonte: Nippon Koei Lac (2017).

Nota: \* percentual da capacidade máxima de armazenamento do reservatório; “-“ não regularizaram vazão para as condições.

Tabela 10 - Vazões regularizadas com e sem condição de volume de alerta para reservatórios enquadrados no Nível I - Sub-Bacia do Salgado

Garantia sem condição de alerta	Reservatório	
	São Domingos II	
	Vazão (L/s)	
g 70%	26,6	
g 80%	22,3	
g 90%	18,9	
g 95%	16,8	
g 99%	14,2	
Garantia com condição de alerta	Vazão (L/s)	*Vol. de alerta
g 98,50,2 %	14,3	7,2%
g 95,50,5 %	15,3	11,8%
g 95,40,5 %	14,8	16,0%
g 95,20,5 %	14,1	24,2%
g 90,50,10 %	16,2	24,3%
g 90,40,10 %	15,5	28,1%
g 90,20,10 %	14,4	36,2%

Fonte: Nippon Koei Lac (2017).

Nota: \* percentual da capacidade máxima de armazenamento do reservatório.

#### 4.3. Estudos anteriores: Comparando vazões regularizadas

Neste tópico, como solicitado pela contratante (Cogerh), será realizado para reservatórios considerados importantes na RMF um comparativo entre as vazões regularizadas obtidas pelas séries pseudo-históricas das vazões afluentes advindas dos estudos que a Cogerh convenciou com a UFC (COGERH-UFC, 2013) e os seguintes estudos anteriores disponíveis: “Projeto de Transposição de Águas do Rio São Francisco para o Nordeste Setentrional – Estudos de Inserção Regional – Relatório Geral – Tomo I” (BRASIL, 2000) e “Consolidação da Política e dos Programas de Recursos Hídricos do Estado do Ceará – Atualização do Plano Estadual de Recursos Hídricos” (SRH, 2005).

Para a realização de uma comparação dessa natureza, faz-se de primordial importância ressaltar os limites aos quais estão submetidas as análises e conclusões. Tais limites dizem respeito principalmente a dois aspectos:

- a) O período coberto pelas séries pseudo-históricas empregadas nas simulações e;
- b) A metodologia empregada nos estudos considerados, mormente o tipo de modelo chuva-vazão adotado na reprodução matemática da relação entre a chuva média e a vazão no intervalo de discretização considerado.

A mais relevante consequência da observância desses aspectos é que as conclusões acerca da existência de hierarquias de consistência que qualifiquem os resultados contidos em qualquer dos estudos somente tem importância em casos específicos e nunca dispensam a incidência de subjetividades, mesmo porque não há nenhum referencial absoluto objetivo de julgamento da consistência dos valores apresentados para a vazão regularizada de cada reservatório de interesse no estudo atual e nos anteriores.

O presente estudo de regularização de vazões observou rigorosamente o conteúdo dos Termos de Referência ao adotar as séries de vazão pseudo-históricas fornecidas pela própria contratante que, por sua vez, as obteve mediante estudos convenciados com a Universidade Federal do Ceará – UFC. Os estudos desenvolvidos pela UFC consistiram na calibração em nível mensal do modelo chuva-vazão SMAP para diversos postos fluviométricos de bacias cearenses, na posterior regionalização dos parâmetros calibrados tidos como mais influentes e na subsequente

geração das séries de vazão pseudo-históricas para dezenas de reservatórios localizados no estado do Ceará.

Em termos metodológicos, os estudos de regularização de vazão realizados à época do desenvolvimento do projeto da Transposição do Rio São Francisco, assim como a atualização do Plano Estadual de Recursos Hídricos do Ceará fizeram uso do modelo chuva-vazão MODHAC (Modelo Hidrológico Autocalibrável), com passo de cálculo diário e apresentação de resultados em nível mensal. Ressalte-se que, nesse caso, a geração de vazões pseudo-históricas não foi realizada com base em regionalização de parâmetros calibrados, mas sim por traslado de parâmetros dos postos calibrados e validados para às seções fluviais de interesse em cada um desses estudos.

O primeiro dos relatórios anteriores disponíveis, conforme acima referido, diz respeito aos Estudos de Inserção Regional do projeto atualmente denominado PISF (Projeto de Integração do São Francisco com o Nordeste Setentrional), mais conhecido como Transposição do Rio São Francisco. Esses estudos foram concluídos em 2000 e, no caso das bacias cearenses, considerou no cálculo das vazões regularizadas séries temporais transcorridas a partir das primeiras décadas do século XX (as mais antigas), estendendo-se até o ano de 1996. Portanto, no que diz respeito ao aspecto acima arrolado (subitem a), identifica-se aqui uma desvantagem relativa no uso desses estudos uma vez que sua abrangência em termos de extensão das séries temporais, ao contrário dos estudos atuais, deixa de fora quase metade da década de 1990, período no qual ocorreu uma das maiores secas do Nordeste (1997-1999) e, igualmente, deixa de fora mais de uma década do século XXI, uma vez que, nos presentes estudos, as séries geradas alcançam o ano de 2012.

Com a integração entre a bacia hidrográfica do rio Jaguaribe e as Bacias Metropolitanas, o reservatório Castanhão passou a ser, ao Eixo Norte da Transposição, a mais importante fonte hídrica para atendimento da Região Metropolitana de Fortaleza (RMF). Nos Estudos de Inserção Regional do PISF, esse manancial, por ser receptor das águas transpostas, foi considerado para o cálculo de suas vazões regularizadas. À época de desenvolvimento daqueles estudos (final da década de 1990), o Castanhão sequer contava com seu sistema de comportas que elevaram sua capacidade de 4,45 bilhões de m<sup>3</sup> para os atuais 6,7 bilhões de m<sup>3</sup>. Para fins de cálculo da vazão regularizada foi considerado um volume máximo de 4,45 bilhões de m<sup>3</sup>. De maneira que sua vazão regularizada com 90% de garantia foi calculada como sendo Q<sub>90</sub> de 21,75 m<sup>3</sup>/s. Já para a garantia



**ipece**

INSTITUTO DE PESQUISA E ESTUDOS ECONÔMICOS DO CEARÁ



**GOVERNO DO  
ESTADO DO CEARÁ**  
*Secretaria dos Recursos Hídricos*

de 99%, o valor encontrado foi  $Q_{99}$  de 17,78 m<sup>3</sup>/s. Nota-se que essa vazão regularizada com 99% de garantia é mais do que suficiente para o atendimento da RMF.

Como se sabe, o reservatório de Castanhão não integra o grupo do 52 reservatórios objeto do presente contrato. Sua vazão regularizada com 99% de garantia, conforme o Atlas da Secretaria de Recursos Hídricos do Estado do Ceará (SRH, 2017) é de  $Q_{99} = 29,0$  m<sup>3</sup>/s. Já no relatório de atualização do Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Ceará (SRH-2005), consta para a garantia de 90% uma vazão de  $Q_{90} = 30,21$  m<sup>3</sup>/s.

Em relação a essa fonte de suprimento hídrico da RMF, observe-se por fim que, mesmo se fazendo uso dos resultados advindos dos estudos de Inserção Regional do PISF, há disponibilidade de sobra para o atendimento da demanda mencionada. Isso, sem contar com a entrada em operação do Eixo Norte do PISF, prevista pelo Governo Federal para ter início no corrente ano (2018).

Concernente aos demais reservatórios construídos nas Bacias Metropolitanas, objetos do presente contrato, há informações anteriores sobre vazões regularizadas para aqueles mostrados na Tabela 11, onde essas informações são apresentadas juntamente com as respectivas capacidades de armazenamento utilizadas em cada estudo.

Conforme se vê na referida tabela, apenas no caso de três reservatórios, a saber: Castro, Gavião e Pacajus, as vazões regularizadas obtidas para as garantias de 90% e 99% no PLANERH (SRH, 2005) são inferiores às suas correspondentes obtidas no presente estudo. No caso do reservatório Pacajus, mesmo se considerando o valor encontrado no PLANERH, não advém daí qualquer vulnerabilidade quantitativa, dado que o valor da regularização contido nesse corpo hídrico, supera bastante as demandas fornecidas pela Cogeh.

Já no caso do açude Gavião, o valor contido no PLANERH é cerca de 60 L/s inferior ao obtido nos presentes estudos. Ocorre que, sendo o Gavião uma obra hidráulica receptora das transferências da Bacia do Jaguaribe e, brevemente, da Transposição do São Francisco, não há qualquer sombra de vulnerabilidade que possa advir dessa pequena diferença entre os valores encontrados em um e outro estudos.

Finalmente, no caso do reservatório Castro, a pequena monta das demandas fornecidas pela Cogeh indica que a vazão regularizada calculada pelo PLANERH, inferior àquela obtida no presente estudo, atende sem gerar vulnerabilidades as projeções realizadas para 2030.





**IPECE**

INSTITUTO  
DE PLANEJAMENTO  
E ESTATÍSTICA  
ECONÔMICA  
DO CEARÁ



**GOVERNO DO  
ESTADO DO CEARÁ**  
Secretaria dos Recursos Hídricos

Tabela 11 - Comparativo das vazões regularizadas dos reservatórios e suas respectivas capacidades de armazenamento utilizadas em cada estudo

Reservatórios	Volume máx. (m <sup>3</sup> ) <sup>I</sup>	Calculadas		Volume máx. (m <sup>3</sup> ) <sup>II</sup>	PLANERH <sup>I</sup> (2005)
		g 90%	g 99%		g 90%
Acarape do Meio	29593388,0	740,3	561,9	31500000,0	1420,0
Amanary	11010000,0	194,1	92,9	11010000,0	170,0
Aracoiaba	162000000,0	3906,3	2636,7	170700000,0	2700,0
Batente	33510000,0	227,3	96,0	52700000,0	370,0
Castro	62310000,0	2023,6	1014,2	63900000,0	610,0
Catucinzenta	24900000,0	187,2	138,9	27130000,0	210,0
Cauhipe	12000000,0	162,8	76,0	12000000,0	210,0
Gavião	33300000,0	479,3	321,2	32900000,0	260,0
Malcozinhado	36550000,0	138,6	75,4	37840000,0	490,0
Pacajus	232000000,0	6852,8	4685,1	240000000,0	3280,0
Pacoti - Riachão	427916512,0	5606,2	3646,2	429950000,0	5400,0
Pompeu Sobrinho	143000000,0	2187,4	948,3	143000000,0	400,0
Sítios Novos	126000000,0	1974,8	1063,4	126000000,0	1700,0

Fonte: Cogerh (2017); Nippon Koei Lac (2017); SRH (2005); Brasil (2000).

Nota: <sup>I</sup> capacidade de armazenamento dos reservatórios para cálculos das vazões regularizadas deste trabalho; <sup>II</sup> capacidade de armazenamento dos reservatórios para cálculos das vazões regularizadas apresentadas no PLANERH; <sup>1</sup> Consolidação da Política e dos Programas de Recursos Hídricos do Estado do Ceará – Atualização do Plano Estadual de Recursos Hídricos.







**ipece**

INSTITUTO  
DE PESQUISA  
E GESTÃO  
ECONÔMICA  
DO CEARÁ



**GOVERNO DO  
ESTADO DO CEARÁ**  
*Secretaria dos Recursos Hídricos*

## 5. VULNERABILIDADES QUALITATIVAS





## 5. VULNERABILIDADES QUALITATIVAS

A abordagem de aspectos qualitativos da segurança hídrica parte do pressuposto que eventuais desconformidades na qualidade da água podem impossibilitar seu uso para determinados usuários ou impor elevados custos para seu aproveitamento.

Num reservatório, grande parte dos processos bioquímicos que ocorrem se enquadram no que se denomina fenômenos irreversíveis, como é o caso do fenômeno de anaerobiose, onde toda uma fauna e flora microbiana aeróbica é substituída por organismos anaeróbicos, não sendo possível, a curto prazo, reconstruir o ambiente aeróbico perdido, mesmo dispondo novamente de oxigênio dissolvido.

Assim, é relevante salientar que as perdas de atributo em matéria de qualidade da água podem representar restrições que perdurem durante longos períodos após ter ocorrido o evento que alterou inicialmente as condições de qualidade da água.

Por outro lado, dois fenômenos relevantes em matéria de segurança hídrica são de lento e muitas vezes irrecuperável avanço. Tratam-se dos processos de (i) salinização, onde as características do corpo d'água fazem com que exista uma tendência à concentração de sais dissolvidos e o processo de (ii) eutrofização, onde a disponibilidade de nutrientes (fósforo e nitrogênio) vai crescendo progressivamente e uma série de fenômenos de sucessão de algas unicelulares com predisposição diferenciada ao desenvolvimento, segundo a disponibilidade de nutrientes, leva à impossibilidade de utilização de grandes corpos d'água pela incapacidade de tratar seus elevados teores de matéria orgânica.

Os três problemas citados acima (i) anaerobiose, (ii) salinização e (iii) eutrofização, acrescidos do que denominaremos (iv) contaminação por acidentes, são os principais fenômenos que devem ser monitorados e as causas dos problemas mais frequentes de qualidade que afetam a segurança hídrica. A seguir se descrevem condições propícias para a ocorrência de cada um dos processos mencionados, a saber:

- (i) A anaerobiose pode acontecer por vários fatores convergentes, a ocorrência mais usual é associada à estratificação térmica e bloqueio da difusão de oxigênio em profundidade. Este fenômeno leva à ocorrência de hipolimnion anaeróbicos com restrições para seu uso, acarretando problemas de tratamento d'água, sobretudo pelo excesso de ferro e inclusive

- eventuais acidentes explosivos pela acumulação de metano em salas de bombas. Eventualmente a anaerobiose pode atingir todo o corpo d'água, comprometendo a fauna e flora do reservatório. Esse processo pode ser acelerado por escoamento de águas ricas em matéria orgânica provenientes de esgotos não tratados ou resíduos urbanos;
- (ii) A salinização é um fenômeno natural que ocorre como consequência do elevado tempo de residência da água em alguns açudes. A longa permanência das águas nesses açudes faz com que as retiradas e a evaporação favoreçam a concentração de sais. Reservatórios mal operados (sem retiradas de vazões) ou superdimensionados (sem vertimentos regulares) podem ter tendências inevitáveis à salinização. As consequências são normalmente irreversíveis e devem ser adotadas medidas preventivas e de longo prazo, mudando basicamente o balanço hídrico do reservatório. Algumas regiões de tipo endorreicas ou com aluviões ricos em xistos apresentam predisposição natural a estes processos, tornando-os irreversíveis (MOLINAS, 1996);
- (iii) O processo de eutrofização de reservatórios é também um problema grave. Reservatórios em estado eutrófico, mesmo apresentando condições de potabilidade aceitáveis, se tornam instáveis e susceptíveis a florações de algas que podem inviabilizar seu consumo durante longo períodos;
- (iv) As contaminações por acidentes são eventos de difícil controle, para os quais só se podem definir normas de segurança e isolamento dos mananciais que afastem, na medida do possível, os riscos deste tipo de contaminação. Esta contaminação é associada a derramamentos de produtos contaminantes nos corpos d'água afluentes ou no próprio açude, em decorrência de sinistros em veículos que transportam cargas perigosas, como derivados de petróleo ou acidentes em distritos industriais, postos de gasolina ou dutos de produtos perigosos que podem vir a escoar diretamente para os corpos d'água, dentre outros fatores.

Ainda que a Resolução Conama nº 357/2005 já seja bastante difundida, as diretrizes descritas a seguir servirão para elucidação da norma numa forma mais sintetizada. Será realizado um comparativo dos corpos hídricos em análise com as classes indicadas nessa resolução, embora o artigo 42 estabeleça que enquanto não aprovados os respectivos enquadramentos, o que é o caso para os reservatórios em estudo, as águas doces são consideradas Classe 2. O esquema básico de agrupamento para águas doces compreende os seguintes níveis ou categorias sistemáticas:

Classe 1 - Águas que podem ser destinadas:

- Ao abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado;
- À proteção das comunidades aquáticas;
- À recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução Conama nº 274, de 2000;
- À 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;
- À proteção das comunidades aquáticas em Terras Indígenas.

Classe 2 - Águas que podem ser destinadas:

- Ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional;
- À proteção das comunidades aquáticas;
- À recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução Conama nº 274, de 2000;
- À 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;
- À aquicultura e à atividade de pesca.

Classe 3 - Águas que podem ser destinadas:

- Ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado;
- À irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras;
- À pesca amadora;
- À recreação de contato secundário;
- À dessedentação de animais.

Classe 4 - Águas que podem ser destinadas:

- À navegação;
- À harmonia paisagística.

Para cada bacia e sub-bacia de estudo, elaborou-se tabelas que apresentam cenários futuros de concentração de fósforo para 4 premissas de produção (n). Para cada contexto de evolução de

certas atividades (piscicultura e pecuária), tem-se a previsão de um determinado comportamento desse nutriente, que influencia diretamente na qualidade da água dos reservatórios.

Na concepção dos cenários para o ano de 2020, considerou-se a o aumento da antropização em 1,5; 2; 2,5 e 3 vezes. O mesmo procedimento foi realizado na elaboração dos cenários para o ano de 2030. A título de exemplo, para um cenário em que a produtividade das atividades citadas dobre ( $n=2$ ), as cargas de fósforo oriundas desses processos são multiplicadas por 2.

Feita essa exposição de cunho genérico, foca-se nos subitens seguintes nas vulnerabilidades afetas aos reservatórios de interesse em cada uma das regiões hidrográficas consideradas.

## 5.1 Bacias Metropolitanas

Genericamente, nas Bacias Metropolitanas os problemas de segurança hídrica são, basicamente, associados aos problemas decorrentes dos processos de urbanização rápida e adensamento populacional.

Os açudes destas bacias, mesmo protegidos por suas áreas de preservação permanente (APP), sofrem sérias pressões urbanas em suas bacias de contribuição, o que torna a afluição de esgotos domésticos um dos principais problemas.

Embora em termos apenas potenciais, outro fator relevante, observado principalmente nas Bacias Metropolitanas, devido ao seu alto grau de urbanização e importância econômica, são as contaminações por acidentes em veículos que trafegam por rodovias contíguas a corpos d'água de alta importância estratégica, particularmente as rodovias federais.

A execução do modelo adotado para todas as bacias de interesse, conforme visto no Relatório Avaliação da Segurança Hídrica: Aspectos Qualitativos, um dos produtos do Plano de Segurança Hídrica, inicia-se com a simulação quantitativa (que é linearizada num processo iterativo), determinando os volumes ótimos alocados mês a mês. Com os volumes alocados ótimos encontrados (sem a preocupação dos componentes de qualidade da água), determinam-se as concentrações dos parâmetros analisados pelo modelo (DBO, OD, NT, FT, CTm e CLA) nos reservatórios e nos pontos de controle (nós) do sistema, que servirão como valor inicial do processo iterativo subsequente. Neste processo iterativo, onde todas as equações do balanço hídrico e do

balanço de massa estão linearizadas e integradas, alteram-se simultaneamente os volumes e as concentrações com a finalidade de satisfazer as restrições impostas e otimizar a função objetivo qualiquantitativa proposta mês a mês.

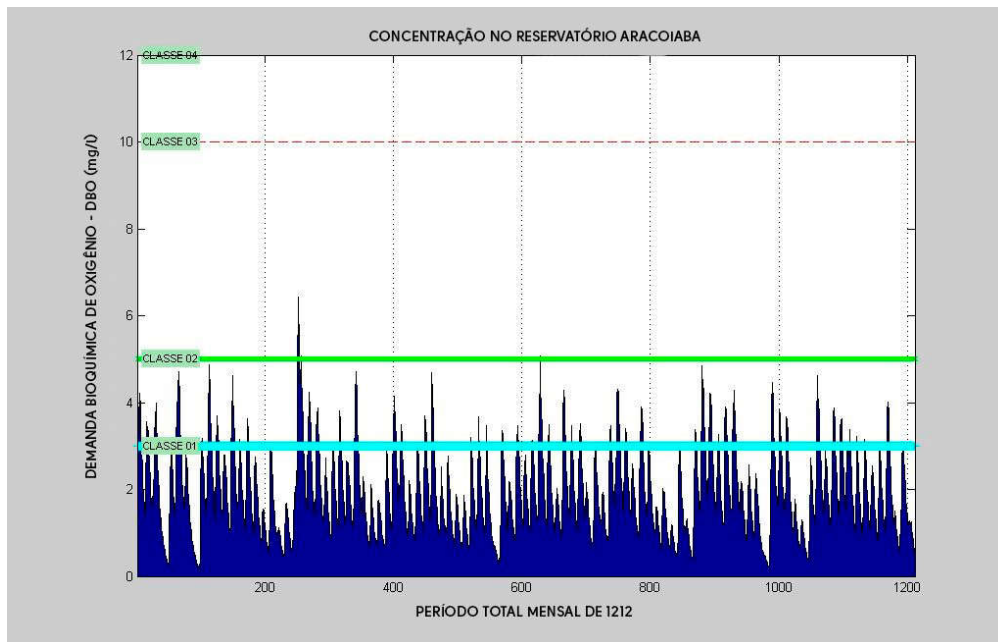
Com esse procedimento pode-se obter os resultados mostrados nas Figuras 9 a 38 para os reservatórios das Bacias Metropolitanas em estudo. O eixo y dos gráficos representa a concentração do parâmetro analisado e o eixo x corresponde a quantidade total de meses para a qual esse parâmetro foi simulado. Como exemplo, na Figura 9, a concentração da demanda bioquímica de oxigênio foi simulada por um período de 1212 meses, o que corresponde a 101 anos de dados de DBO simulados. As principais vulnerabilidades identificadas foram:

- À exceção do Aracoiaba e do Catucinzenta, todos os outros três reservatórios, com maior ou menor frequência ultrapassam o limite da Classe IV no que diz respeito à DBO;
- O Oxigênio Dissolvido não tem o limite da Classe IV ultrapassado pelos reservatórios Aracoiaba, Catucinzenta e Maranguapinho, sendo baixíssima essa frequência para o caso do Malcozinhado. Apenas o reservatório Gavião mostrou pouco mais de um quarto de permanência com suas águas na Classe IV;
- Todos os reservatórios dessa bacia apresentam vulnerabilidade quanto à presença excessiva de fósforo, sendo o Maranguapinho o caso mais grave, onde as águas armazenadas permanecem cerca de 90% do tempo com teores dessa substância (fósforo total) acima do limite da Classe IV. A situação mais branda ocorre em Catucinzenta, seguida de Aracoiaba e Gavião, todos com menos de um terço do tempo com águas na Classe IV no que diz respeito a esse parâmetro;
- Quanto aos níveis de nitrogênio total, cabe comentar que os reservatórios Aracoiaba, Catucinzenta, Maranguapinho e Malcozinhado, que atingem valores superiores a 1,27 mg/L e possam vir a ter essa variável como nutriente limitante de processos de eutrofização, podem vir a estar em condições vulneráveis, já que segundo a Resolução Conama nº 357/2005 para águas doces de Classes I e II, o valor de nitrogênio total não deverá ultrapassar 1,27 mg/L para ambientes lânticos.
- A clorofila a evidencia-se como vulnerabilidade ao atingir valores acima daquele referente à Classe IV para todos os reservatórios. Por ordem de gravidade do problema tem-se os reservatórios de Maranguapinho, Malcozinhado, Gavião, Aracoiaba e Catucinzenta, sendo

os dois primeiros nitidamente casos distintos dos três últimos, onde em termos de permanência das águas na Classe IV a frequência no caso do Catucinzenza chega a ser mais de quatro vezes menor do que aquela apresentada pelo Maranguapinho;

- Em termos de coliformes termotolerantes praticamente não há que se destacar vulnerabilidades por alcance do limite da Classe IV para nenhum dos reservatórios estudados, sendo observável que, à exceção do reservatório de Aracoiaba, onde em cerca de 16% do tempo o reservatório deixa a Classe I para enquadrar-se na Classe II, todos os demais preservam, em 100% do tempo, enquadramento na Classe I.

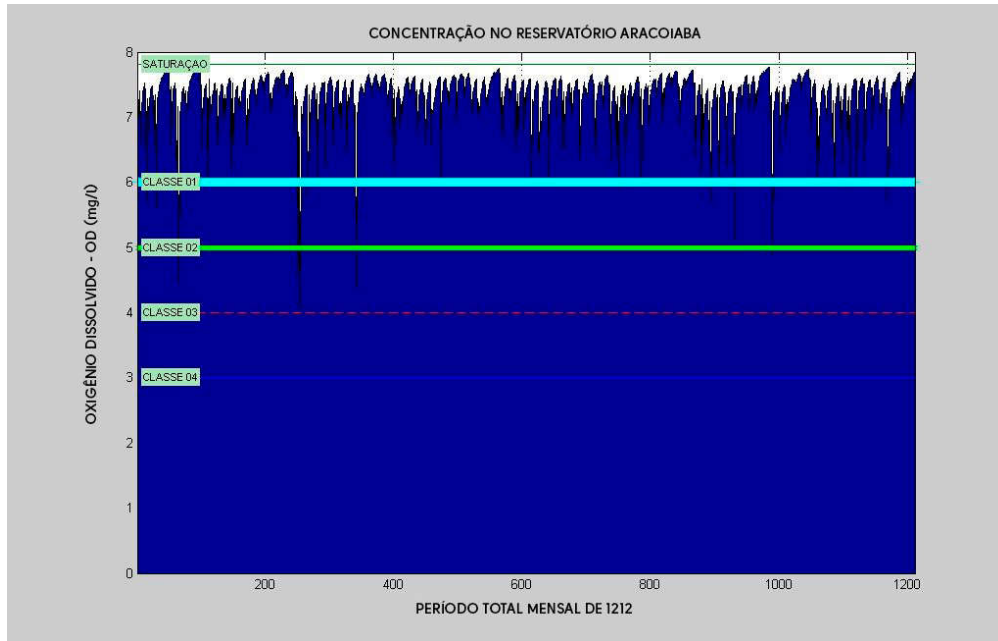
Figura 9 - Aracoiaba: DBO e classes de enquadramento



Fonte: Nippon Koei Lac (2017).

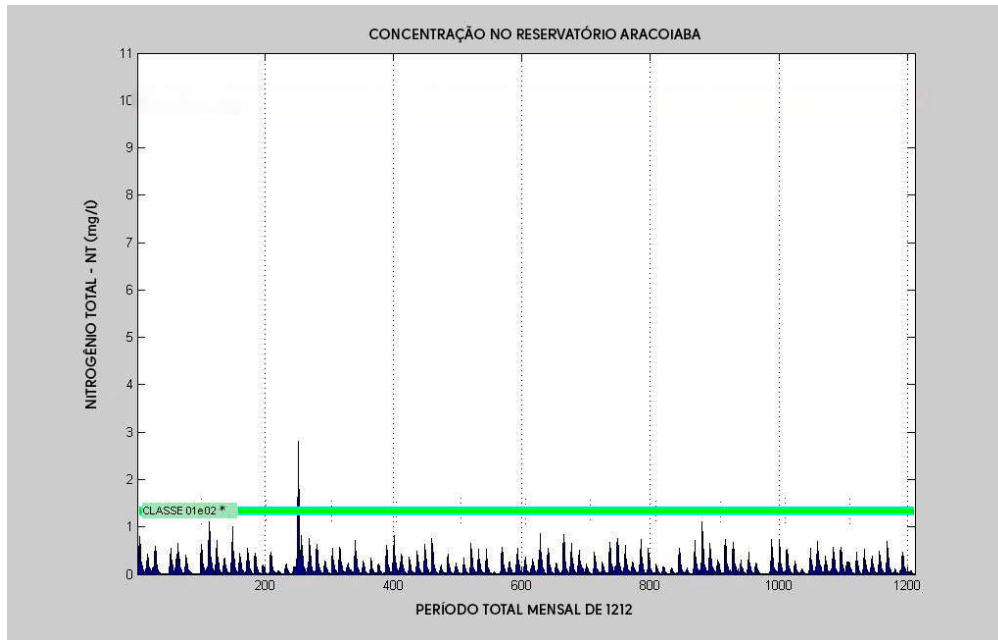


Figura 10 - Aracoiaba: OD e classes de enquadramento



Fonte: Nippon Koei Lac (2017).

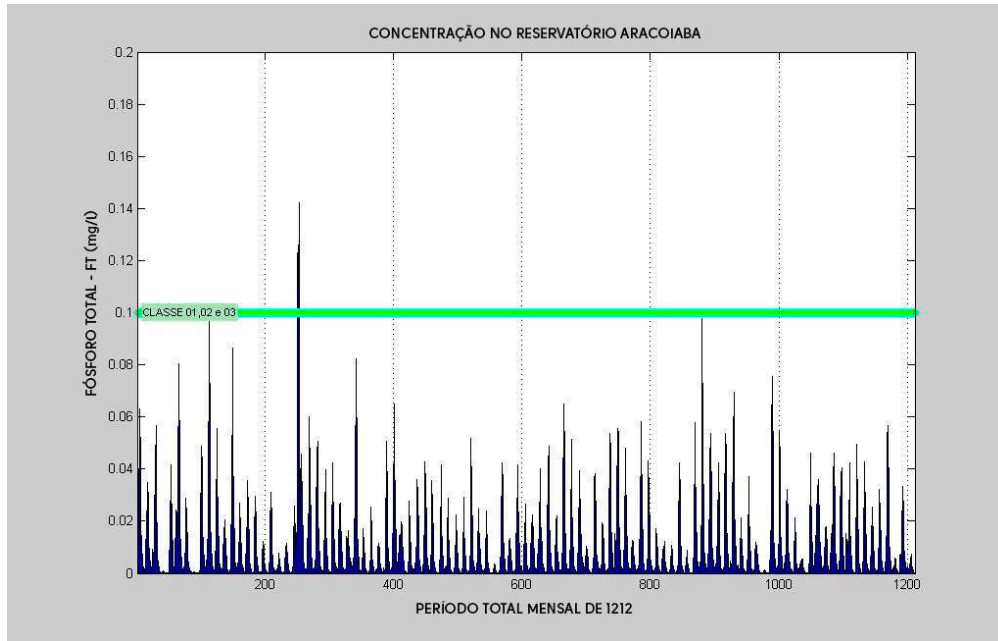
Figura 11 - Aracoiaba: Nitrogênio total e classes de enquadramento



Fonte: Nippon Koei Lac (2017).

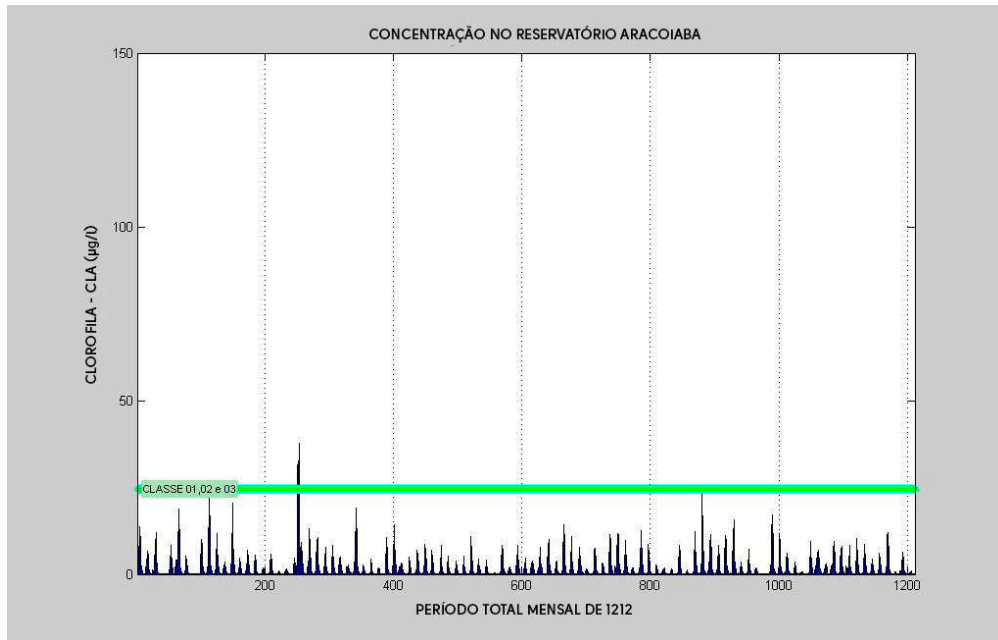
Nota: \* Resolução Conama nº 357/2005 determina que, para águas doces de Classes I e II, o valor de nitrogênio total não deverá ultrapassar 1,27 mg/L, caso seja limitante para eutrofização de ambientes lânticos.

Figura 12 - Aracoiaba: Fósforo total e classes de enquadramento



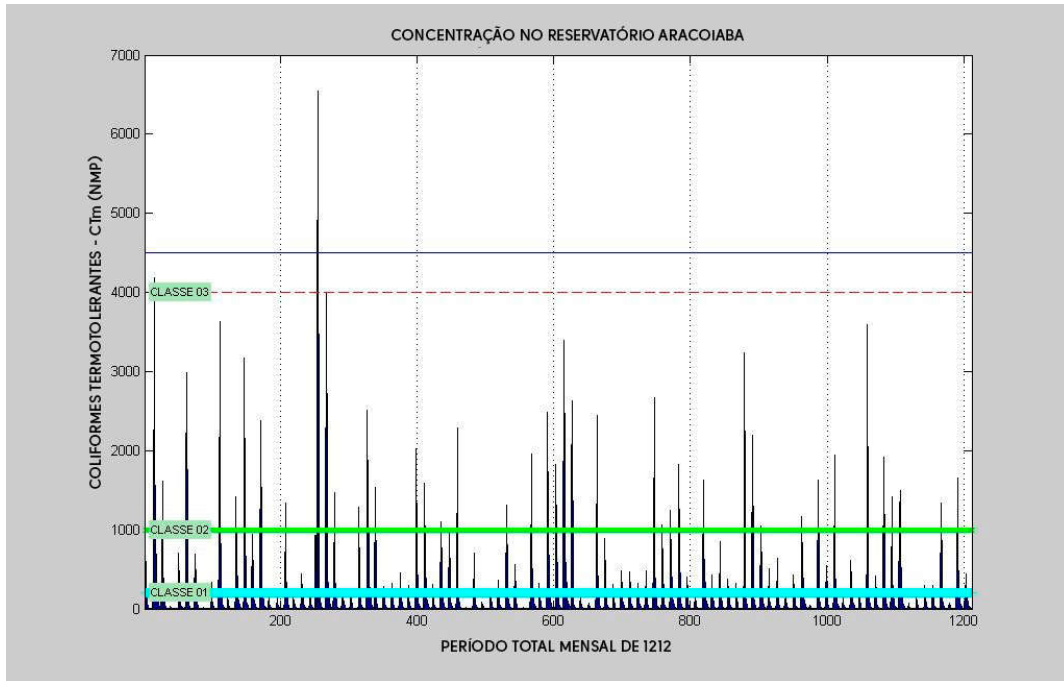
Fonte: Nippon Koei Lac (2017).

Figura 13 - Aracoiaba: Clorofila a e classes de enquadramento.



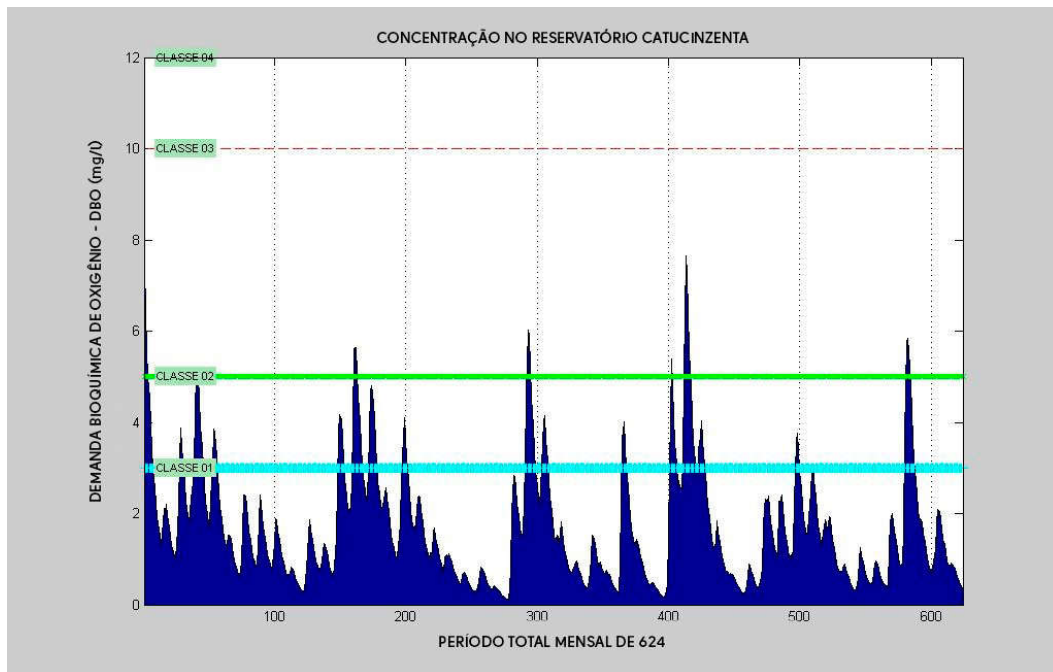
Fonte: Nippon Koei Lac (2017).

Figura 14 - Aracoiaba: Coliformes termotolerantes e classes de enquadramento



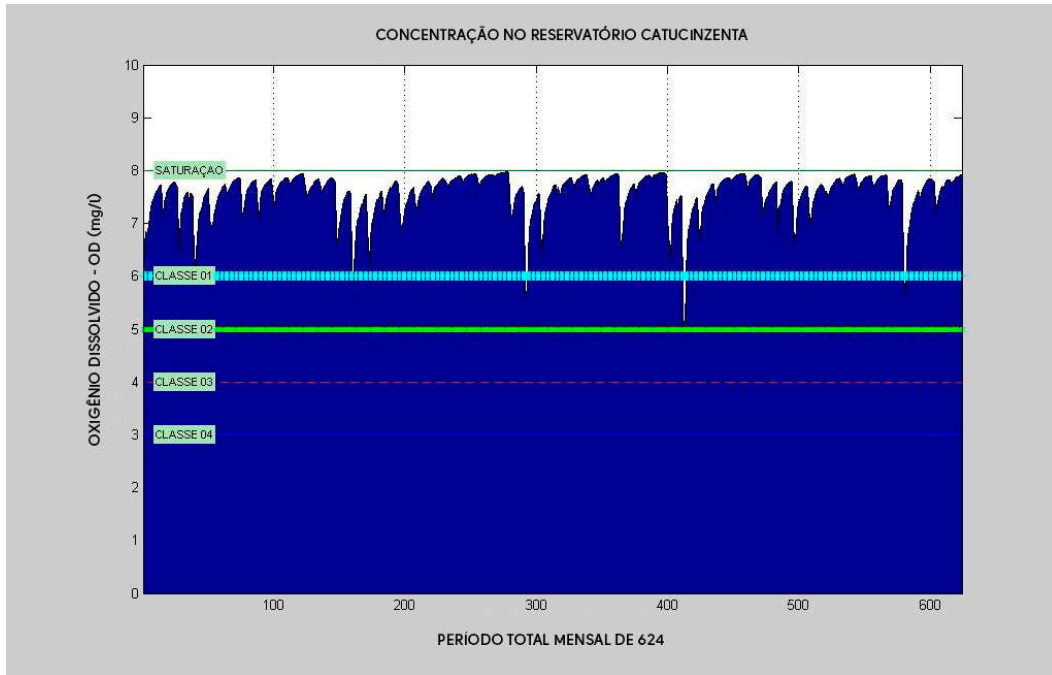
Fonte: Nippon Koei Lac (2017).

Figura 15 - Catucinzenta: DBO e classes de enquadramento.



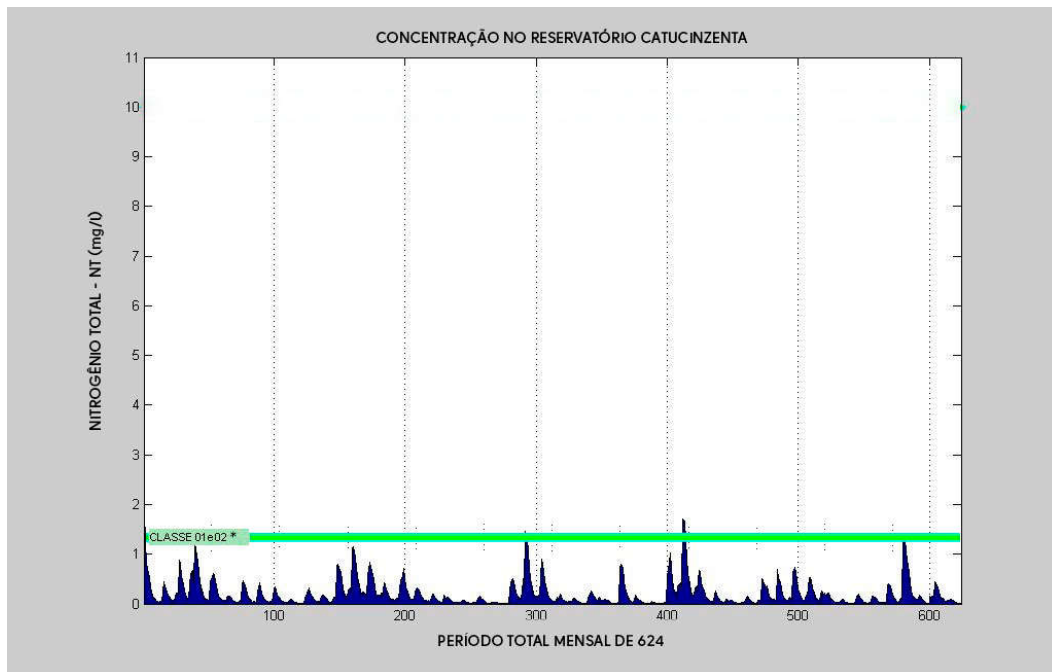
Fonte: Nippon Koei Lac (2017).

Figura 16 - Catucinzenta: OD e classes de enquadramento.



Fonte: Nippon Koei Lac (2017).

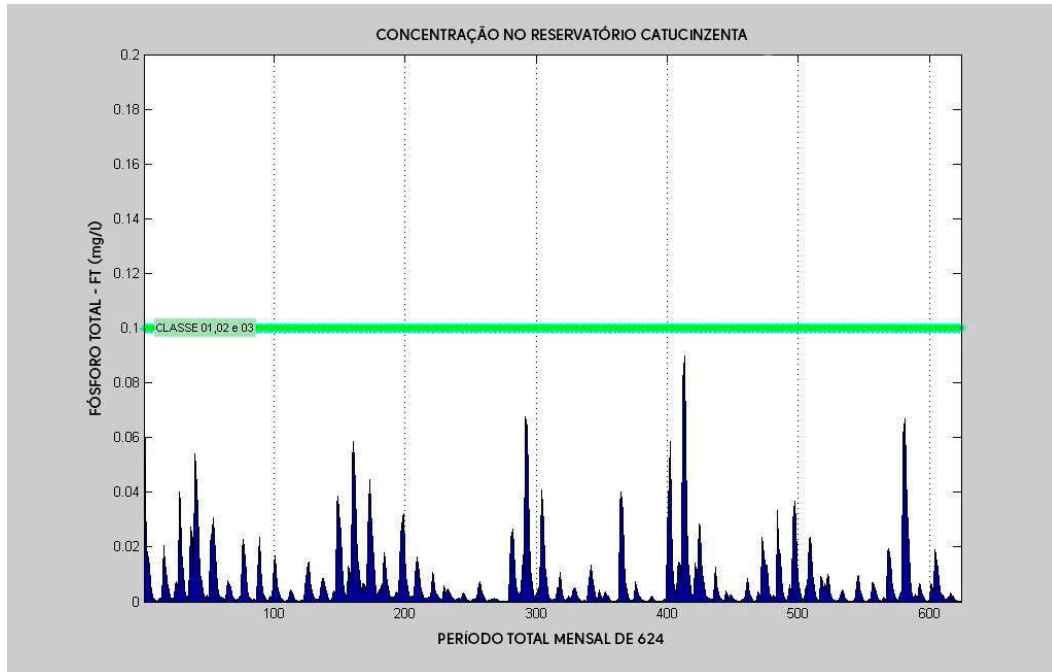
Figura 17 - Catucinzenta: Nitrogênio total e classes de enquadramento.



Fonte: Nippon Koei Lac (2017).

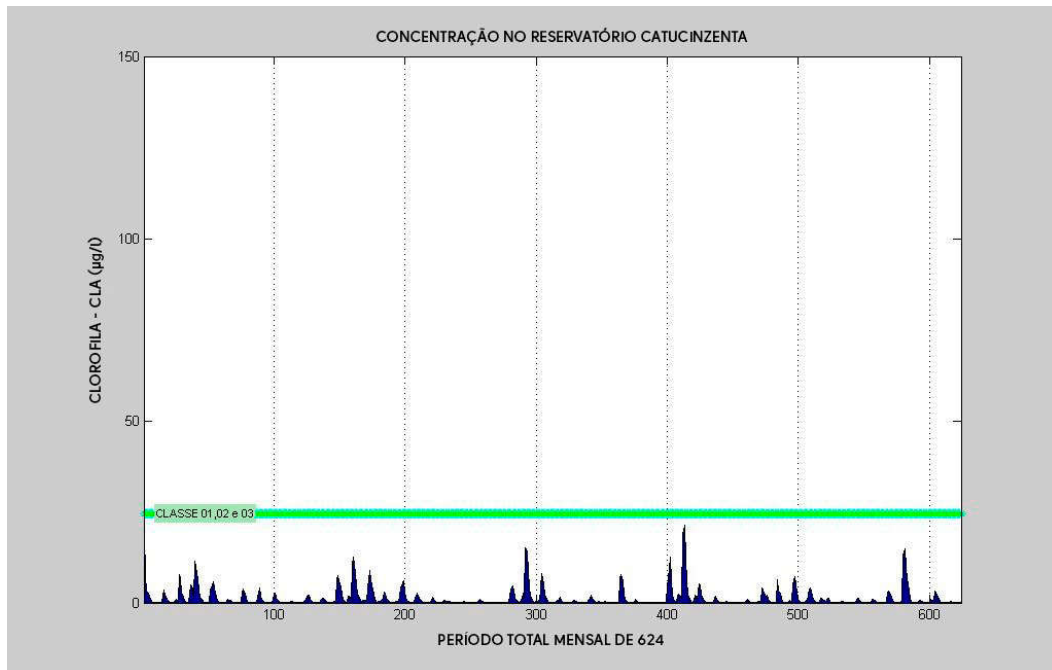
Nota: \* Resolução Conama nº 357/2005 determina que, para águas doces de Classes I e II, o valor de nitrogênio total não deverá ultrapassar 1,27 mg/L, caso seja limitante para eutrofização de ambientes lênticos.

Figura 18 - Catucinzenta: Fósforo total e classes de enquadramento.



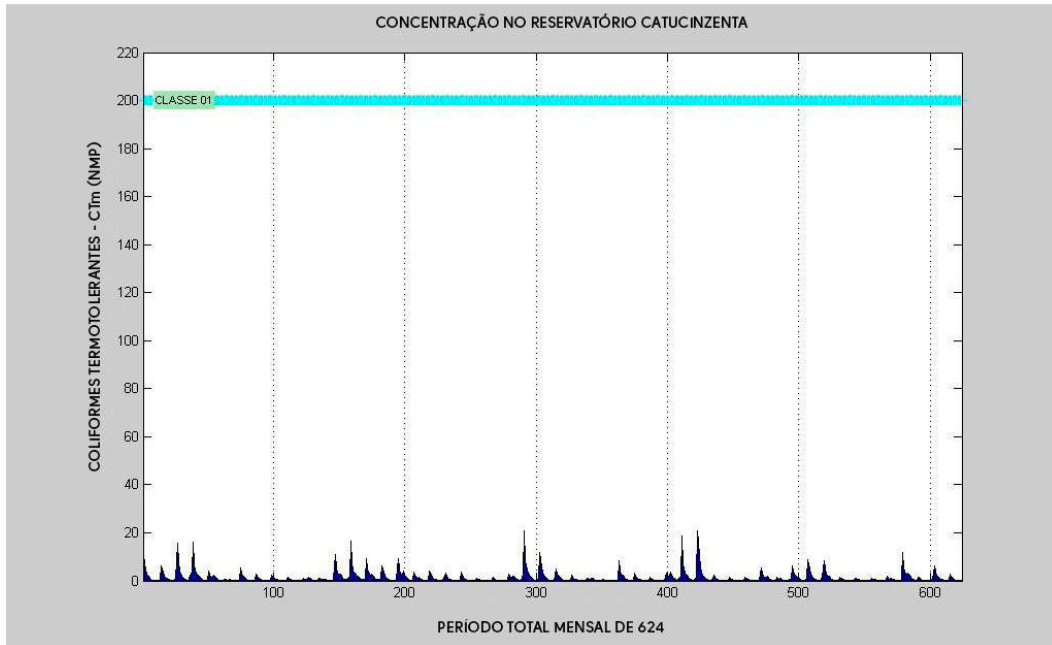
Fonte: Nippon Koei Lac (2017).

Figura 19 - Catucinzenta: Clorofila-a e classes de enquadramento.



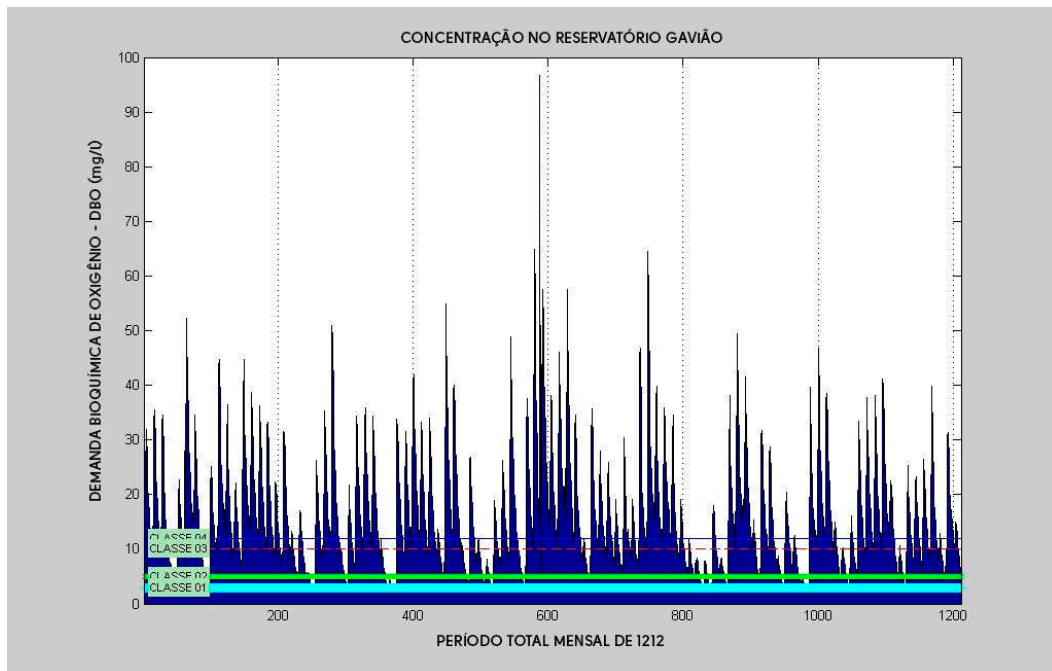
Fonte: Nippon Koei Lac (2017).

Figura 20 - Catucinzenta: Coliformes termotolerantes e classes de enquadramento.



Fonte: Nippon Koei Lac (2017).

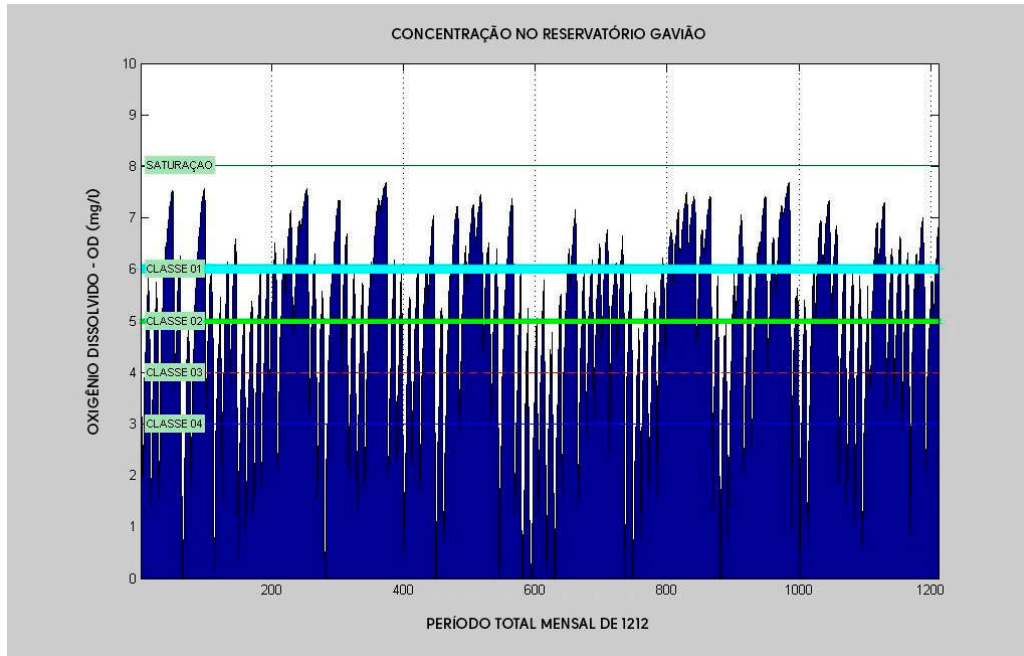
Figura 21 - Gavião: DBO e classes de enquadramento.



Fonte: Nippon Koei Lac (2017).

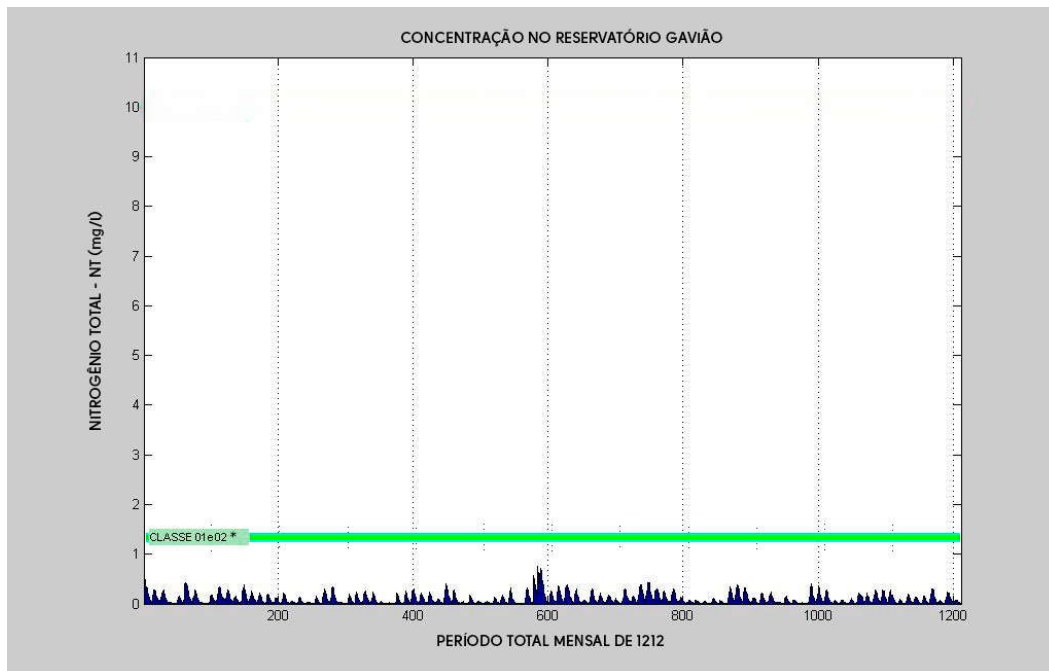


Figura 22 - Gavião: OD e classes de enquadramento.



Fonte: Nippon Koei Lac (2017).

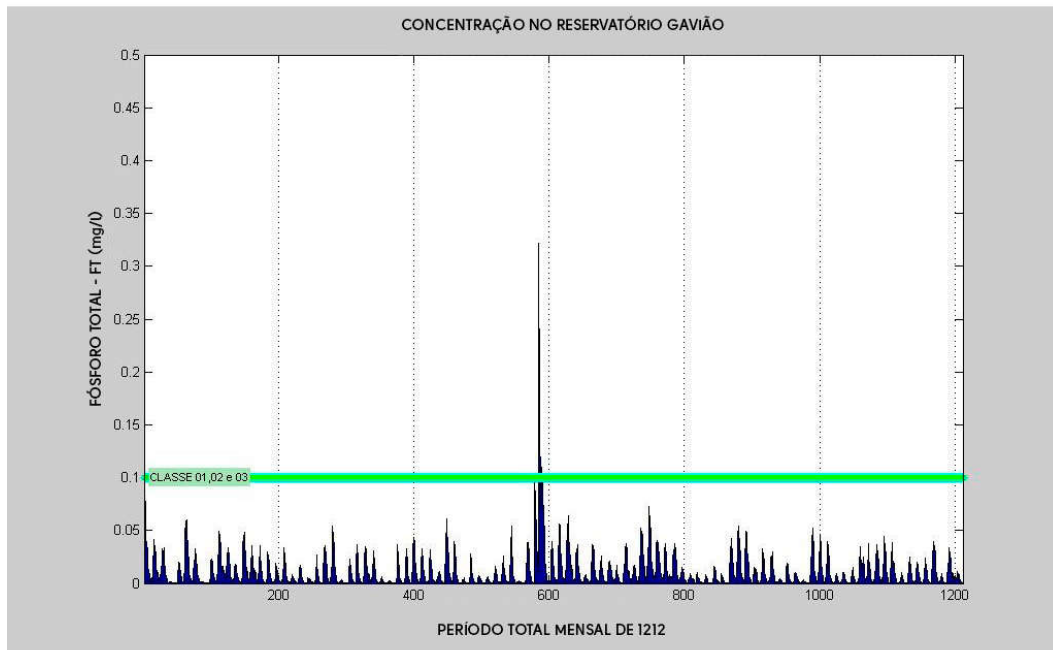
Figura 23 - Gavião: Nitrogênio total e classes de enquadramento.



Fonte: Nippon Koei Lac (2017).

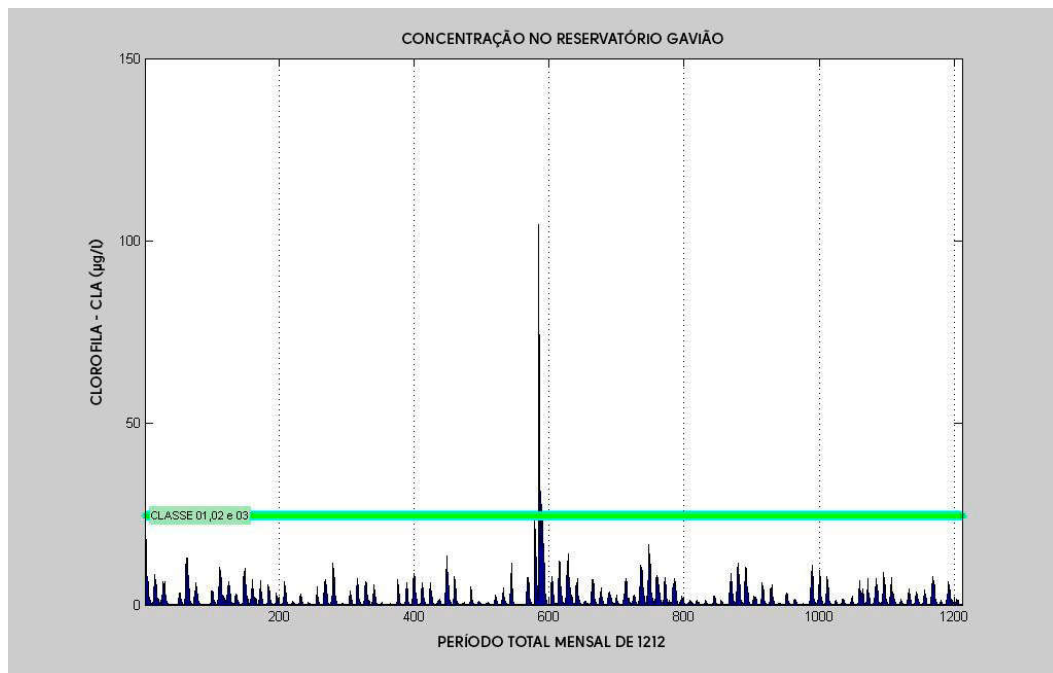
Nota: \* Resolução Conama n° 357/2005 determina que, para águas doces de Classes I e II, o valor de nitrogênio total não deverá ultrapassar 1,27 mg/L, caso seja limitante para eutrofização de ambientes lânticos.

Figura 24 - Gavião: Fósforo total e classes de enquadramento.



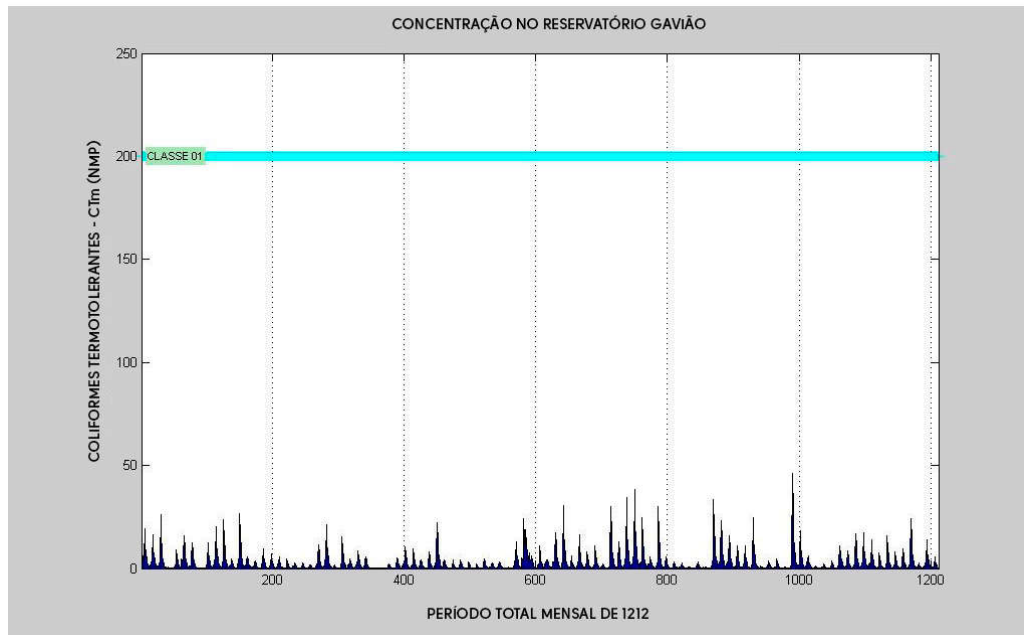
Fonte: Nippon Koei Lac (2017).

Figura 25 - Gavião: Clorofila-a e classes de enquadramento.



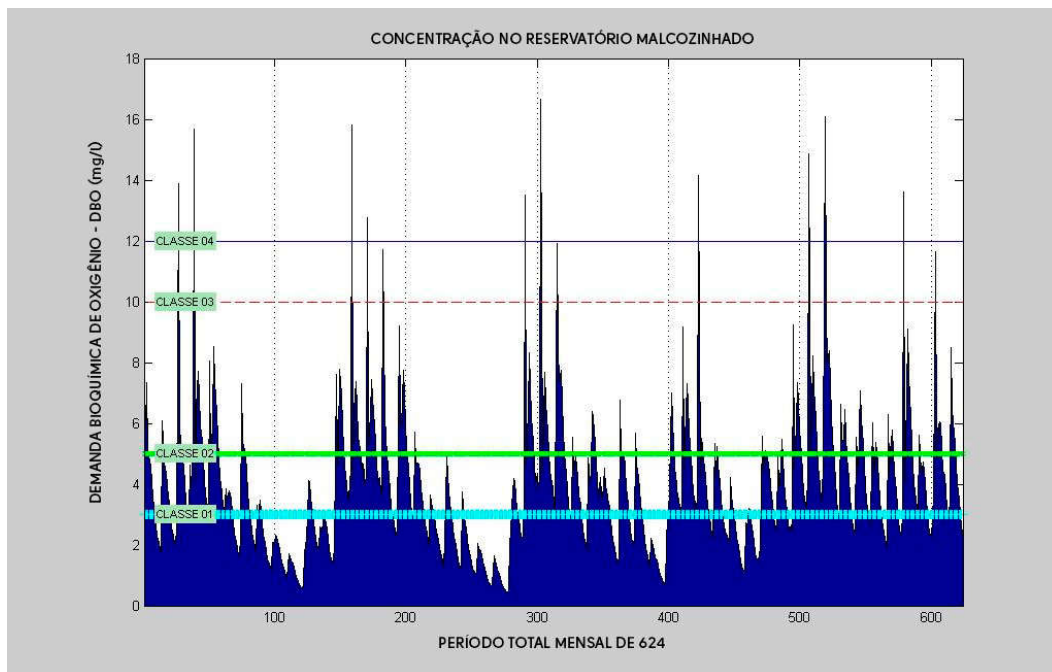
Fonte: Nippon Koei Lac (2017).

Figura 26 - Gavião: Coliformes termotolerantes e classes de enquadramento.



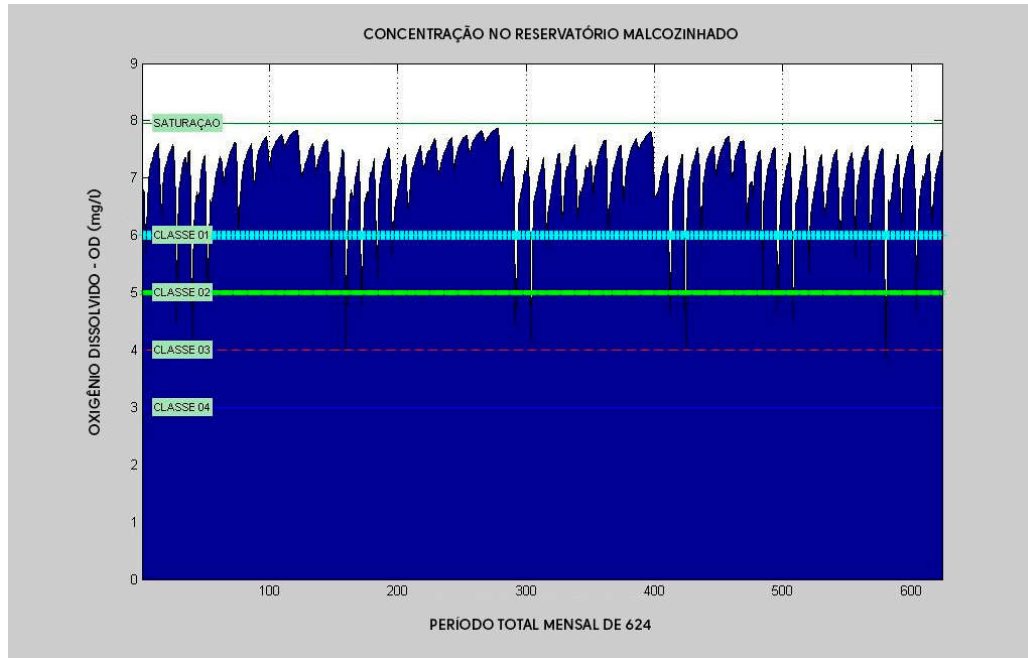
Fonte: Nippon Koei Lac (2017).

Figura 27 - Malcozinhado: DBO e classes de enquadramento.



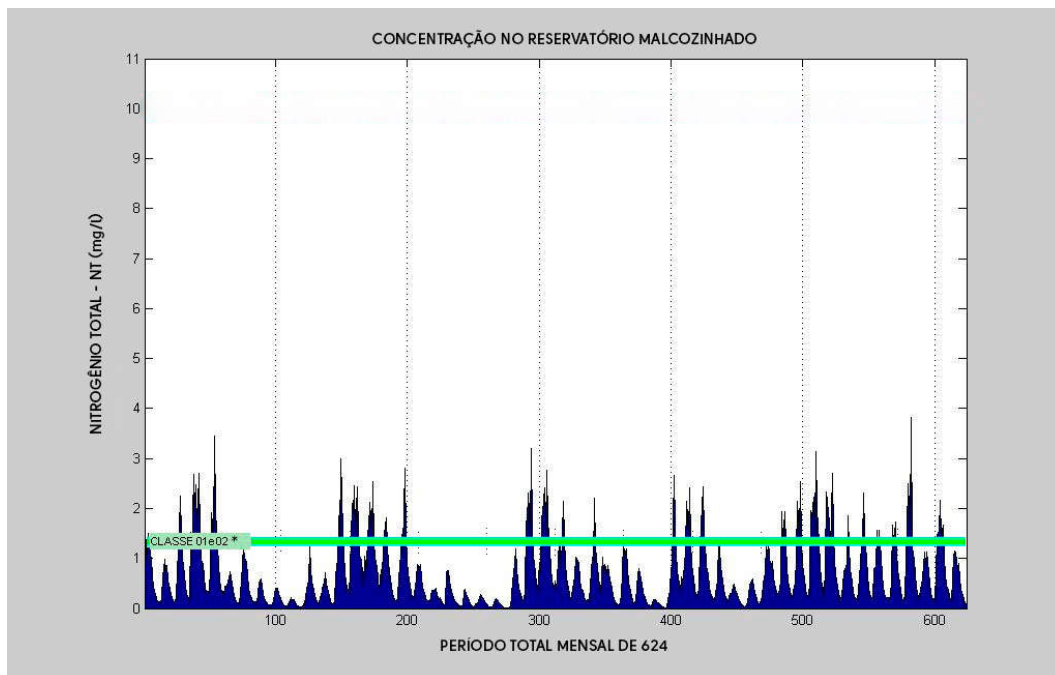
Fonte: Nippon Koei Lac (2017).

Figura 28 - Malcozinhado: OD e classes de enquadramento.



Fonte: Nippon Koei Lac (2017).

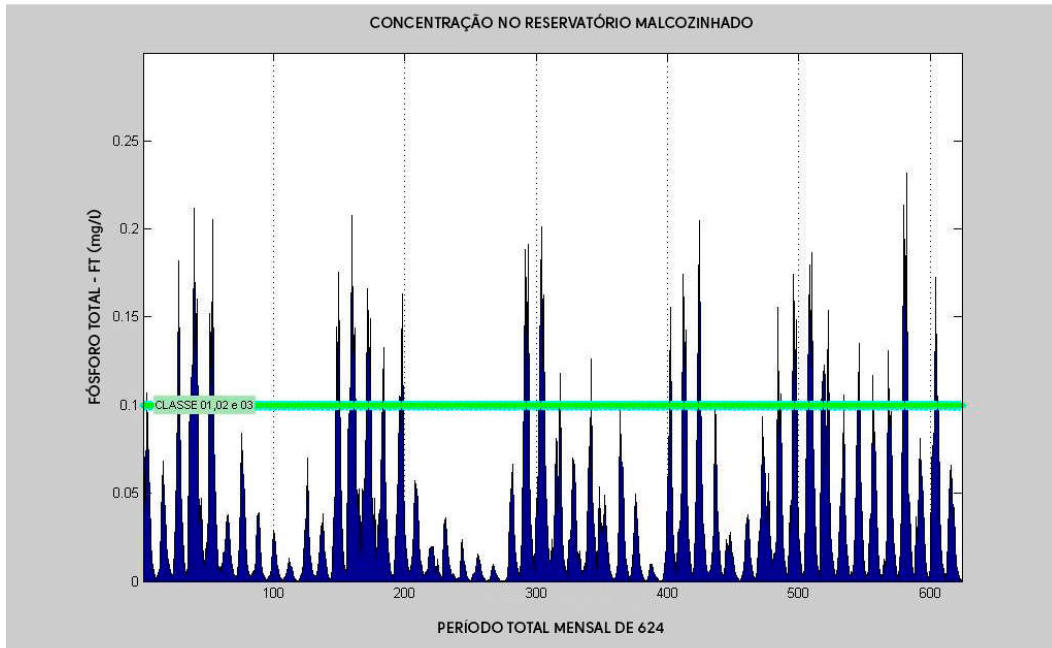
Figura 29 - Malcozinhado: Nitrogênio total e classes de enquadramento.



Fonte: Nippon Koei Lac (2017).

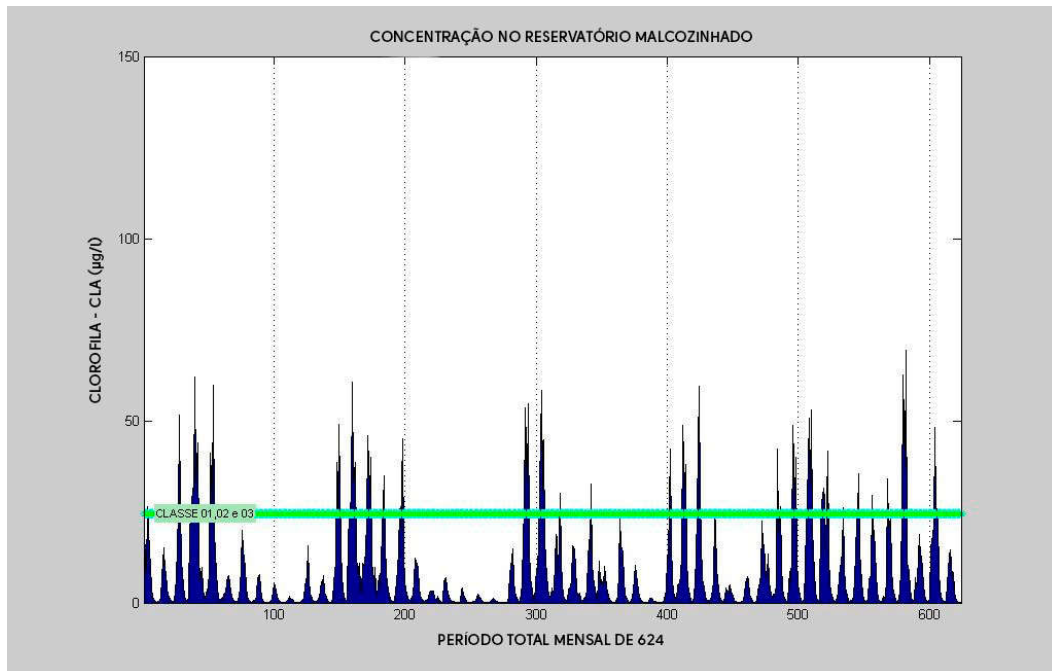
Nota: \* Resolução Conama nº 357/2005 determina que, para águas doces de Classes I e II, o valor de nitrogênio total não deverá ultrapassar 1,27 mg/L, caso seja limitante para eutrofização de ambientes lênticos.

Figura 30 - Malcozinhado: Fósforo total e classes de enquadramento.



Fonte: Nippon Koei Lac (2017).

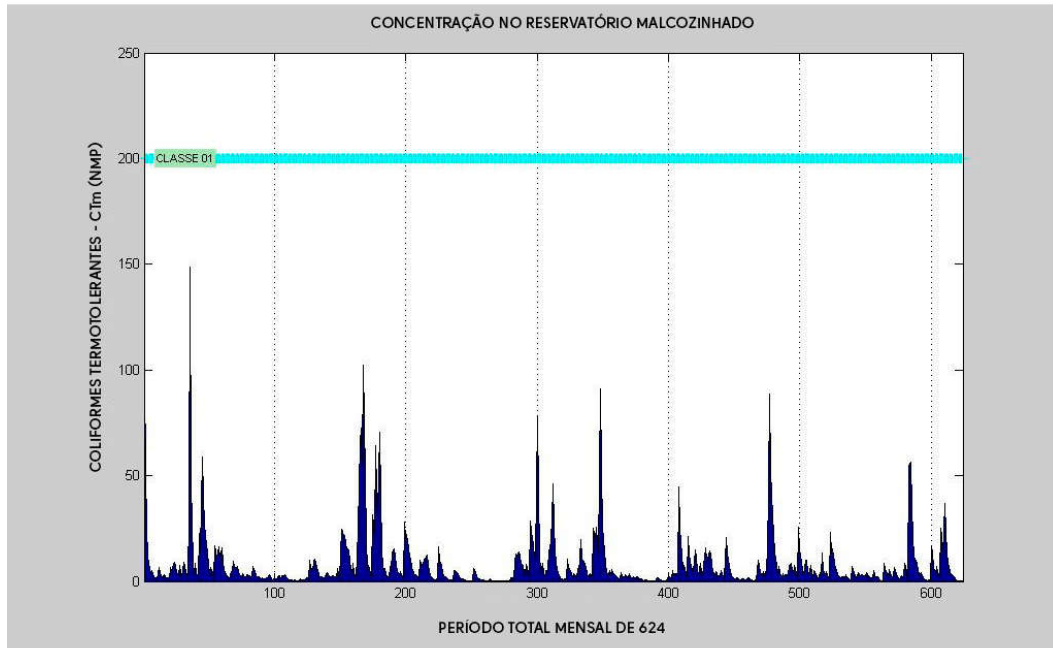
Figura 31 - Malcozinhado: Clorofila-a e classes de enquadramento.



Fonte: Nippon Koei Lac (2017).

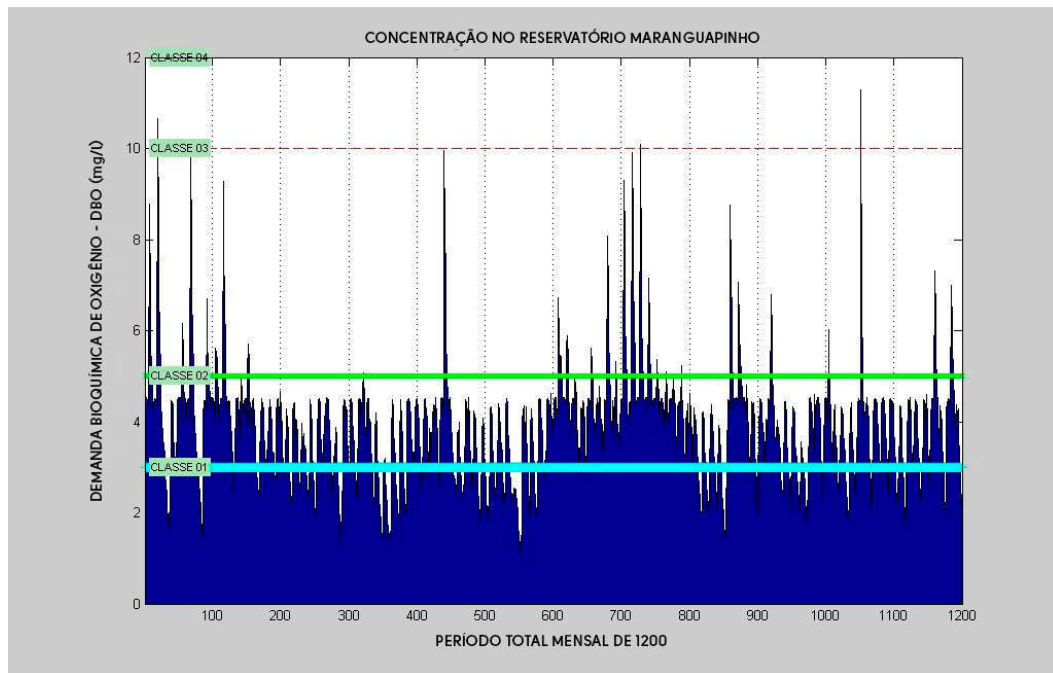


Figura 32 - Malcozinhado: Coliformes termotolerantes e classes de enquadramento.



Fonte: Nippon Koei Lac (2017).

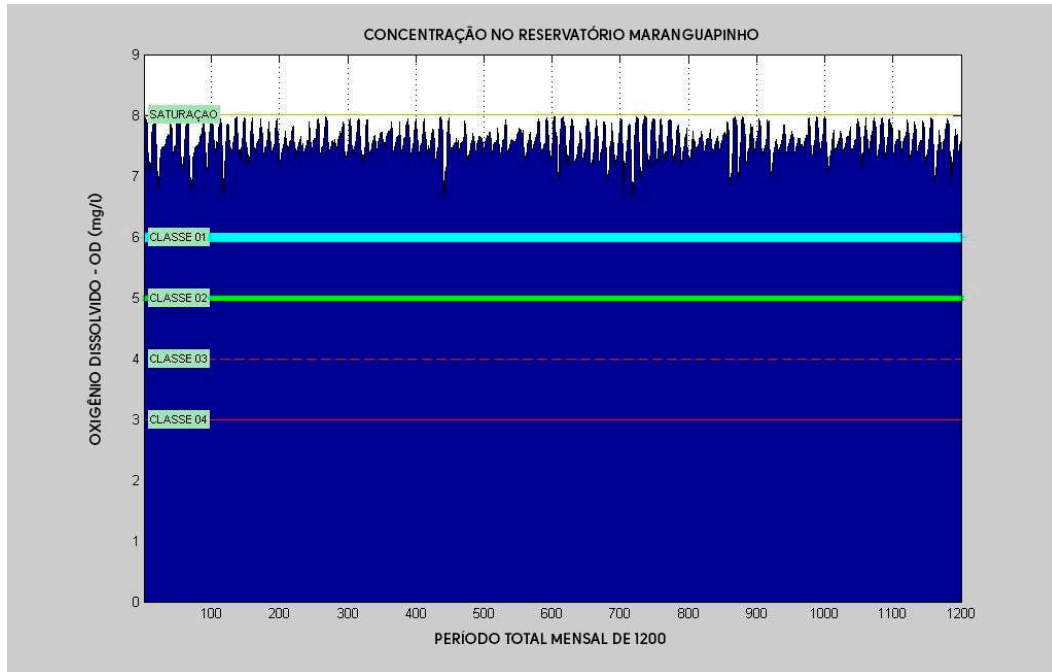
Figura 33 - Maranguapinho: DBO e classes de enquadramento.



Fonte: Nippon Koei Lac (2017).

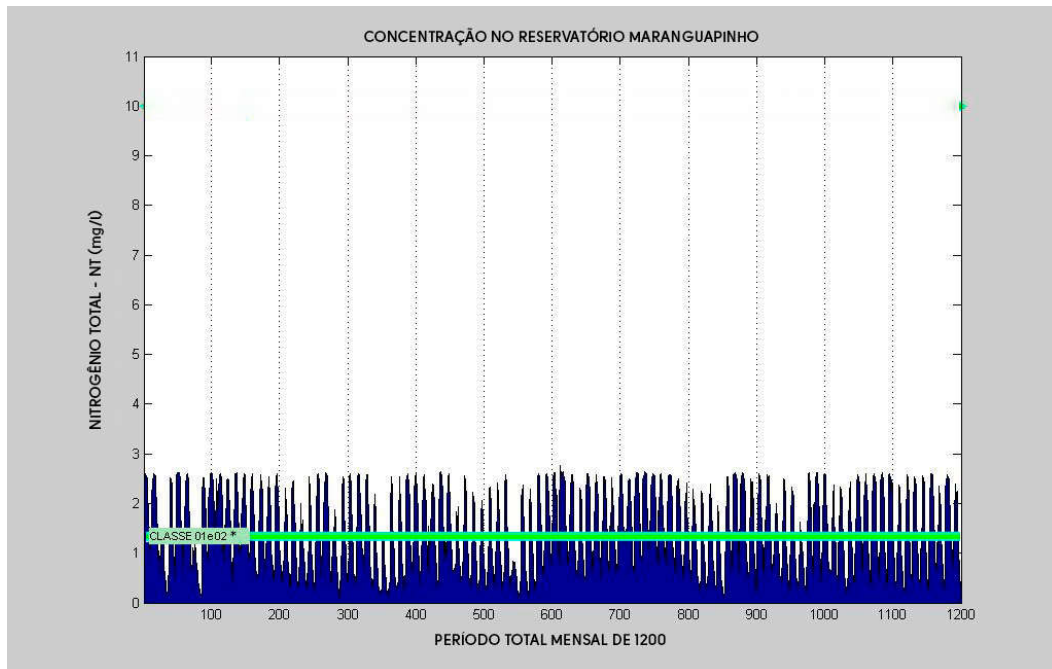


Figura 34 - Maranguapinho: OD e classes de enquadramento.



Fonte: Nippon Koei Lac (2017).

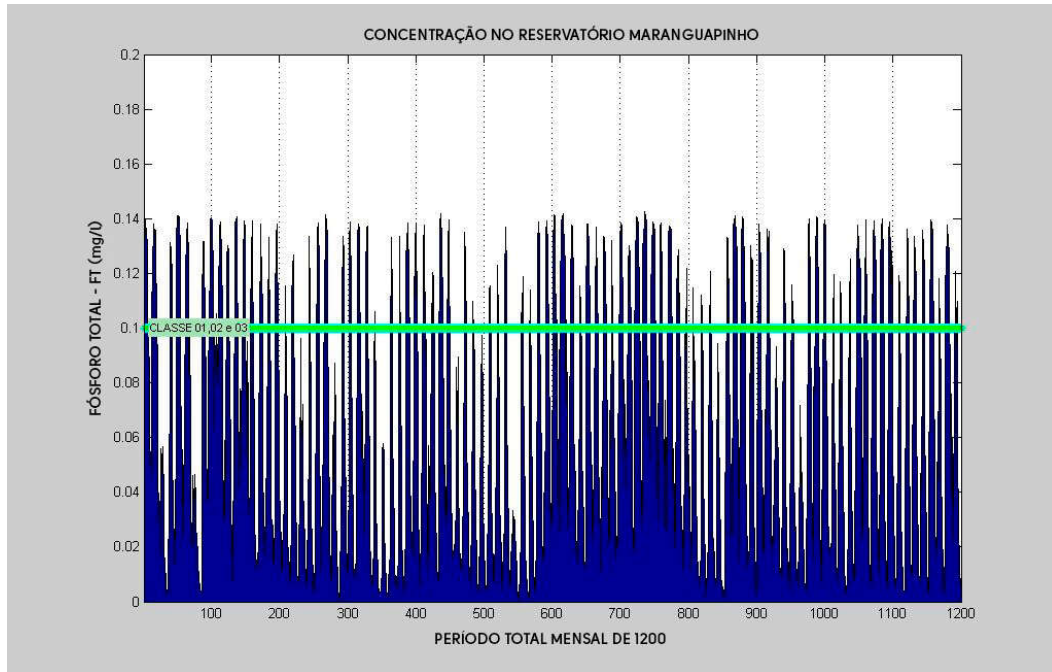
Figura 35 - Maranguapinho: Nitrogênio total e classes de enquadramento.



Fonte: Nippon Koei Lac (2017).

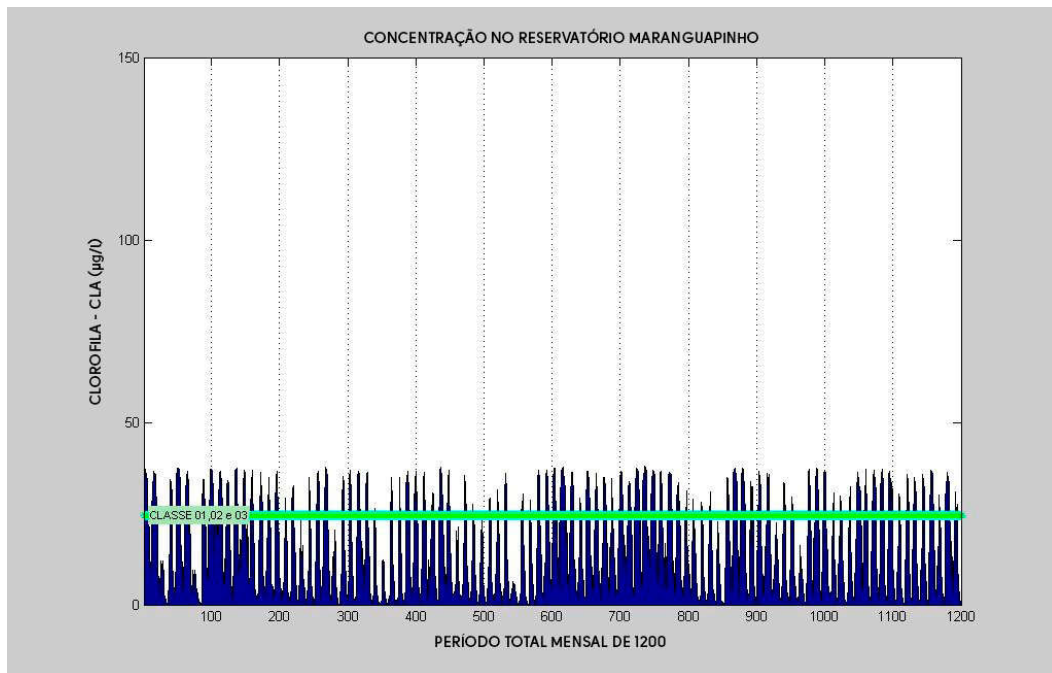
Nota: \* Resolução Conama nº 357/2005 determina que, para águas doces de Classes I e II, o valor de nitrogênio total não deverá ultrapassar 1,27 mg/L, caso seja limitante para eutrofização de ambientes lânticos.

Figura 36 - Maranguapinho: Fósforo total e classes de enquadramento.



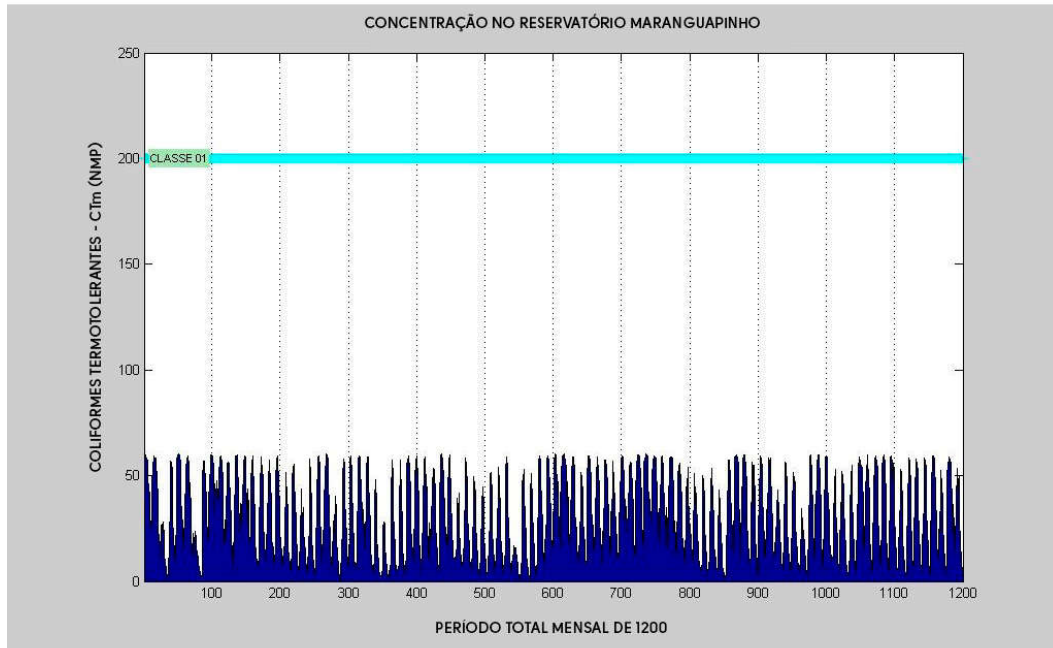
Fonte: Nippon Koei Lac (2017).

Figura 37 - Maranguapinho: Clorofila-a e classes de enquadramento.



Fonte: Nippon Koei Lac (2017).

Figura 38 - Maranguapinho: Coliformes termotolerantes e classes de enquadramento.



Fonte: Nippon Koei Lac (2017).

As concentrações médias anuais de fósforo obtidas para cada cenário elaborado nos horizontes de planejamento de 2020 e 2030 são apresentadas na Tabela 12.

Tabela 12 - Concentrações médias anuais de fósforo para cada cenário produtivo dos reservatórios das Bacias Metropolitanas

Cenário e condições		Concentração Média Anual de Fósforo (mg/l)				
		Aracoiaba	Catucinzenta	Gavião	Malcozinhado	Maranguapinho
POPULAÇÃO PROJETADA - 2020	n = 1,0	0,118	0,228	0,062	0,0286	0,145
	n = 1,5	0,174365	0,333602	0,084652	0,036832	0,212706
	n = 2,0	0,230952	0,439335	0,10742	0,04508	0,280154
	n = 2,5	0,287538	0,545066	0,130188	0,053328	0,347602
	n = 3,0	0,344125	0,650797	0,152956	0,061577	0,41505
POPULAÇÃO PROJETADA - 2030	n = 1,0	0,11767	0,228	0,0638	0,02859	0,1453
	n = 1,5	0,174253	0,333795	0,086559	0,036834	0,212708
	n = 2,0	0,23084	0,439527	0,109327	0,045083	0,280157
	n = 2,5	0,287427	0,545259	0,132096	0,053331	0,347604
	n = 3,0	0,344013	0,65009	0,154864	0,061579	0,415053

Fonte: Nippon Koei Lac, 2017.

## 5.2 Bacia do Acaraú

Na Bacia do rio Acaraú o caráter rural da ampla maioria dos reservatórios faz com que as principais preocupações se centrem na contribuição de poluentes por fontes difusas provenientes da agricultura, da pecuária, da piscicultura e, de forma secundária, do lançamento de efluentes urbanos sem tratamento.

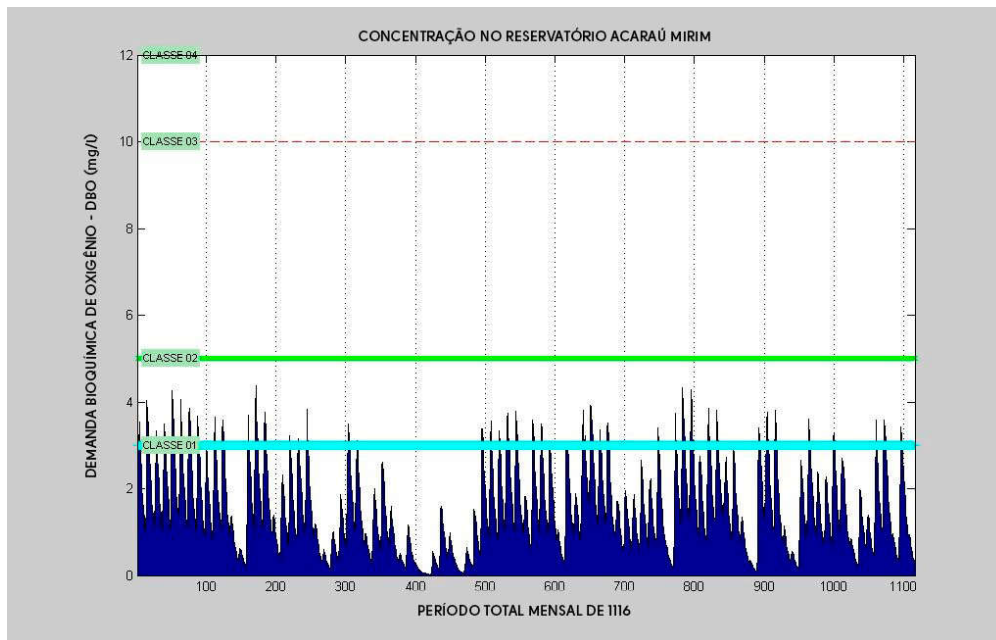
A função multiobjetivo, fulcro do modelo aplicado, integra, ao mesmo tempo, tanto os aspectos qualitativos como os quantitativos e baseia-se no Método das Ponderações que, dadas as características do problema, requer a normalização de cada objetivo. Os objetivos são aliados a pesos que permitem definir cada prioridade de atendimento e de operação.

As Figuras 39 a 68 mostram os resultados concernentes aos reservatórios objetos de estudo na Bacia do Acaraú. O eixo y dos gráficos representa a concentração do parâmetro analisado e o eixo x corresponde a quantidade total de meses para a qual esse parâmetro foi simulado. Como exemplo, na Figura 39, a concentração da demanda bioquímica de oxigênio foi simulada por um período de 1116 meses, o que corresponde a 93 anos de dados de DBO simulados. Para cada parâmetro qualitativo considerado as vulnerabilidades são as seguintes:

- Nenhum dos cinco reservatórios ultrapassam o limite da Classe IV no que diz respeito à DBO;
- Igualmente, o oxigênio dissolvido não tem o limite da Classe IV ultrapassado por nenhum dos reservatórios de interesse nessa bacia;
- Todos os reservatórios dessa bacia apresentam vulnerabilidade quanto à presença excessiva de fósforo, sendo o Araras o caso mais grave, onde as águas armazenadas permanecem cerca de 36% do tempo com teores dessa substância (fósforo total) acima do limite da Classe IV. A situação mais branda em termos de permanência em estado acima do limite da Classe IV ocorre em Taquara, com pouco mais de 20% de permanência;
- Quanto aos níveis de nitrogênio total, cabe comentar que os reservatórios Acaraú Mirim, Araras e São Vicente, que atingem valores superiores a 1,27 mg/L e possam vir a ter essa variável como nutriente limitante de processos de eutrofização, podem vir a estar em condições vulneráveis, já que segundo a Resolução Conama n° 357/2005 para águas doces de Classes I e II, o valor de nitrogênio total não deverá ultrapassar 1,27 mg/L para ambientes lânticos.

- A clorofila a evidencia-se como vulnerabilidade ao atingir valores acima daquele referente à Classe IV para todos os reservatórios. Por ordem de gravidade do problema tem-se os reservatórios Araras, Acaraú Mirim, São Vicente, Jenipapo e Taquara, com permanências variando entre cerca de 36 a 20%;
- Em termos de coliformes termotolerantes não há que se destacar vulnerabilidades por alcance do limite da Classe IV para nenhum dos reservatórios estudados, sendo observável que, à exceção do reservatório Araras, onde em ínfima parcela do tempo o reservatório deixa a Classe I para enquadrar-se na Classe II, todos os demais preservam, em 100% do tempo, enquadramento na Classe I.

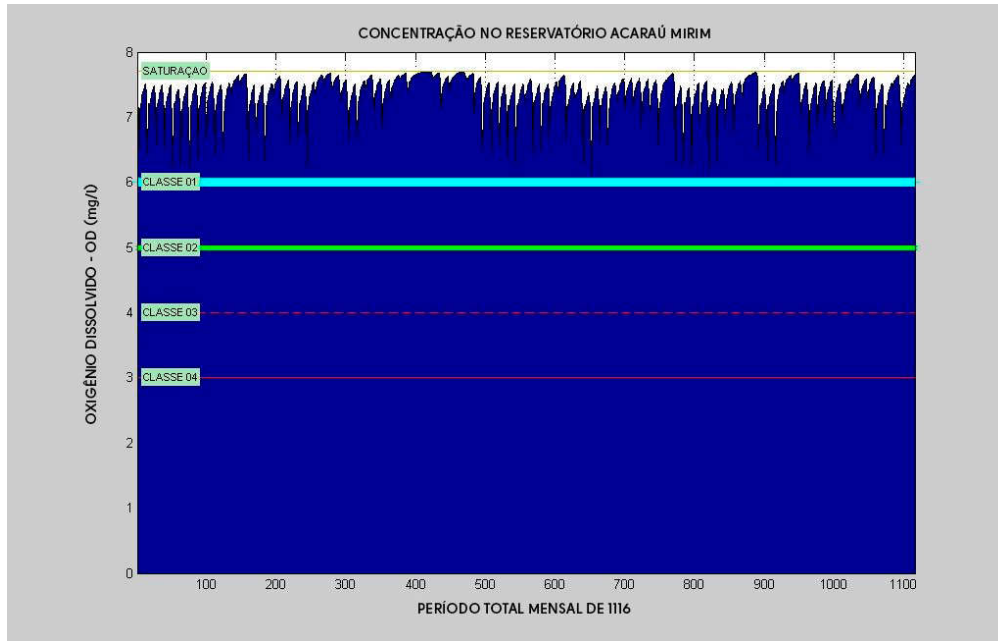
Figura 39 - Acaraú Mirim: DBO e classes de enquadramento



Fonte: Nippon Koei Lac (2017).

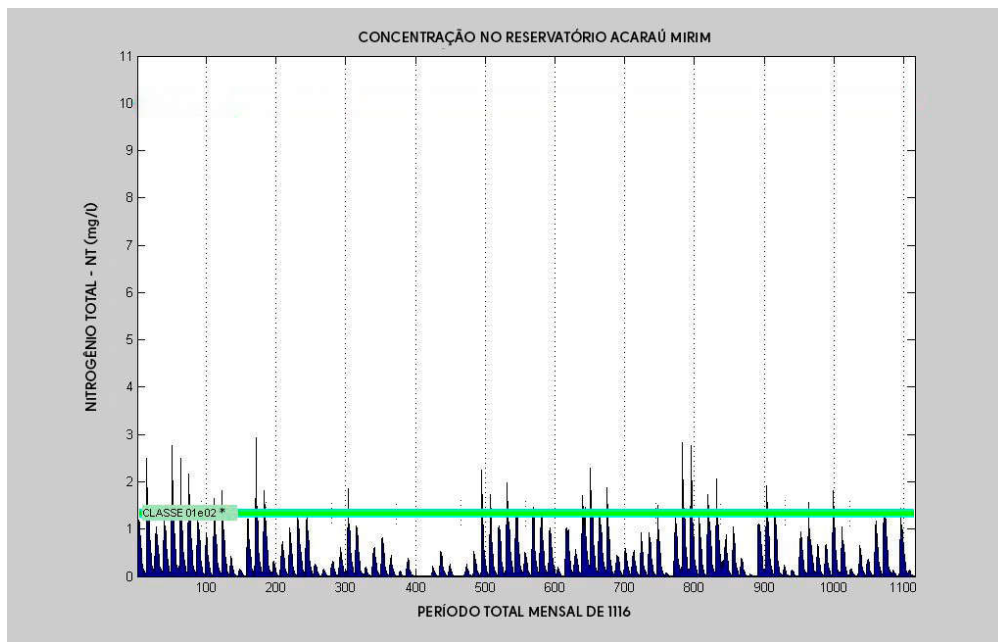


Figura 40 - Acaraú Mirim: OD e classes de enquadramento



Fonte: Nippon Koei Lac (2017).

Figura 41 - Acaraú Mirim: Nitrogênio total e classes de enquadramento

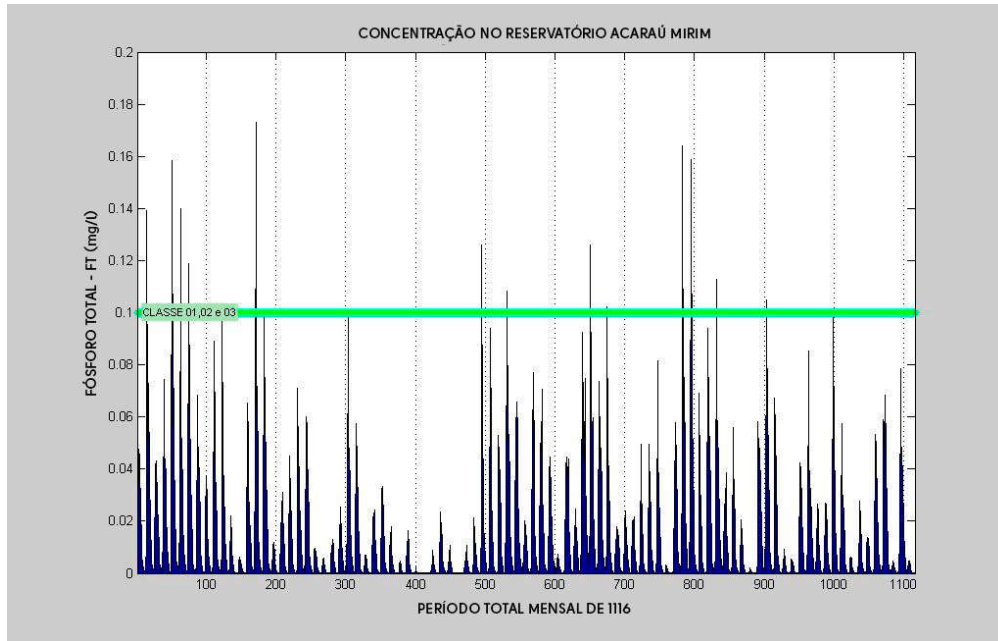


Fonte: Nippon Koei Lac (2017).

Nota: \* Resolução Conama n° 357/2005 determina que, para águas doces de Classes I e II, o valor de nitrogênio total não deverá ultrapassar 1,27 mg/L, caso seja limitante para eutrofização de ambientes lênticos.

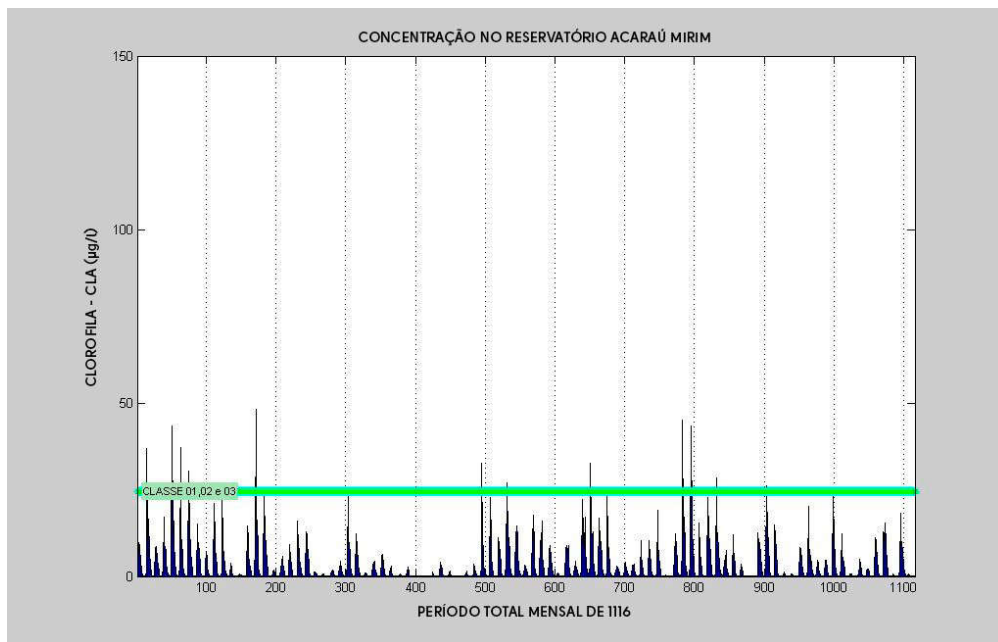


Figura 42 - Acaraú Mirim: Fósforo total e classes de enquadramento



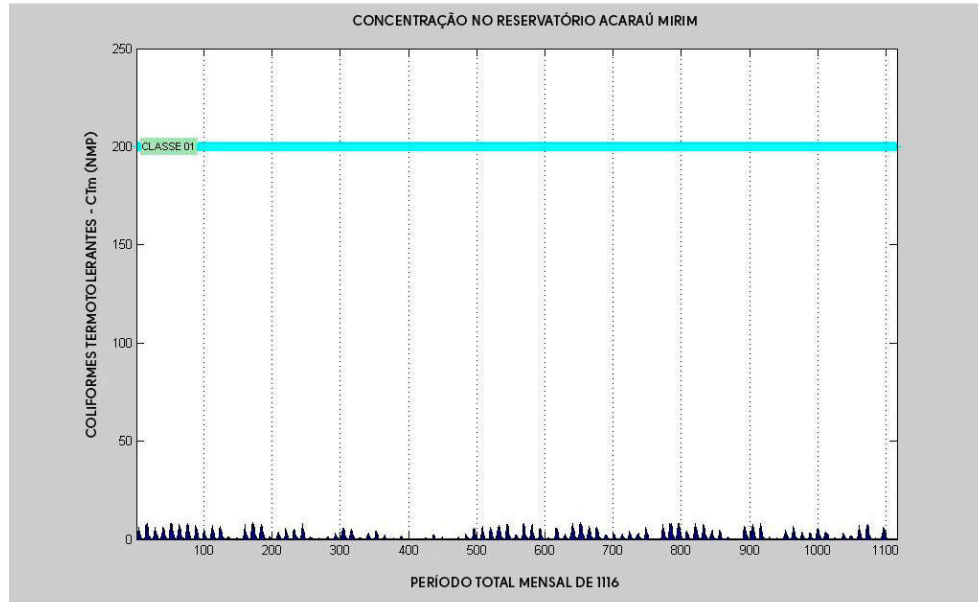
Fonte: Nippon Koei Lac (2017).

Figura 43 - Acaraú Mirim: Clorofila a e classes de enquadramento



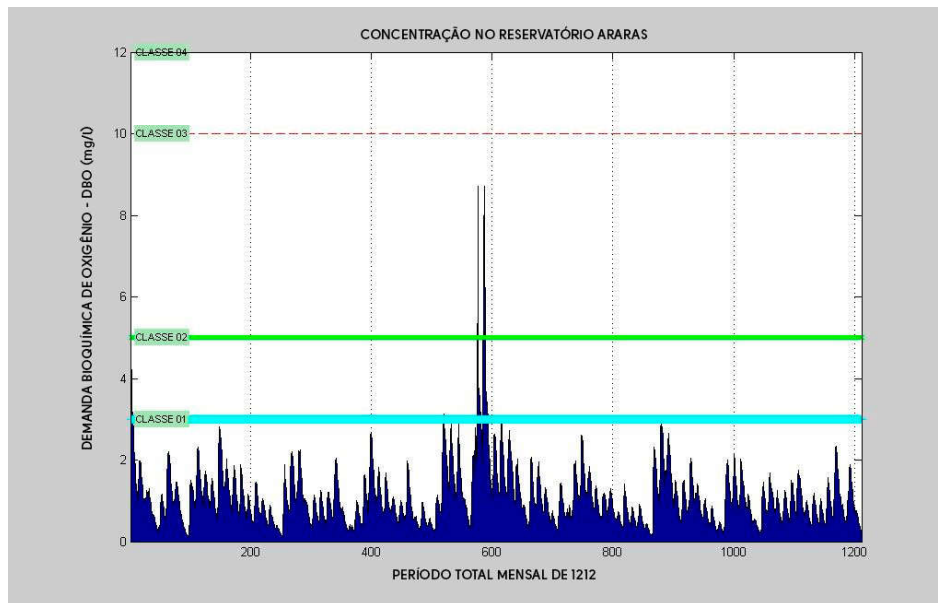
Fonte: Nippon Koei Lac (2017).

Figura 44 - Acaraú Mirim: Coliformes termotolerantes e classes de enquadramento



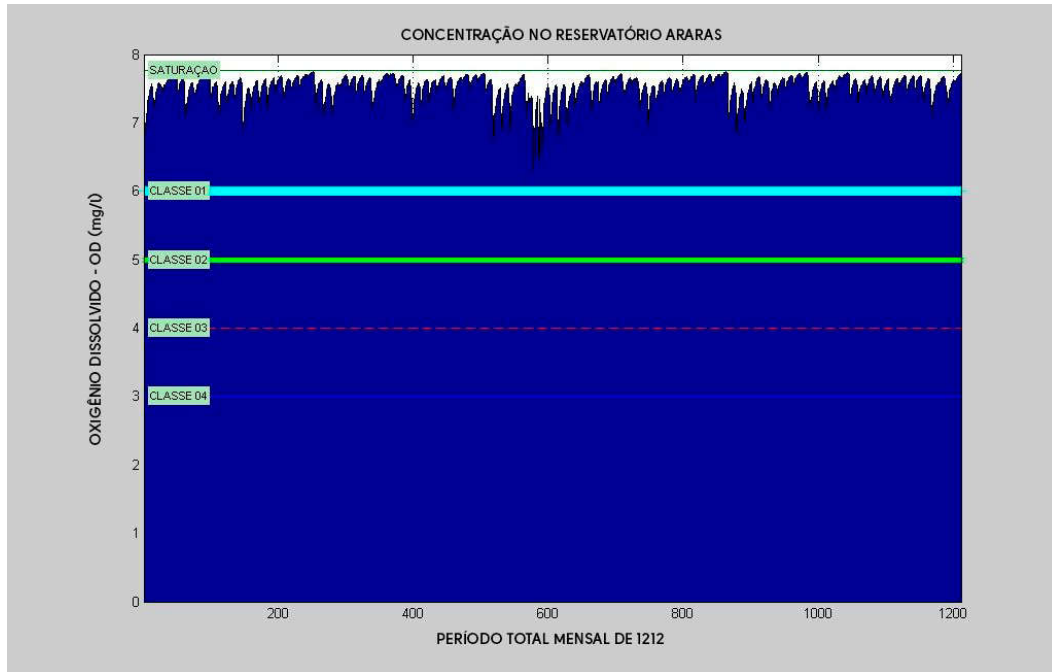
Fonte: Nippon Koei Lac (2017).

Figura 45 - Araras: DBO e classes de enquadramento.



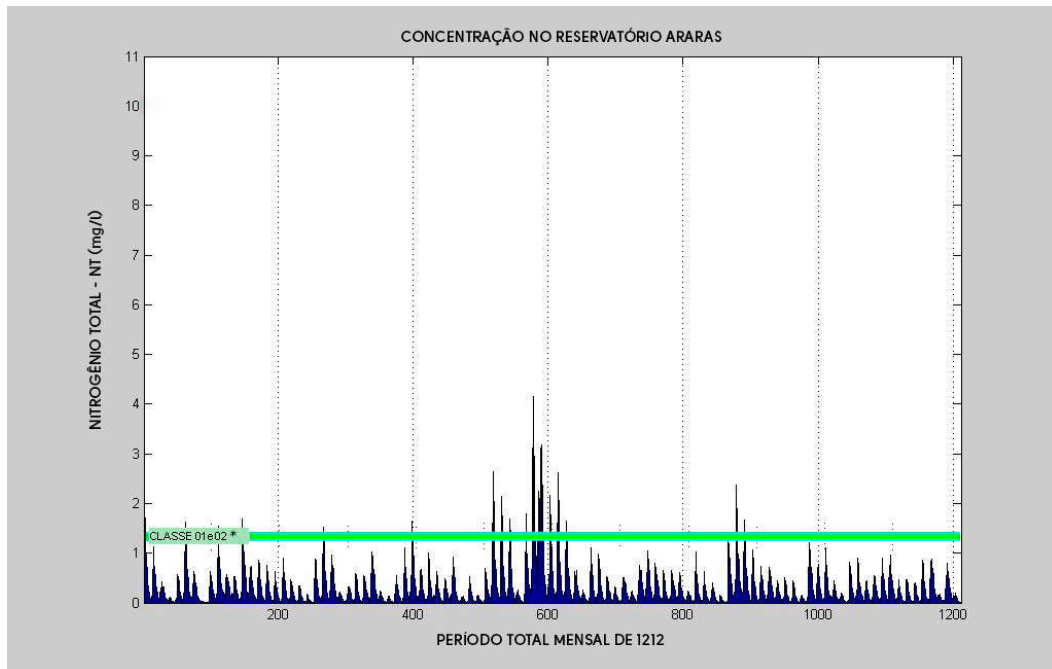
Fonte: Nippon Koei Lac (2017).

Figura 46 - Araras: OD e classes de enquadramento.



Fonte: Nippon Koei Lac (2017).

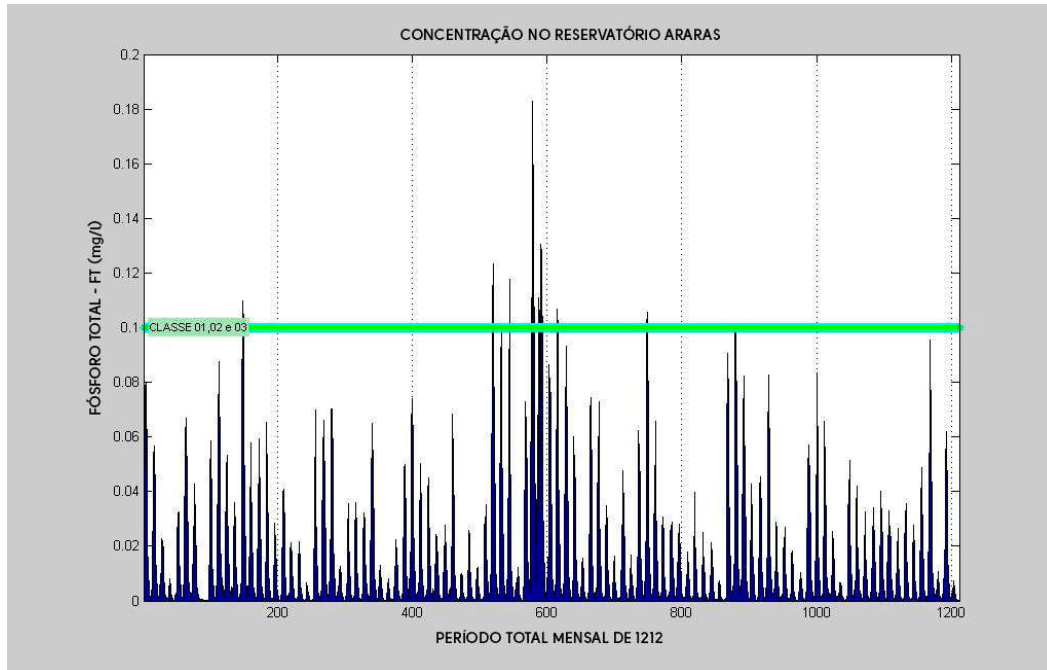
Figura 47 - Araras: Nitrogênio total e classes de enquadramento.



Fonte: Nippon Koei Lac (2017).

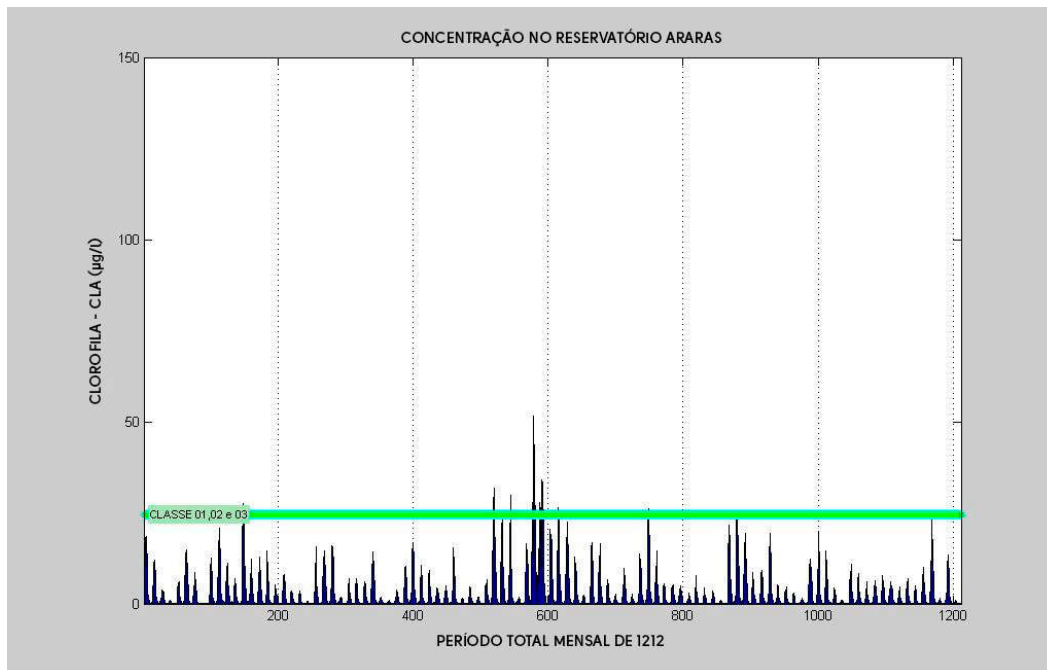
Nota: \* Resolução Conama nº 357/2005 determina que, para águas doces de Classes I e II, o valor de nitrogênio total não deverá ultrapassar 1,27 mg/L, caso seja limitante para eutrofização de ambientes lênticos.

Figura 48 - Araras: Fósforo total e classes de enquadramento.



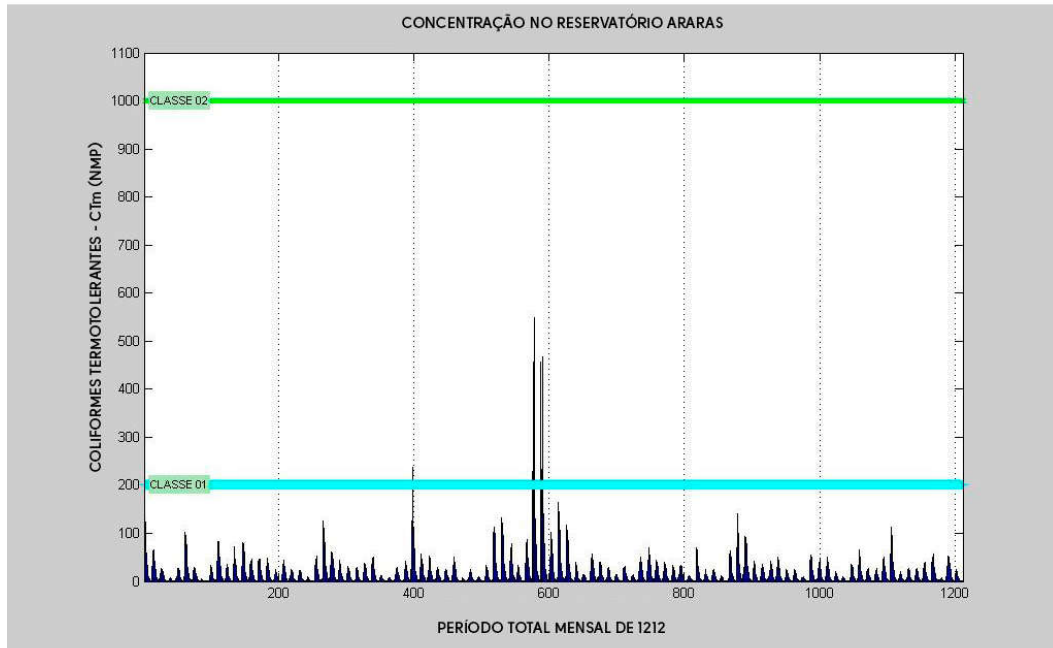
Fonte: Nippon Koei Lac (2017).

Figura 49 - Araras: Clorofila-a e classes de enquadramento.



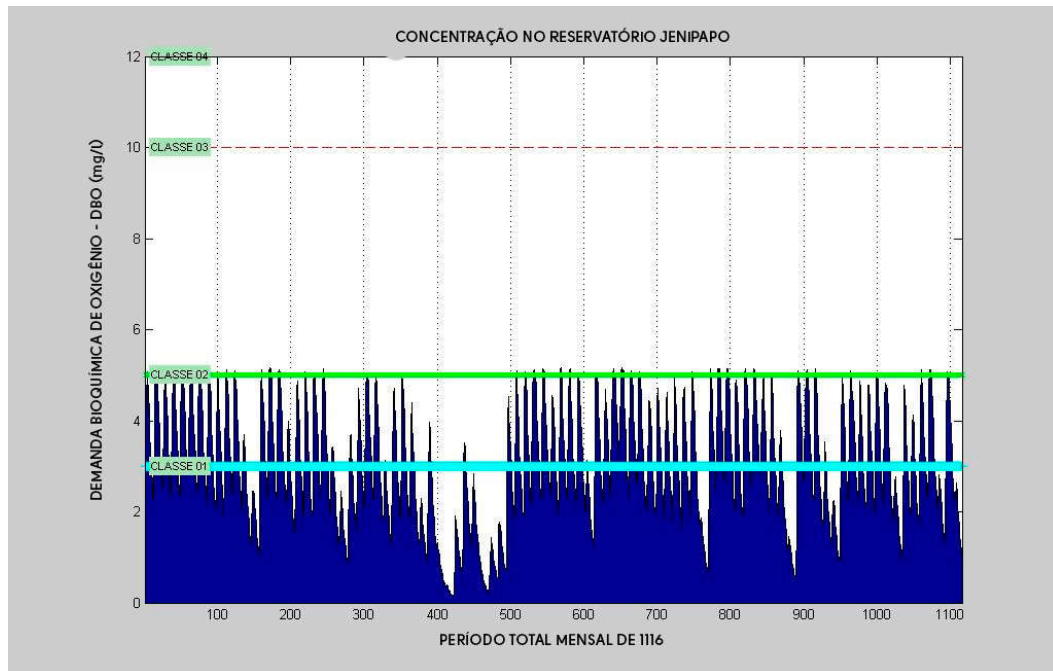
Fonte: Nippon Koei Lac (2017).

Figura 50 - Araras: Coliformes termotolerantes e classes de enquadramento.



Fonte: Nippon Koei Lac (2017).

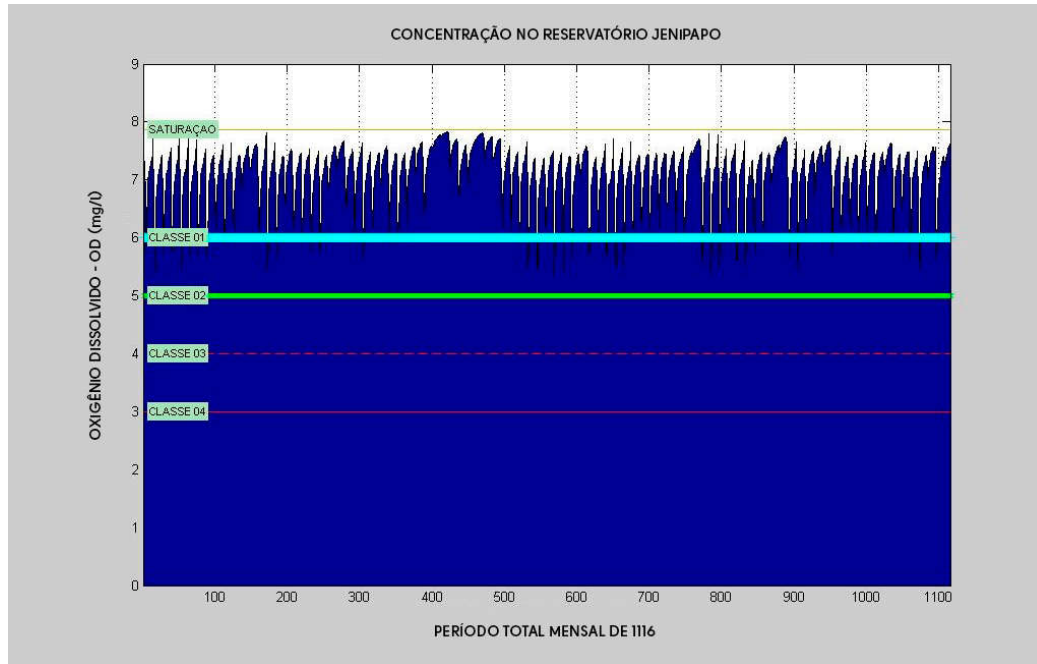
Figura 51 - Jenipapo: DBO e classes de enquadramento.



Fonte: Nippon Koei Lac (2017).

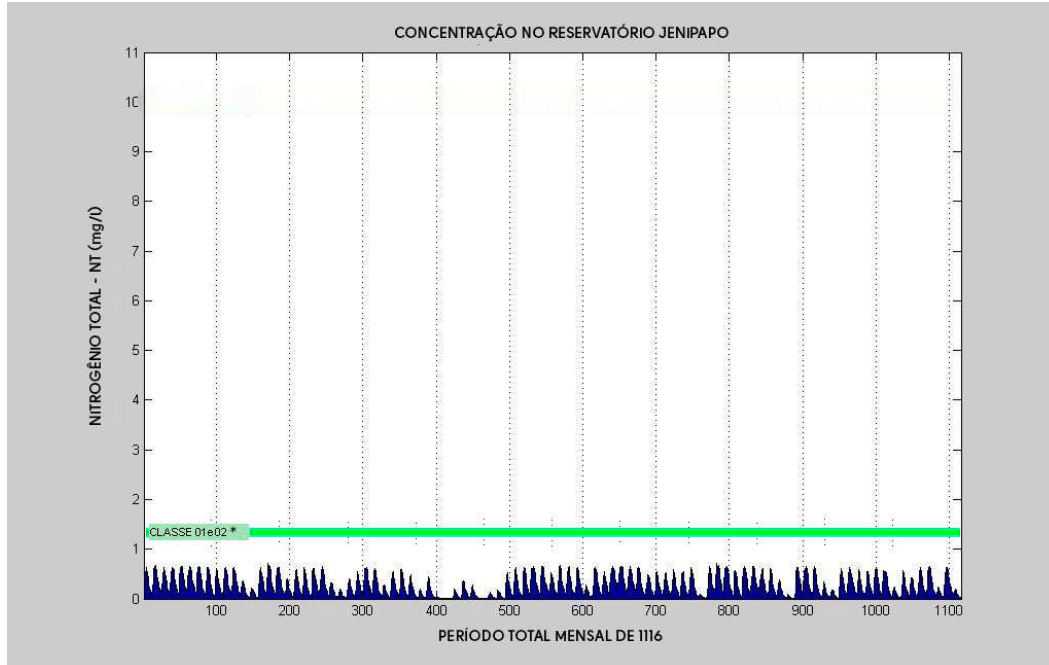


Figura 52 - Jenipapo: OD e classes de enquadramento.



Fonte: Nippon Koei Lac (2017).

Figura 53 - Jenipapo: Nitrogênio total e classes de enquadramento.

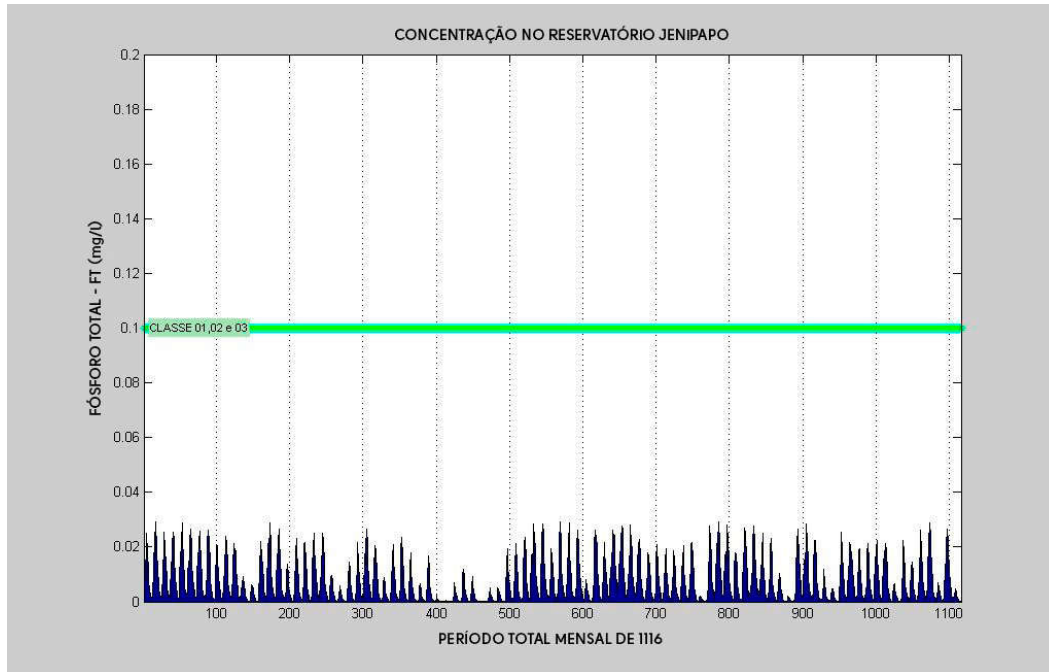


Fonte: Nippon Koei Lac (2017).

Nota: \* Resolução Conama nº 357/2005 determina que, para águas doces de Classes I e II, o valor de nitrogênio total não deverá ultrapassar 1,27 mg/L, caso seja limitante para eutrofização de ambientes lênticos.

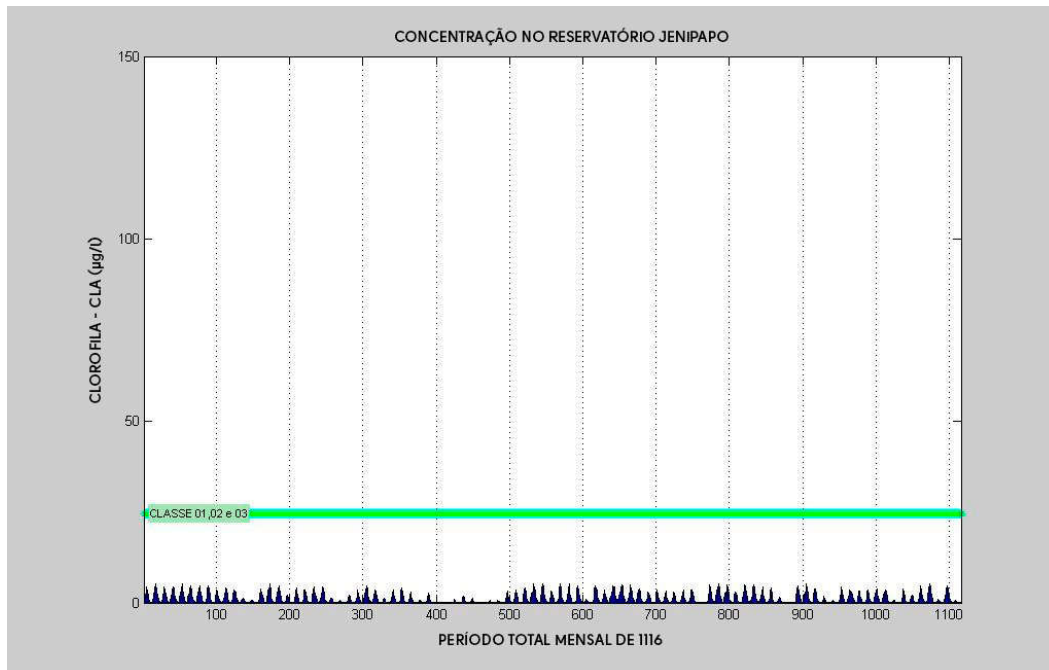


Figura 54 - Jenipapo: Fósforo total e classes de enquadramento.



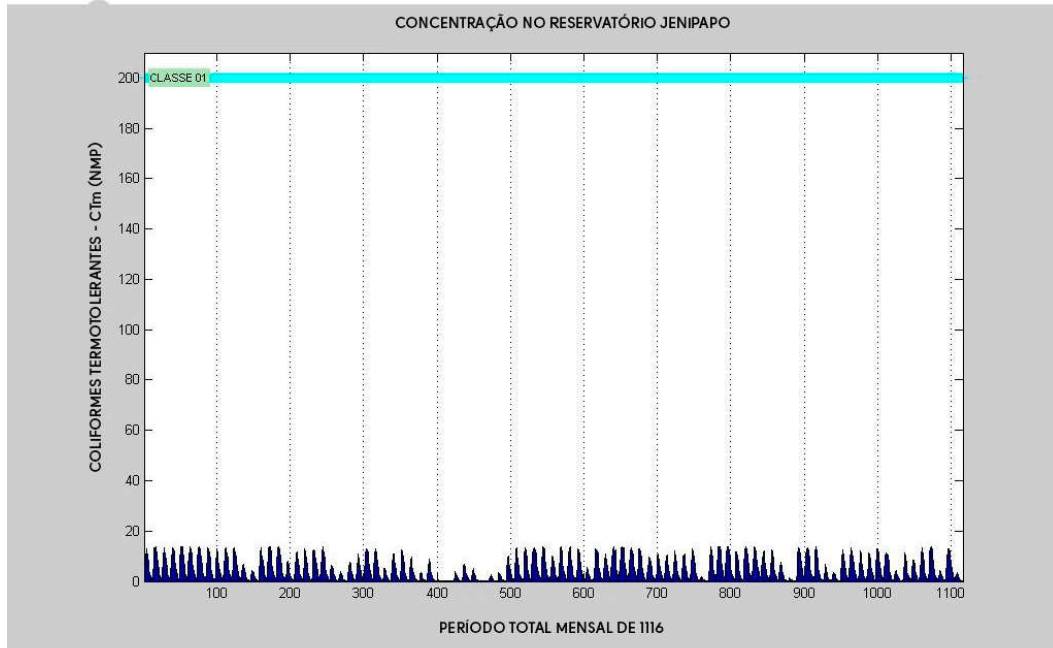
Fonte: Nippon Koei Lac (2017).

Figura 55 - Jenipapo: Clorofila-a e classes de enquadramento.



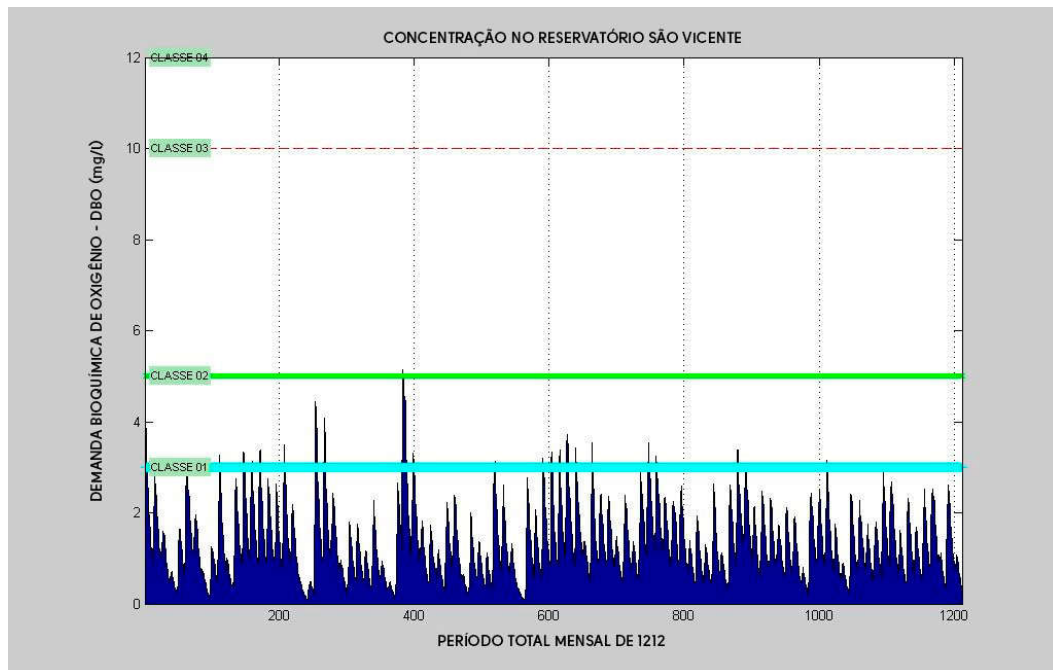
Fonte: Nippon Koei Lac (2017).

Figura 56 - Jenipapo: Coliformes termotolerantes e classes de enquadramento.



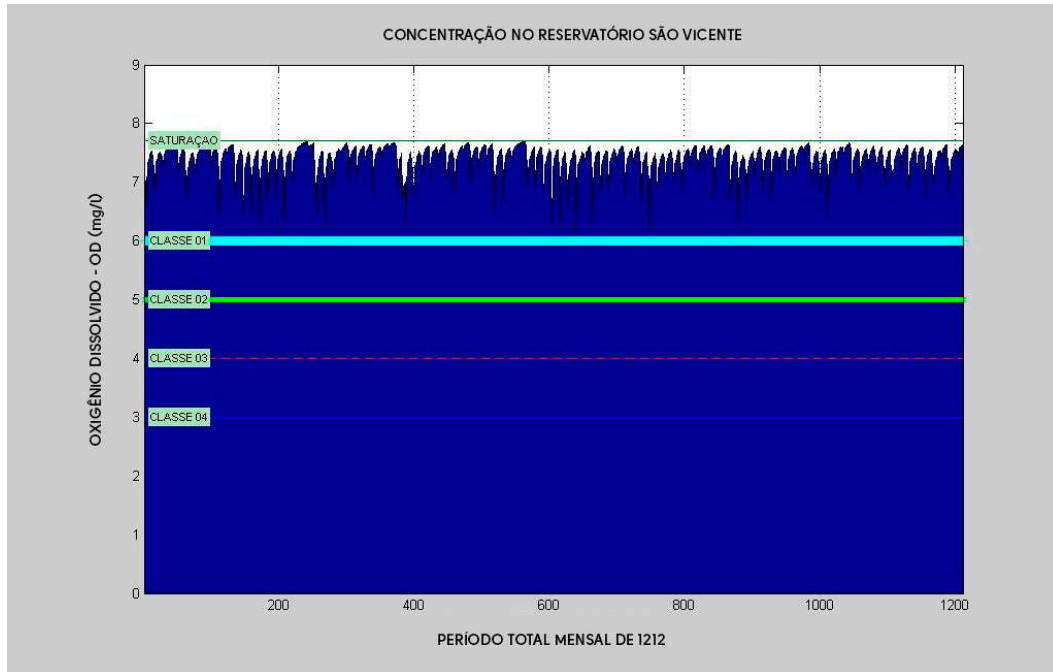
Fonte: Nippon Koei Lac (2017).

Figura 57 -São Vicente: DBO e classes de enquadramento.



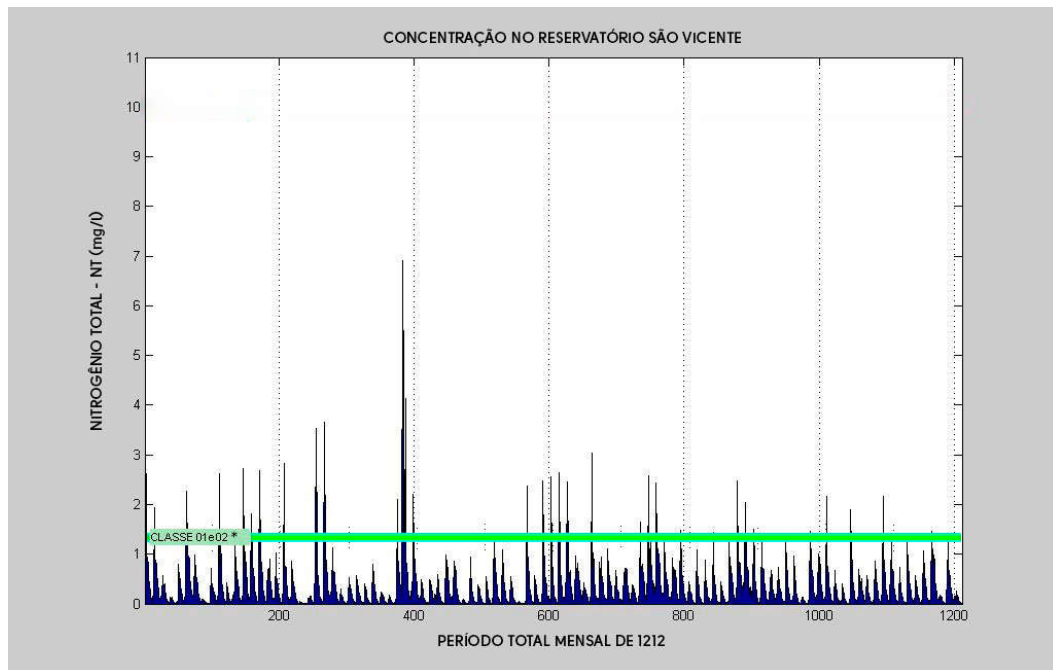
Fonte: Nippon Koei Lac (2017).

Figura 58 - São Vicente: OD e classes de enquadramento.



Fonte: Nippon Koei Lac (2017).

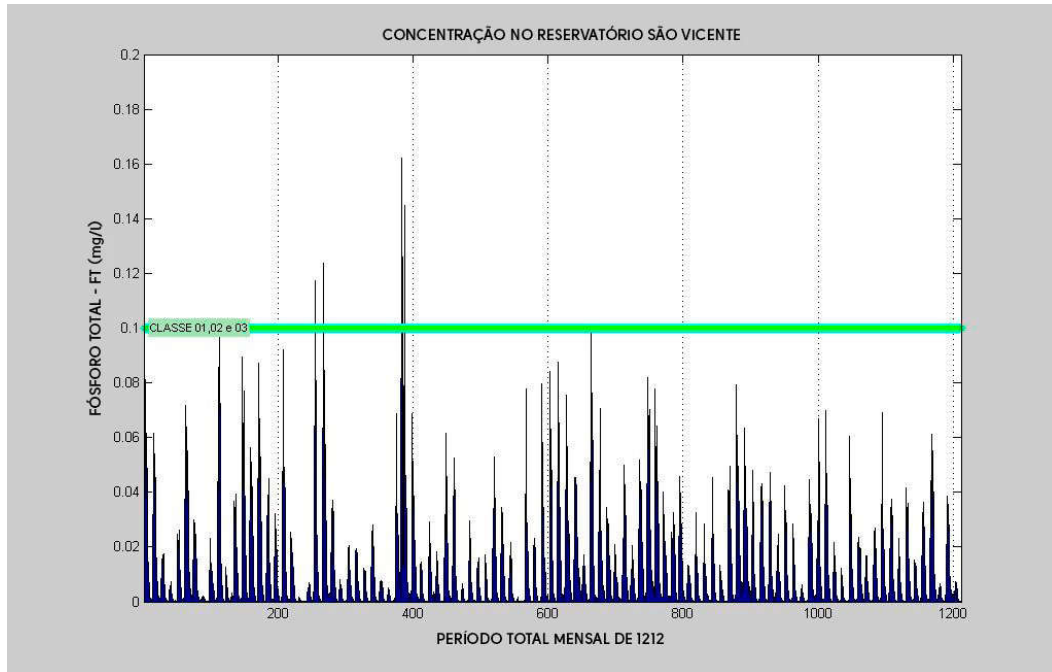
Figura 59 - São Vicente: Nitrogênio total e classes de enquadramento.



Fonte: Nippon Koei Lac (2017).

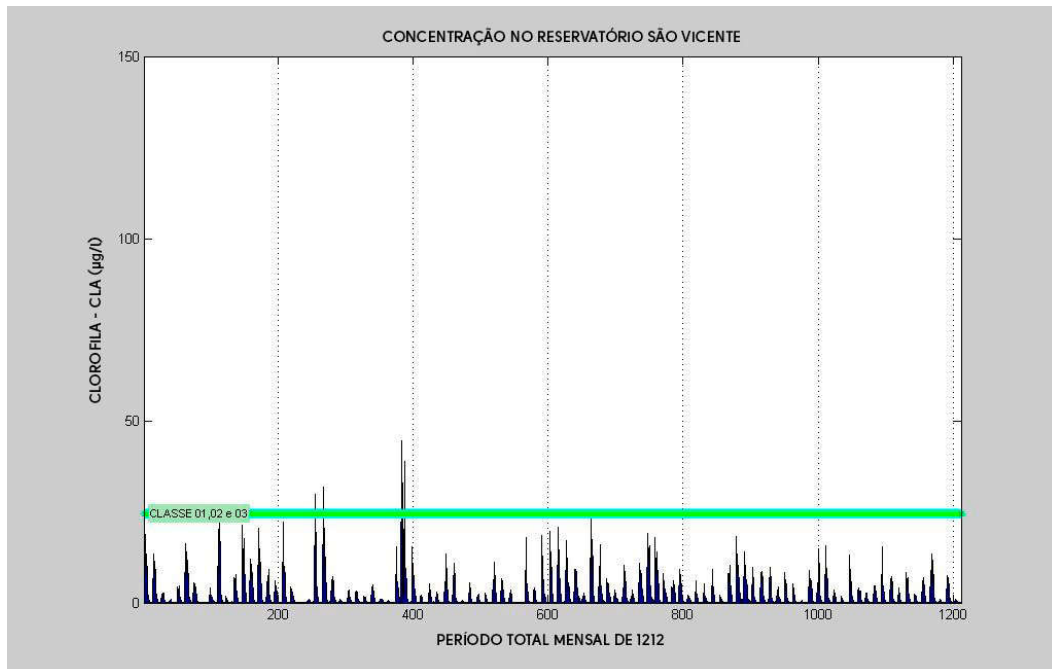
Nota: \* Resolução Conama n° 357/2005 determina que, para águas doces de Classes I e II, o valor de nitrogênio total não deverá ultrapassar 1,27 mg/L, caso seja limitante para eutrofização de ambientes lênticos.

Figura 60 - São Vicente: Fósforo total e classes de enquadramento.



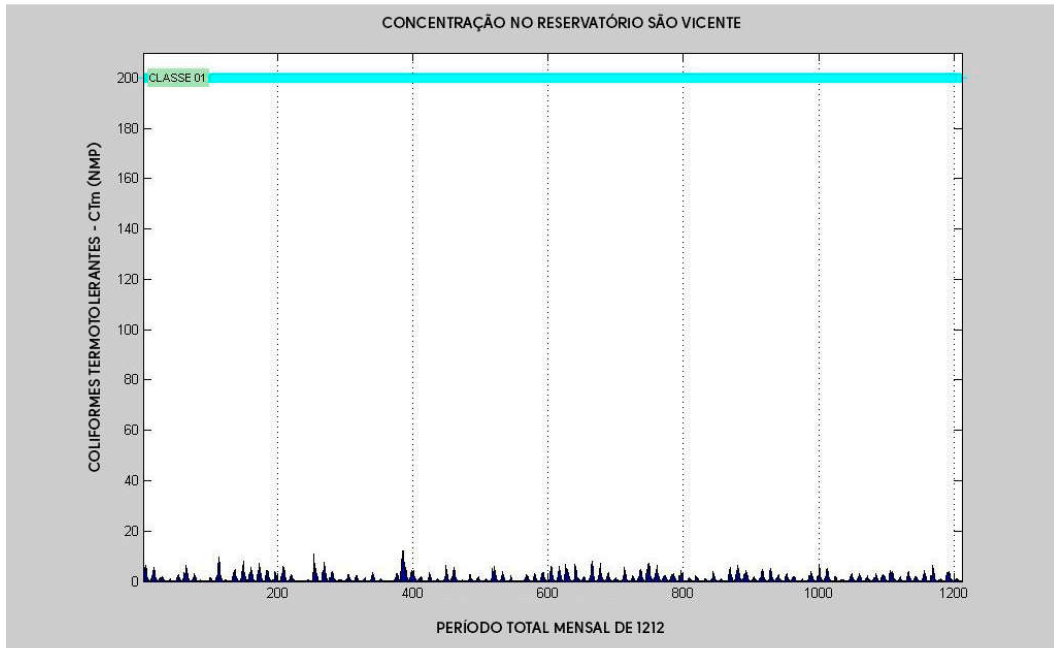
Fonte: Nippon Koei Lac (2017).

Figura 61 - São Vicente: Clorofila-a e classes de enquadramento.



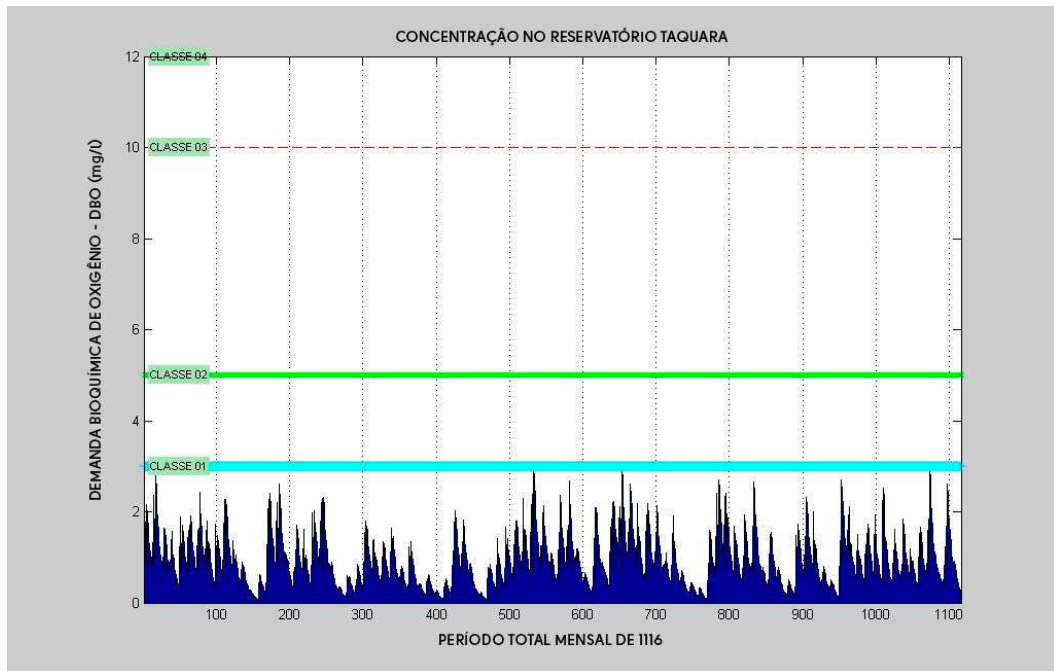
Fonte: Nippon Koei Lac (2017).

Figura 62 - São Vicente: Coliformes termotolerantes e classes de enquadramento.



Fonte: Nippon Koei Lac (2017).

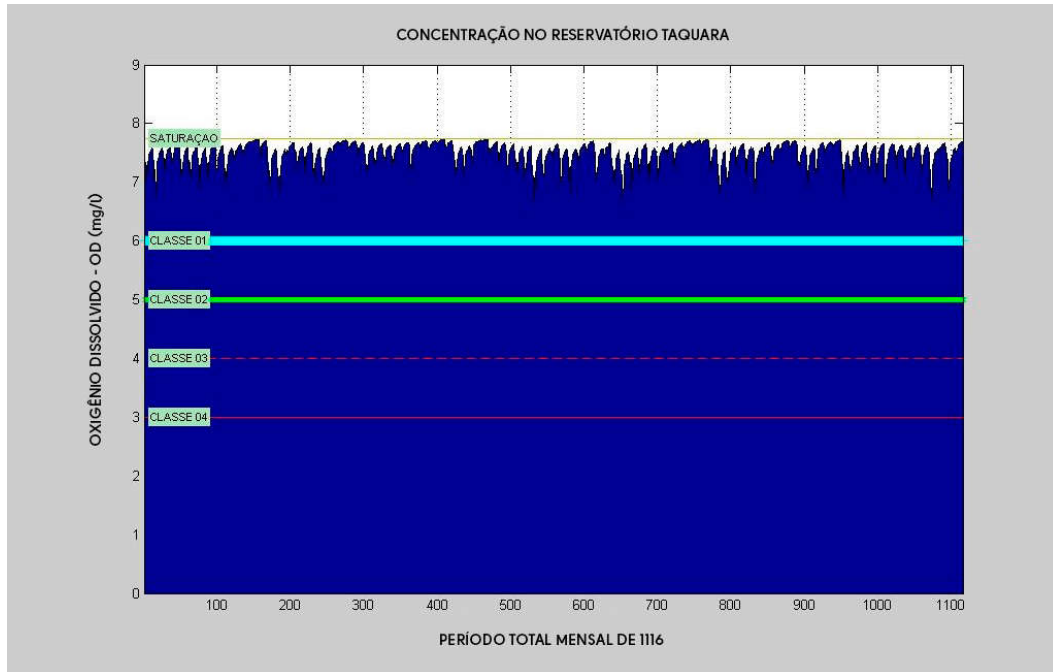
Figura 63 - Taquara: DBO e classes de enquadramento.



Fonte: Nippon Koei Lac (2017).

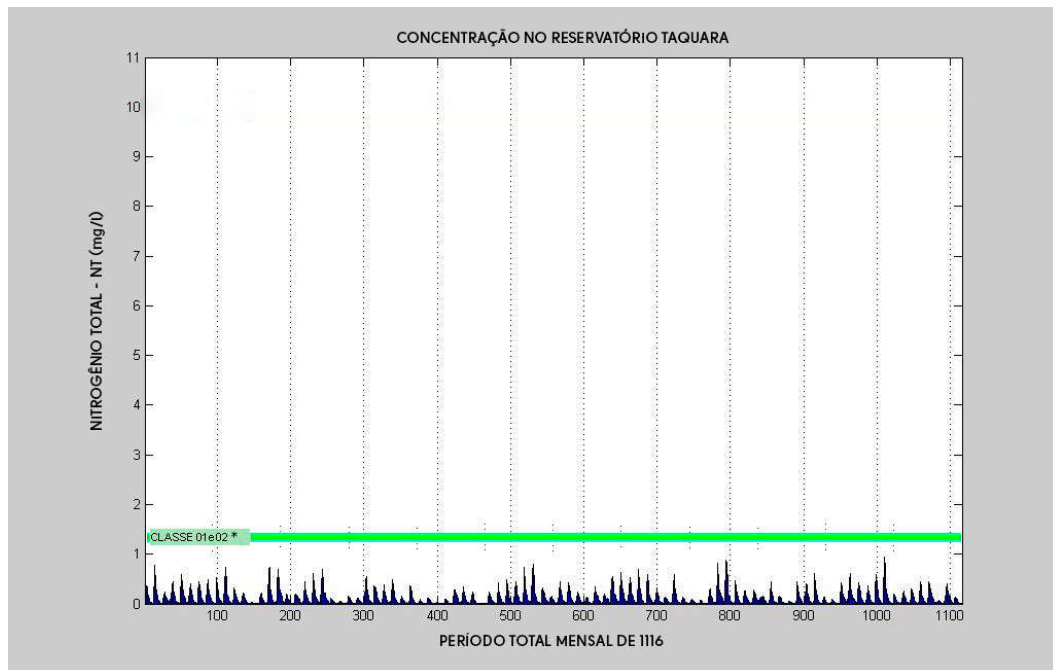


Figura 64 - Taquara: OD e classes de enquadramento



Fonte: Nippon Koei Lac (2017).

Figura 65 - Taquara: Nitrogênio total e classes de enquadramento.

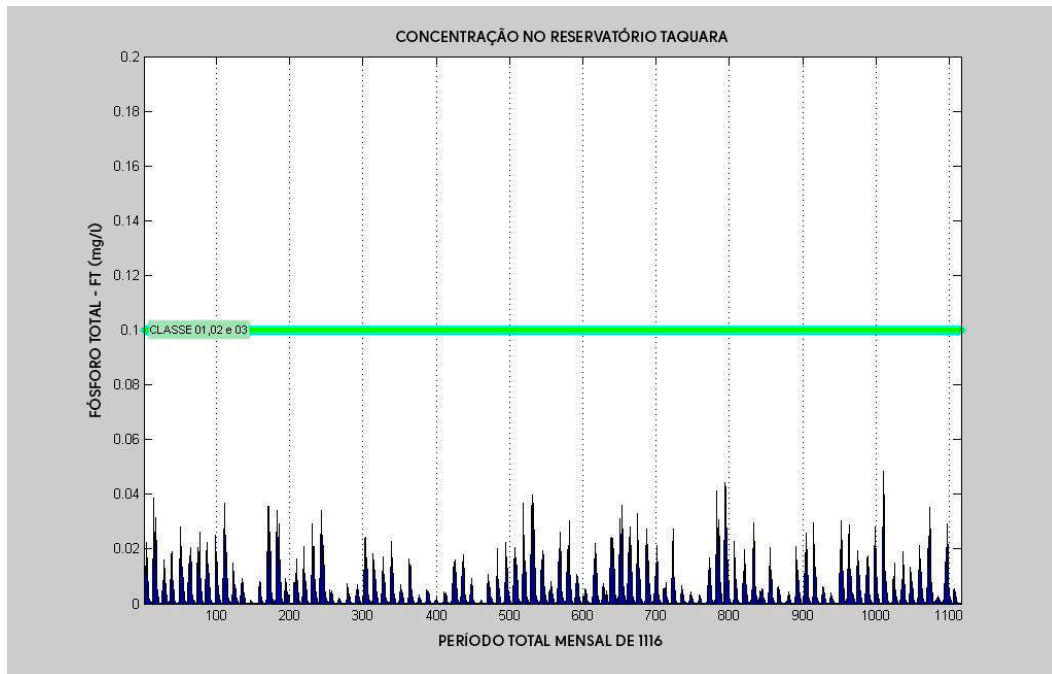


Fonte: Nippon Koei Lac (2017).

Nota: \* Resolução Conama n° 357/2005 determina que, para águas doces de Classes I e II, o valor de nitrogênio total não deverá ultrapassar 1,27 mg/L, caso seja limitante para eutrofização de ambientes lênticos.

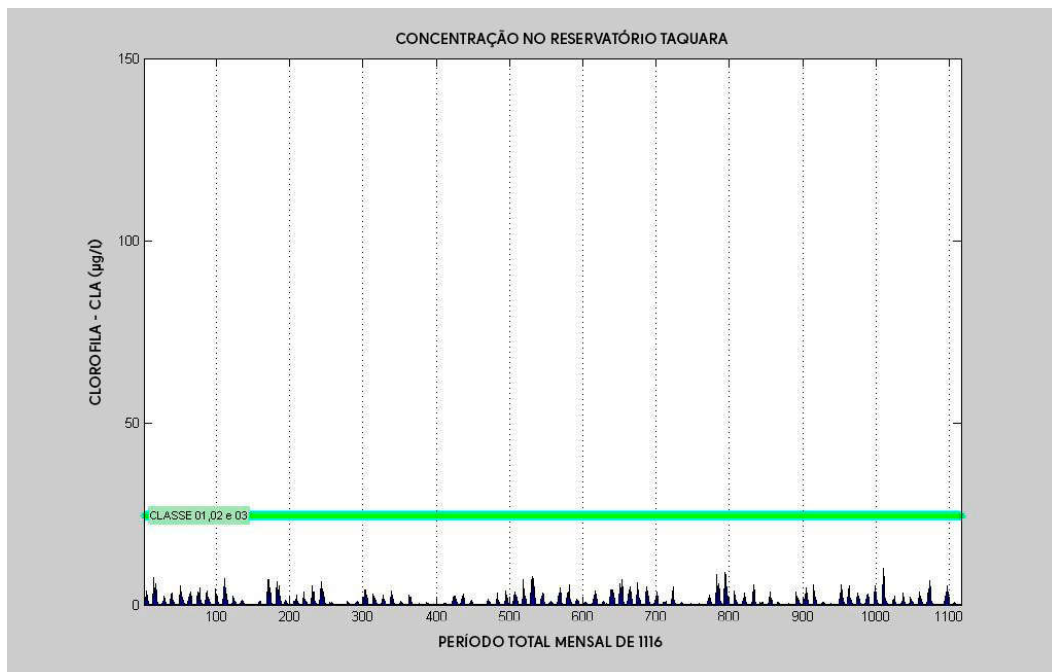


Figura 66 - Taquara: Fósforo total e classes de enquadramento.



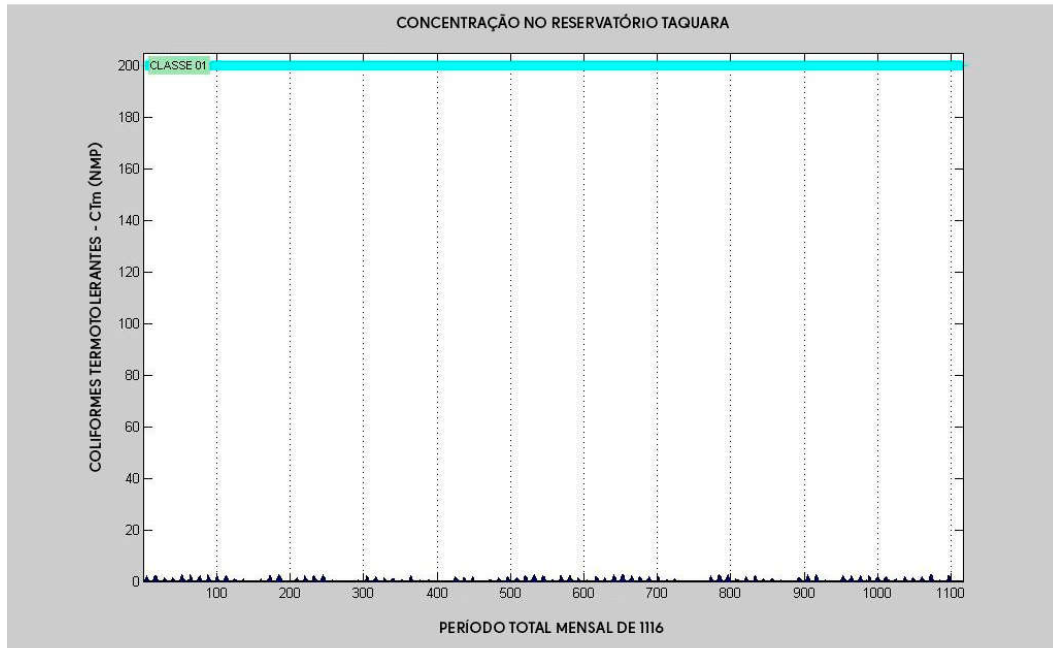
Fonte: Nippon Koei Lac (2017).

Figura 67 - Taquara: Clorofila-a e classes de enquadramento.



Fonte: Nippon Koei Lac (2017).

Figura 68 - Taquara: Coliformes termotolerantes e classes de enquadramento.



Fonte: Nippon Koei Lac (2017).

As concentrações médias anuais de fósforo obtidas para cada cenário elaborado nos horizontes de planejamento de 2020 e 2030 são apresentadas na Tabela 13

Tabela 13 - Concentrações médias anuais de fósforo para cada cenário produtivo dos reservatórios da Bacia do Acaraú

Cenário e condições	Concentração Média Anual de Fósforo (mg/l)					
	Acaraú Mirim	Araras	Jenipapo	São Vicente	Taquara	
POPULAÇÃO PROJETADA - 2020	n = 1	0,0422	0,1802	0,036	0,0473	0,02729
	n = 1,5	0,059295	0,239765	0,043291	0,065631	0,037253
	n = 2	0,076392	0,299351	0,050251	0,08392	0,047211
	n = 2,5	0,09349	0,358937	0,057211	0,102209	0,05717
	n = 3	0,110587	0,418524	0,064171	0,120497	0,067128
POPULAÇÃO PROJETADA - 2030	n = 1	0,042	0,1808	0,03715	0,0476	0,02732
	n = 1,5	0,059105	0,24034	0,044105	0,065931	0,03728
	n = 2	0,076203	0,299926	0,051065	0,08422	0,047239
	n = 2,5	0,0933	0,359512	0,058025	0,102509	0,057197
	n = 3	0,110398	0,419098	0,064985	0,120798	0,067155

Fonte: Nippon Koei Lac, 2017.

### 5.3 Sub-Bacia do Salgado

Na Sub-Bacia do Salgado convivem amplas extensões rurais com importantes centros urbanos que possuem problemas sérios de esgotamento sanitário. O aglomerado urbano que compõe parte da Região Metropolitana do Cariri (Crato, Juazeiro do Norte, Barbalha e Missão Velha), com sérias deficiências nos sistemas de tratamento de esgotos e uma baixa adesão da população às redes de coleta de esgotos existentes, transformam uma concentração urbana de aproximadamente 496.000 habitantes, de acordo com o IBGE, numa fonte potencial de contaminação de consideráveis proporções.

Esse problema ainda persiste e se agrava, mesmo que a localização da maioria dos corpos d'água dessa sub-bacia seja em áreas pouco urbanizadas ou à montante dos centros urbanos. É importante ressaltar que o reservatório Castanhão, coletor direto da sub-bacia em toda sua extensão, apresenta problemas de segurança hídrica por aspectos qualitativos que podem ser oriundos dessa sub-bacia. Esses problemas se agravam com a iminente interconexão dessa sub-bacia com a Bacia do São Francisco via PISF e Cinturão das águas (primeira etapa). Entretanto, não é parte do escopo do presente relatório mensurar tal influência, já que nenhum reservatório de interesse desse estudo é receptor direto das águas transpostas.

Do ponto de vista das vulnerabilidades de natureza qualitativa, o modelo de simulação quali-quantitativo multiobjetivo empregado permitiu uma avaliação conjugada com a perspectiva quantitativa de atendimento das demandas. Esse modelo permitiu otimizar mensalmente os usos múltiplos de sistemas de reservatórios, considerando as variáveis relacionadas aos aspectos hidroclimáticos (precipitação, evaporação), hidráulicos (características dos componentes hidráulicos do sistema), as demandas (abastecimento humano e uso agrícola, etc.) e aos níveis de concentrações de parâmetros de qualidade da água (a demanda bioquímica de oxigênio, oxigênio dissolvido, nitrogênio total, fósforo total, clorofila-a e coliformes termotolerantes).

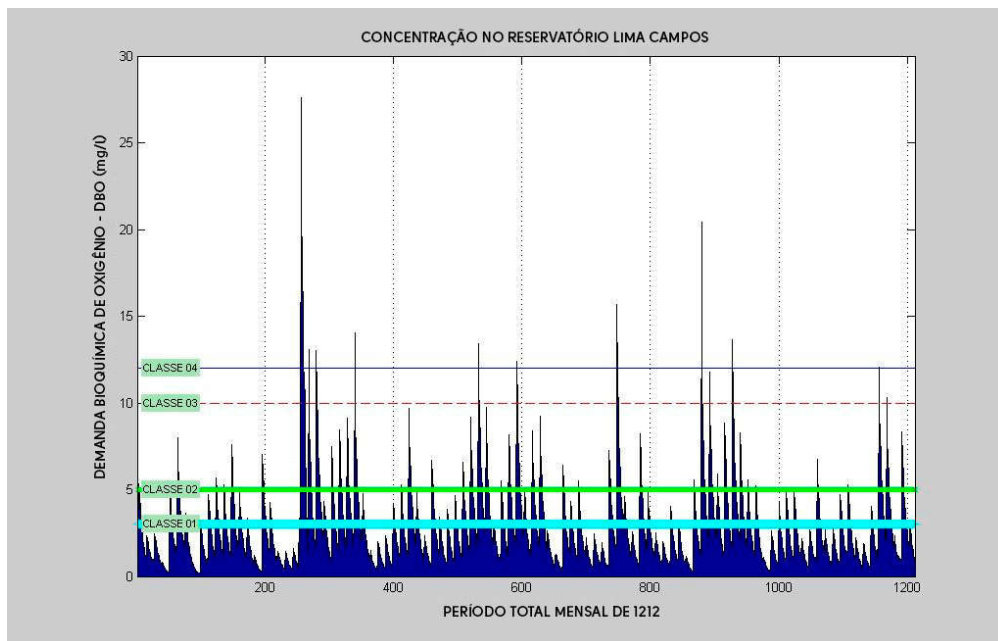
As leis de conservação da massa são aplicadas aos reservatórios e aos nós (pontos de controle do sistema), assim como são implementadas as limitações físicas e operacionais dos componentes do sistema. As concentrações resultantes são determinadas, mês a mês de forma integrada com os volumes disponíveis em todos os componentes considerados (reservatórios e/ou pontos de controle), procurando satisfazer metas que estão de acordo com a Resolução Conama nº 357/2005, que estabelece os padrões de qualidade dos corpos hídricos por classe.

Nas Figuras 69 a 98 são apresentados os resultados concernentes aos reservatórios objetos de estudo na Sub-Bacia do Salgado. O eixo y dos gráficos representa a concentração do parâmetro analisado e o eixo x corresponde a quantidade total de meses para a qual esse parâmetro foi simulado. Como exemplo, na Figura 69, a concentração da demanda bioquímica de oxigênio foi simulada por um período de 1212 meses, o que corresponde a 101 anos de dados de DBO simulados. As vulnerabilidades identificadas foram:

- A vulnerabilidade associável à ultrapassagem do limite da Classe IV no que diz respeito à DBO foi ínfima para todos os reservatórios dessa sub-bacia, à exceção das águas do reservatório Ubaldinho, onde por cerca de um quarto do tempo, verifica-se o enquadramento na Classe IV;
- Quanto ao Oxigênio Dissolvido não há vulnerabilidades concernentes à Classe IV para Junco, Manoel Balbino e Tatajuba, sendo ínfima para Lima Campos e pequena para Ubaldinho (menos de 7% de permanência);
- Todos os reservatórios dessa bacia apresentam vulnerabilidade quanto à presença excessiva de fósforo, sendo, destacadamente, o Junco o caso em que a permanência das águas é de cerca de 40% do tempo no enquadramento na Classe IV. Ainda em termos de permanência em estado acima do limite da Classe IV, os demais açudes praticamente se equiparam com baixas permanências no enquadramento na Classe IV (permanências variando entre 1,5 a 8,5%);
- Quanto aos níveis de nitrogênio total, cabe comentar que nenhum dos reservatórios da Sub-Bacia do Salgado atingem valores superiores a 1,27 mg/L, o que anula a possibilidade de tais reservatórios estarem em condições vulneráveis caso algum possa vir a ter essa variável como nutriente limitante de processos de eutrofização, já que segundo a Resolução Conama nº 357/2005 para águas doces de Classes I e II, o valor de nitrogênio total não deverá ultrapassar 1,27 mg/L para ambientes lânticos.
- A clorofila a evidencia-se como vulnerabilidade ao atingir valores acima daquele referente à Classe IV para todos os reservatórios, embora em graus bastante diferenciados, pois, nesse ranking, destaca-se o reservatório Junco, com permanência na ordem de 40% do tempo, seguido por Lima Campos, Ubaldinho, Tatajuba e Manoel Balbino, com permanências variando entre 1,5 e 8,5%;

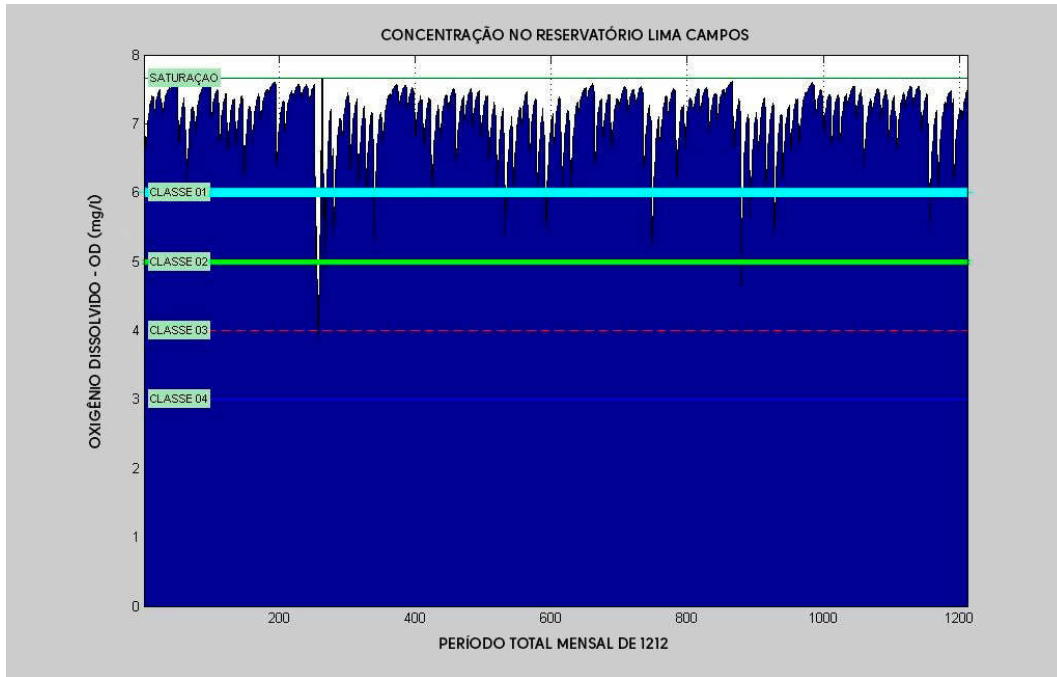
- Em termos de coliformes termotolerantes não há que se destacar vulnerabilidades por alcance do limite da Classe II, III e IV para os reservatórios Manoel Balbino e Tatajuba, os quais permanecem integralmente com suas águas na Classe I, no que diz respeito ao parâmetro em comento. Verifica-se ínfima ultrapassagem do limite das Classe III para o reservatório Junco e um pouco mais relevante, em termos de permanência, para o reservatório Lima Campos.

Figura 69 - Lima Campos: DBO e classes de enquadramento



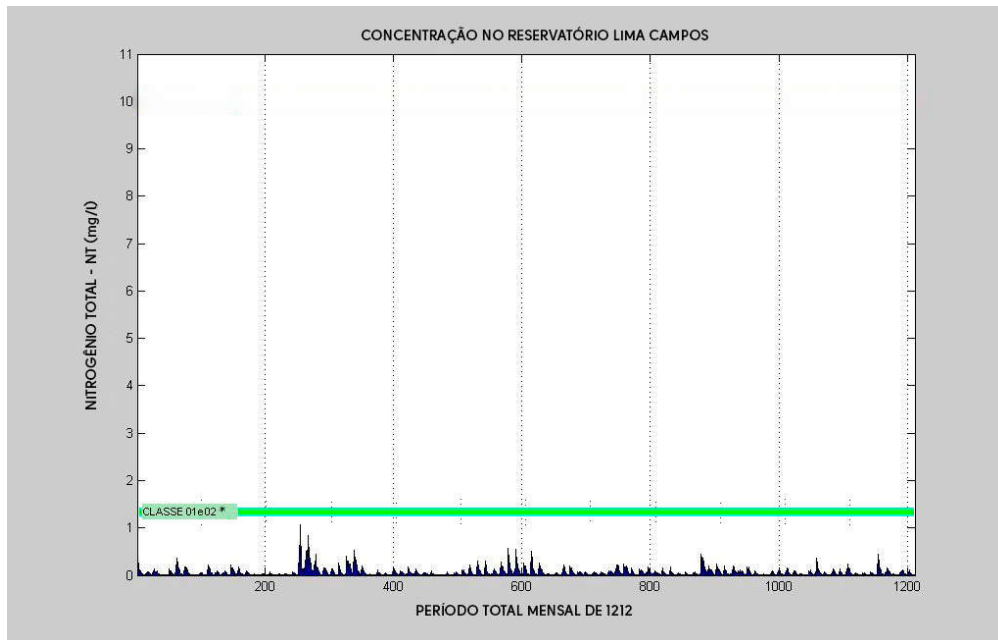
Fonte: Nippon Koei Lac (2017).

Figura 70 - Lima Campos: OD e classes de enquadramento



Fonte: Nippon Koei Lac (2017).

Figura 71 - Lima Campos: Nitrogênio total e classes de enquadramento

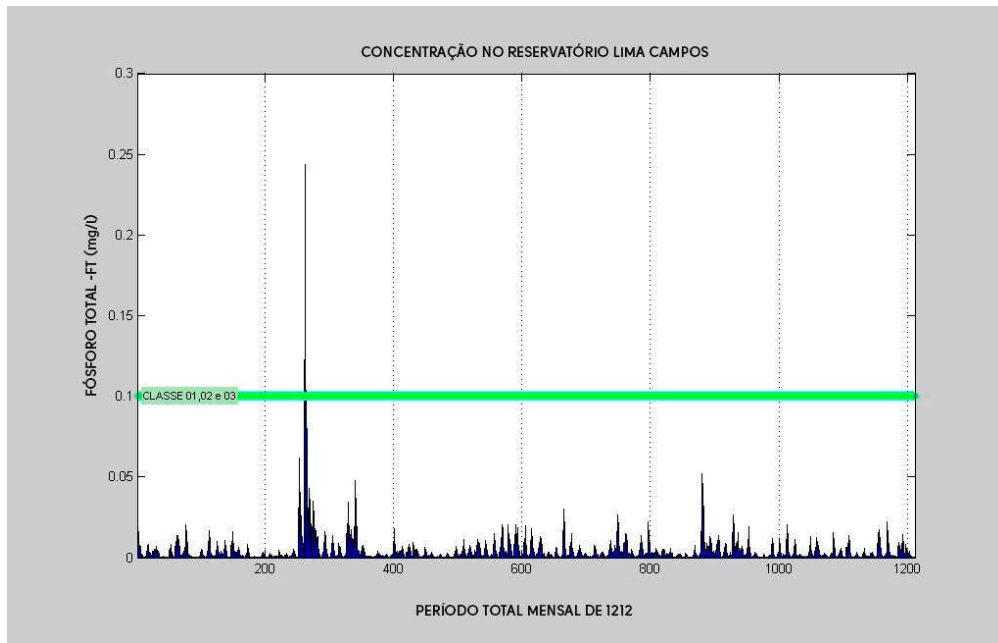


Fonte: Nippon Koei Lac (2017).

Nota: \* Resolução Conama nº 357/2005 determina que, para águas doces de Classes I e II, o valor de nitrogênio total não deverá ultrapassar 1,27 mg/L, caso seja limitante para eutrofização de ambientes lenticos.

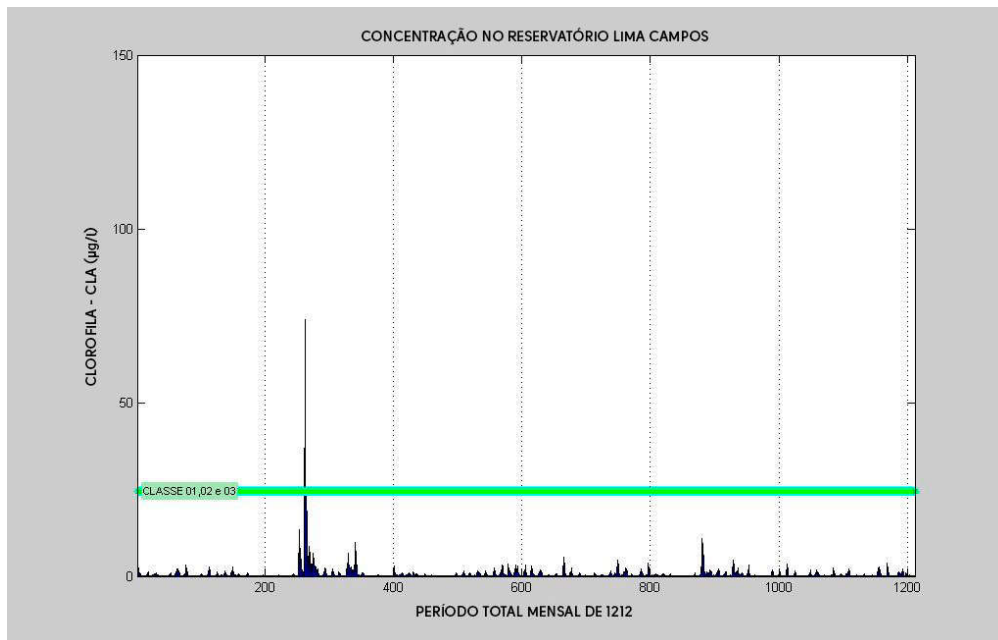


Figura 72 - Lima Campos: Fósforo total e classes de enquadramento



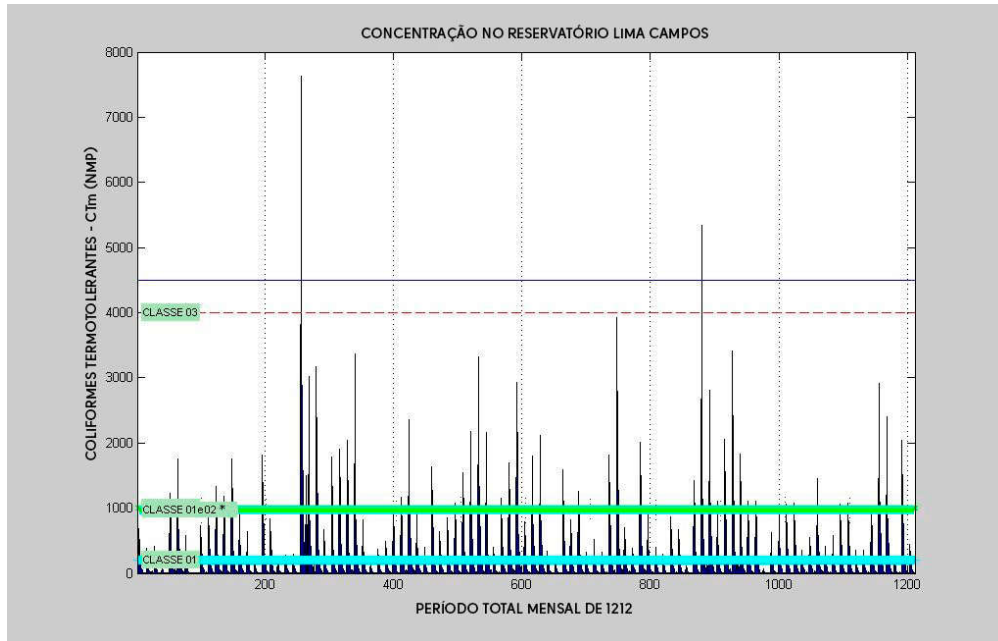
Fonte: Nippon Koei Lac (2017).

Figura 73 - Lima Campos: Clorofila a e classes de enquadramento



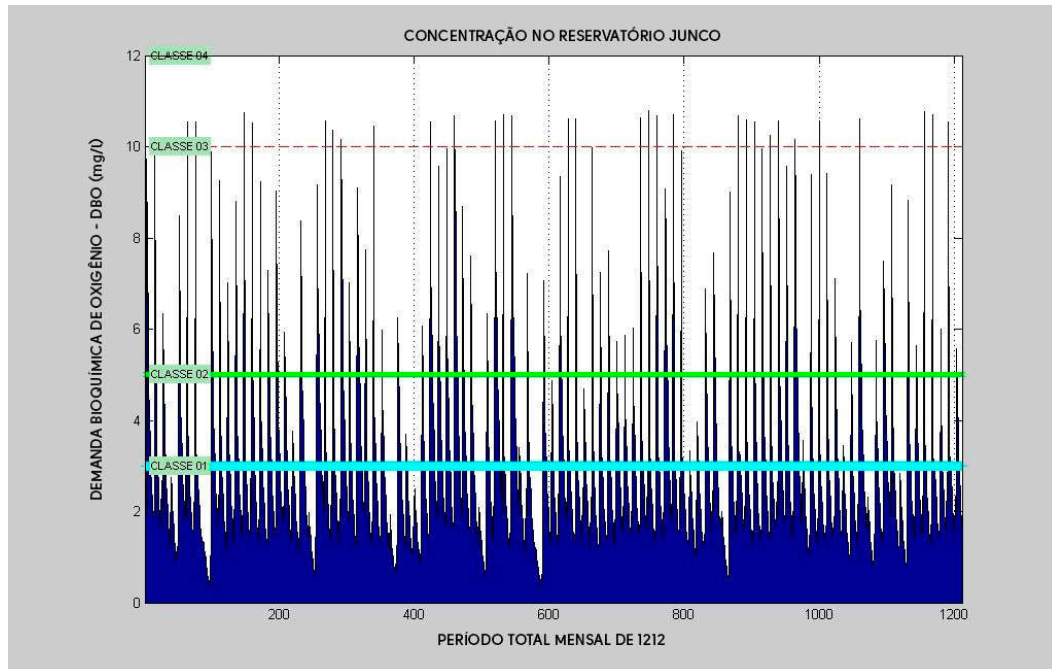
Fonte: Nippon Koei Lac (2017).

Figura 74 - Lima Campos: Coliformes termotolerantes e classes de enquadramento



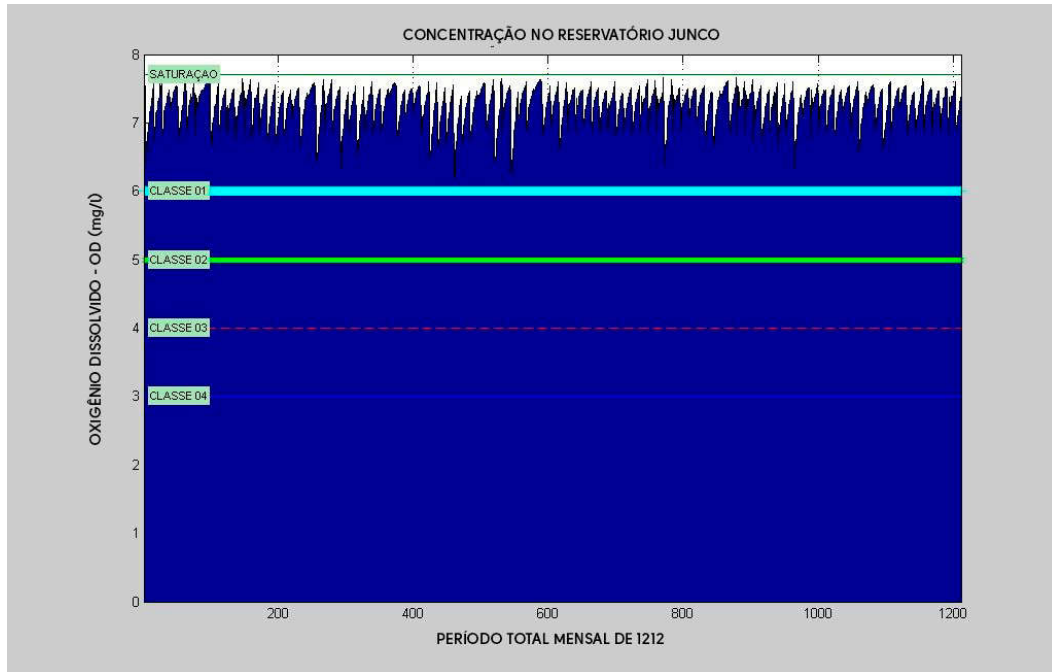
Fonte: Nippon Koei Lac (2017).

Figura 75 - Junco: DBO e classes de enquadramento.



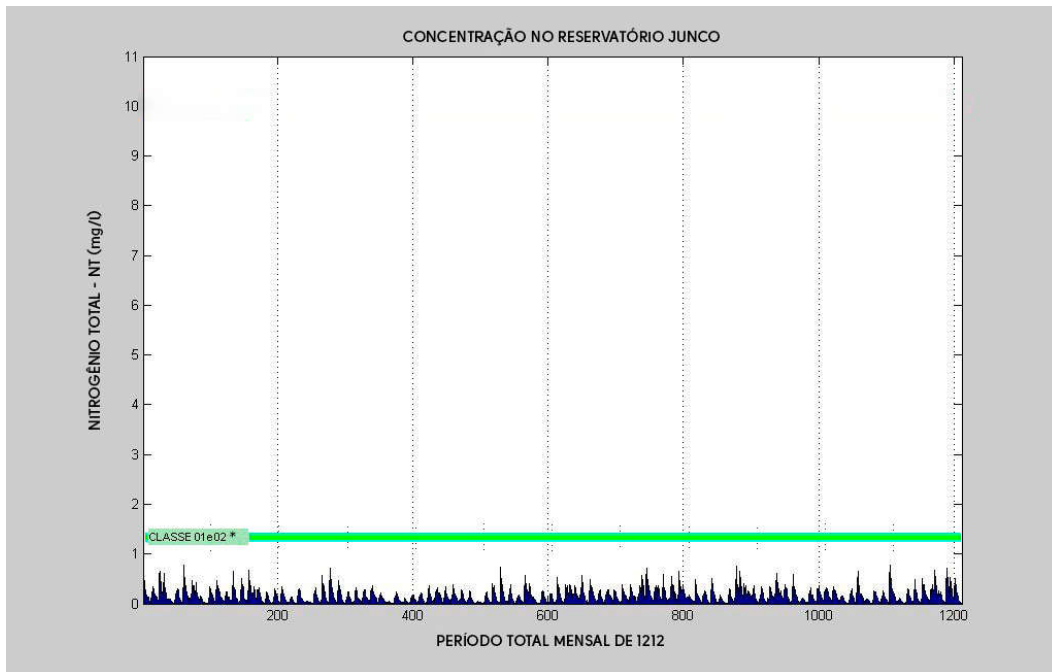
Fonte: Nippon Koei Lac (2017).

Figura 76 - Junco: OD e classes de enquadramento



Fonte: Nippon Koei Lac (2017).

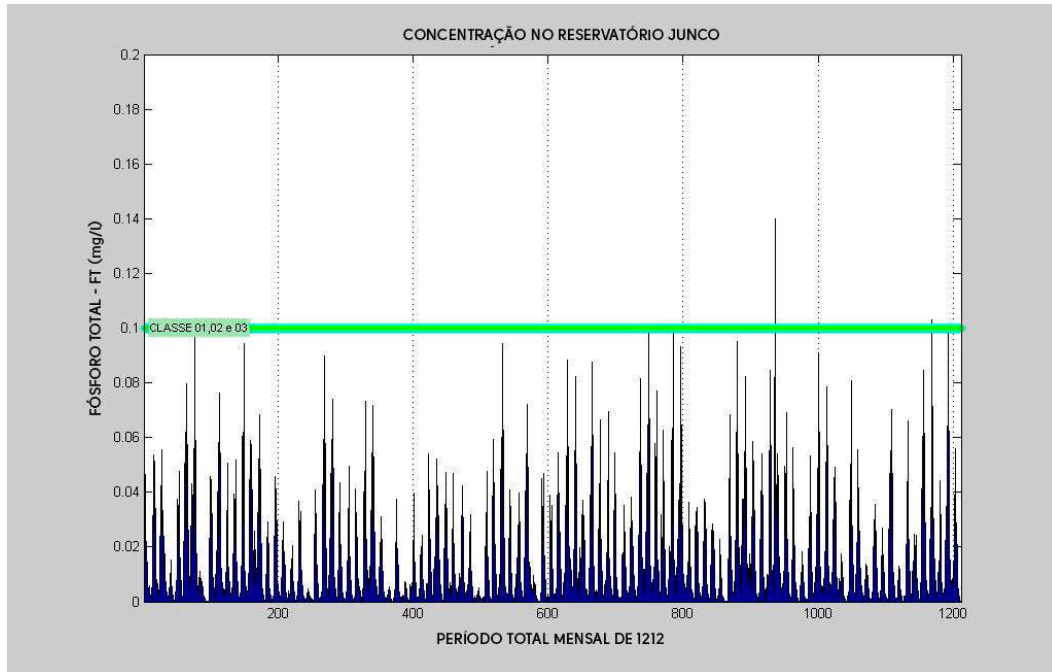
Figura 77 - Junco: Nitrogênio total e classes de enquadramento.



Fonte: Nippon Koei Lac (2017).

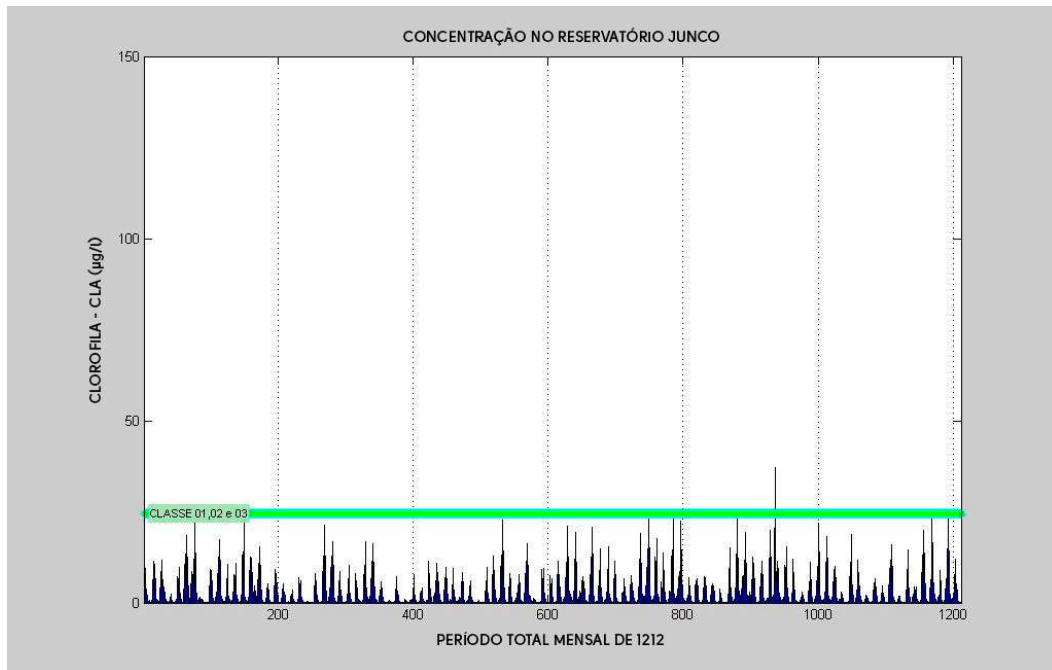
Nota: \* Resolução Conama n° 357/2005 determina que, para águas doces de Classes I e II, o valor de nitrogênio total não deverá ultrapassar 1,27 mg/L, caso seja limitante para eutrofização de ambientes lênticos.

Figura 78 - Junco: Fósforo total e classes de enquadramento.



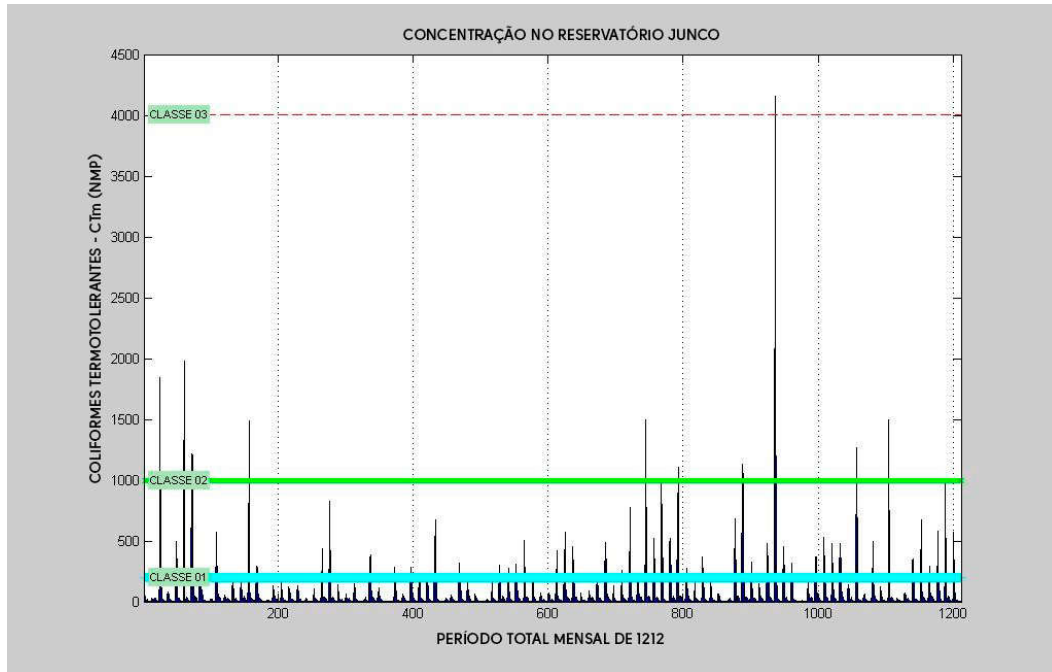
Fonte: Nippon Koei Lac (2017).

Figura 79 - Junco: Clorofila-a e classes de enquadramento.



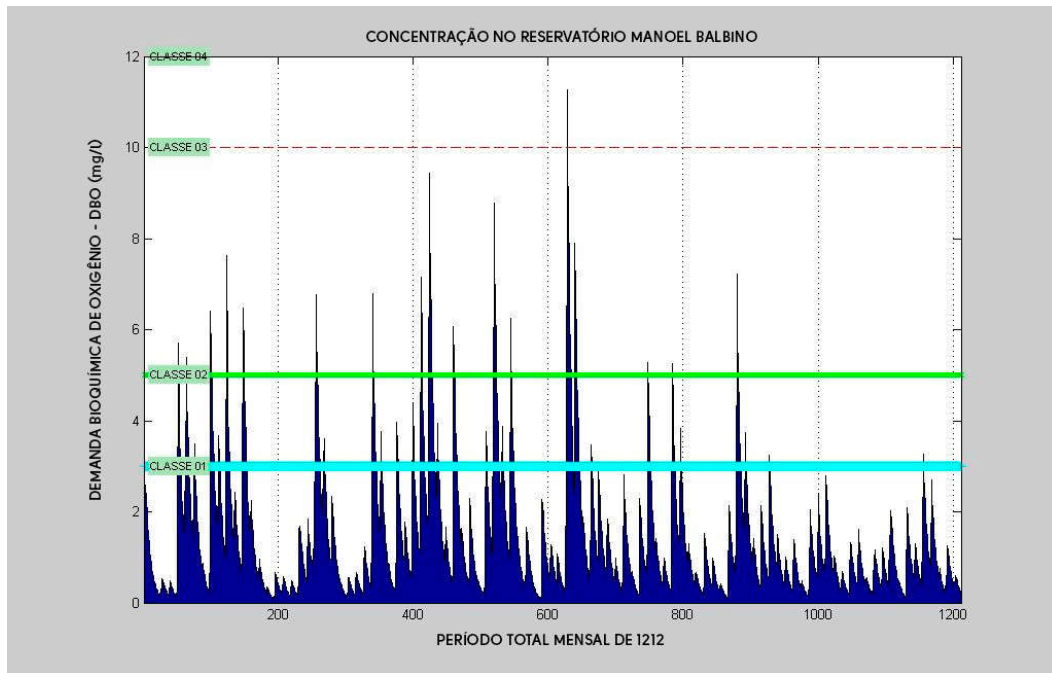
Fonte: Nippon Koei Lac (2017).

Figura 80 - Junco: Coliformes termotolerantes e classes de enquadramento



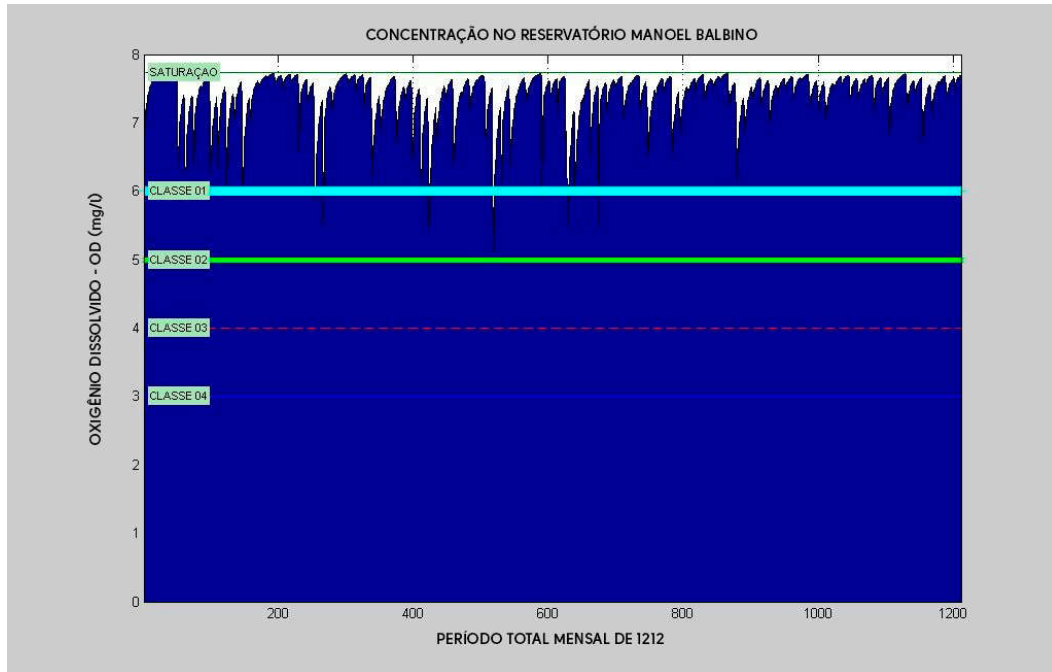
Fonte: Nippon Koei Lac (2017).

Figura 81 - Manoel Balbino: DBO e classes de enquadramento.



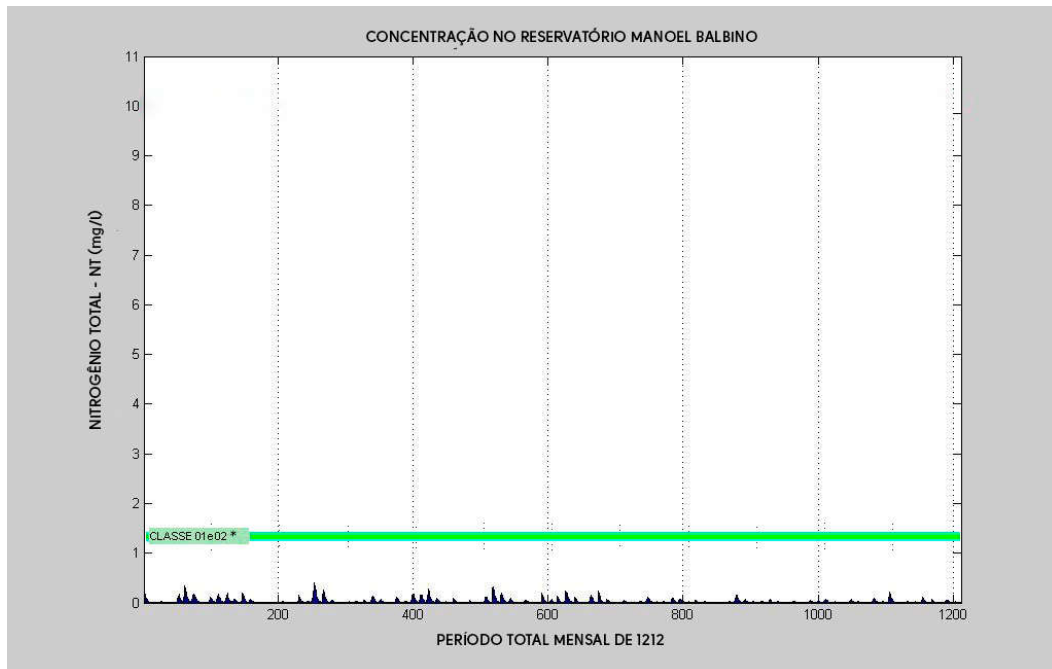
Fonte: Nippon Koei Lac (2017).

Figura 82 - Manoel Balbino: OD e classes de enquadramento.



Fonte: Nippon Koei Lac (2017).

Figura 83 - Manoel Balbino: Nitrogênio total e classes de enquadramento

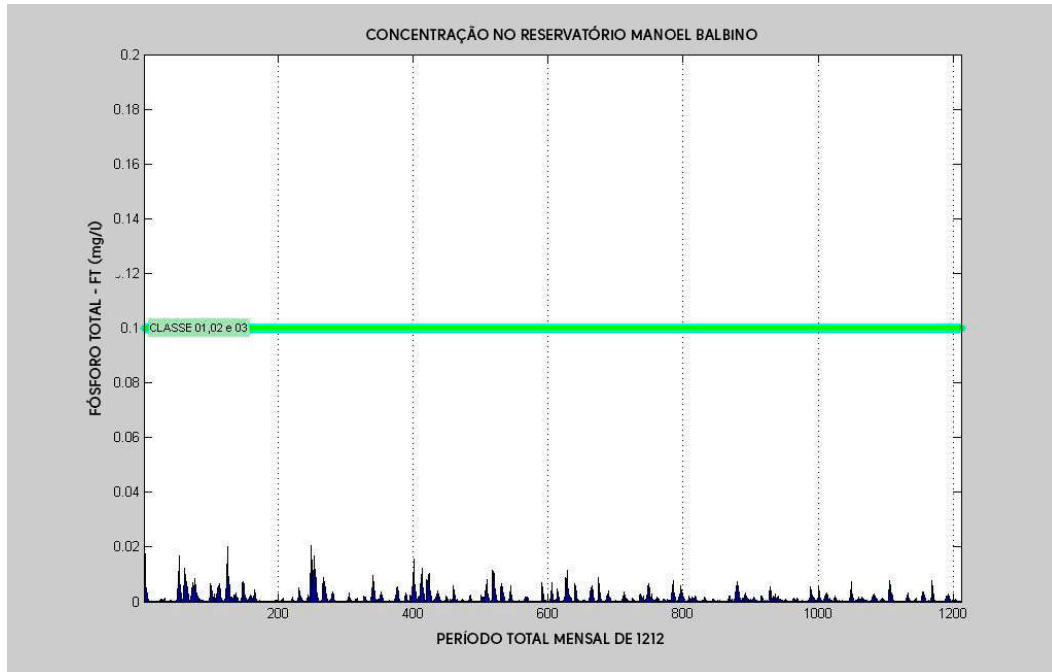


Fonte: Nippon Koei Lac (2017).

Nota: \* Resolução Conama nº 357/2005 determina que, para águas doces de Classes I e II, o valor de nitrogênio total não deverá ultrapassar 1,27 mg/L, caso seja limitante para eutrofização de ambientes lênticos.

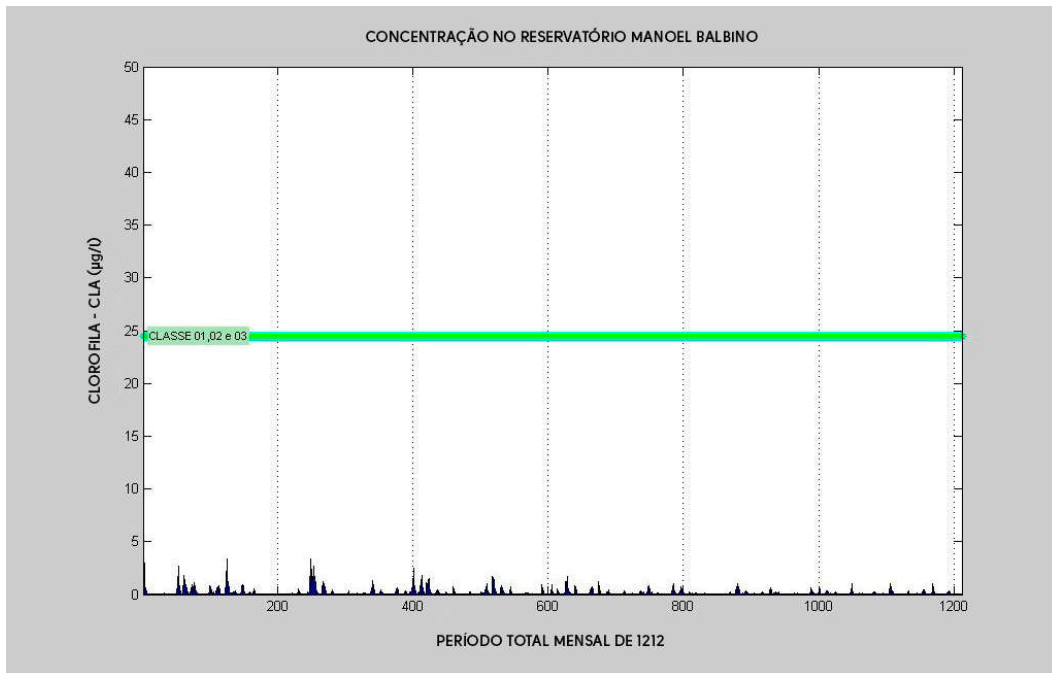


Figura 84 - Manoel Balbino: Fósforo total e classes de enquadramento.



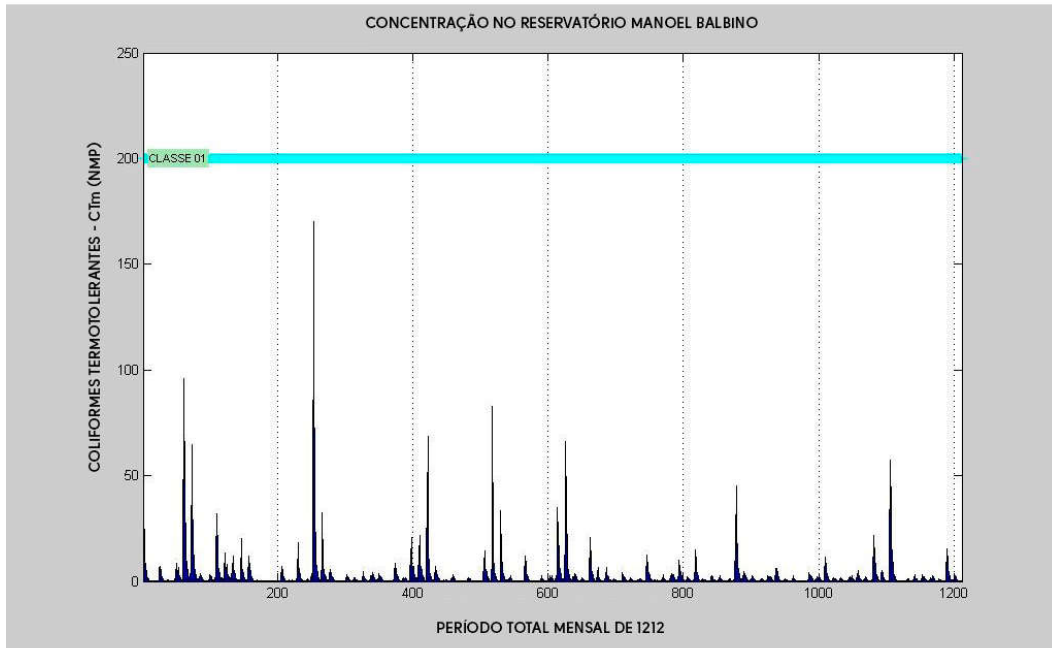
Fonte: Nippon Koei Lac (2017).

Figura 85 - Manoel Balbino: Clorofila-a e classes de enquadramento.



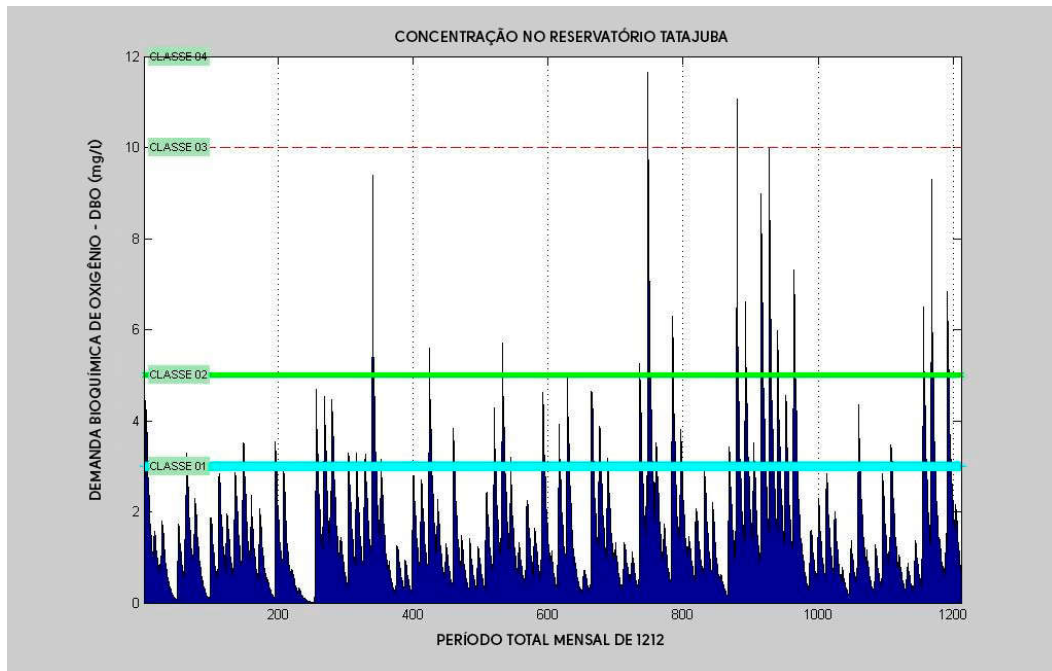
Fonte: Nippon Koei Lac (2017).

Figura 86 - Manoel Balbino: Coliformes termotolerantes e classes de enquadramento.



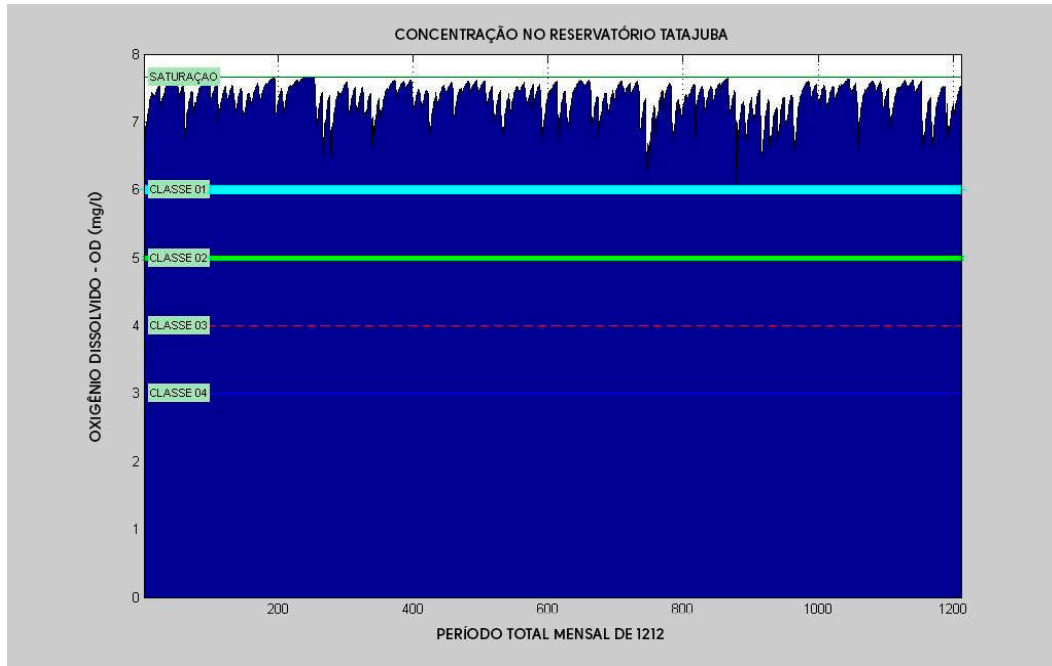
Fonte: Nippon Koei Lac (2017).

Figura 87 - Tatajuba: DBO e classes de enquadramento.



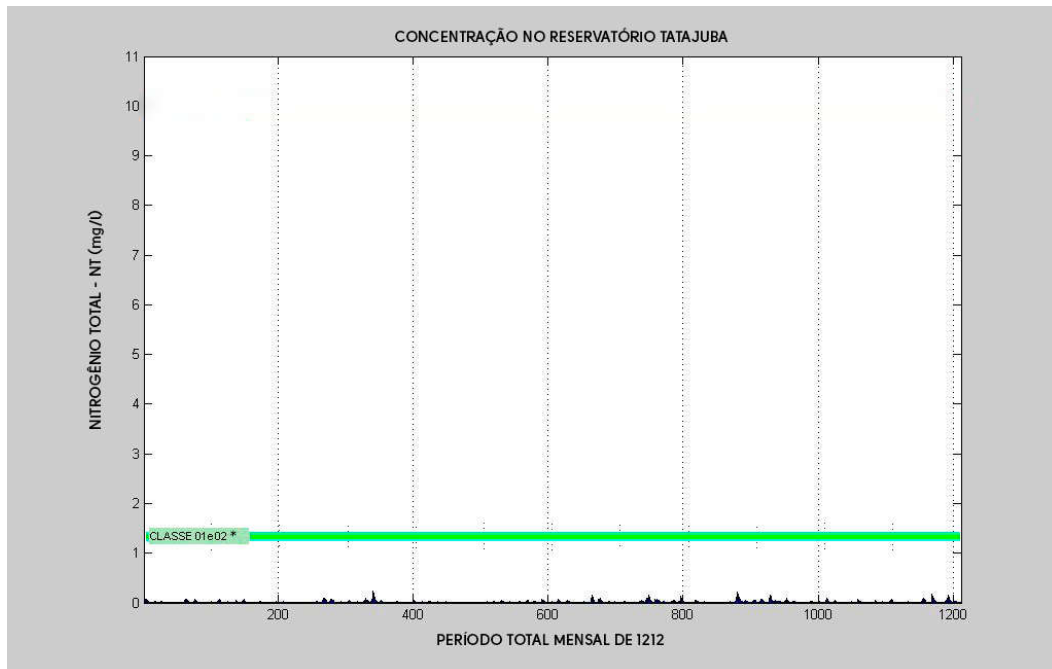
Fonte: Nippon Koei Lac (2017).

Figura 88 - Tatajuba: OD e classes de enquadramento.



Fonte: Nippon Koei Lac (2017).

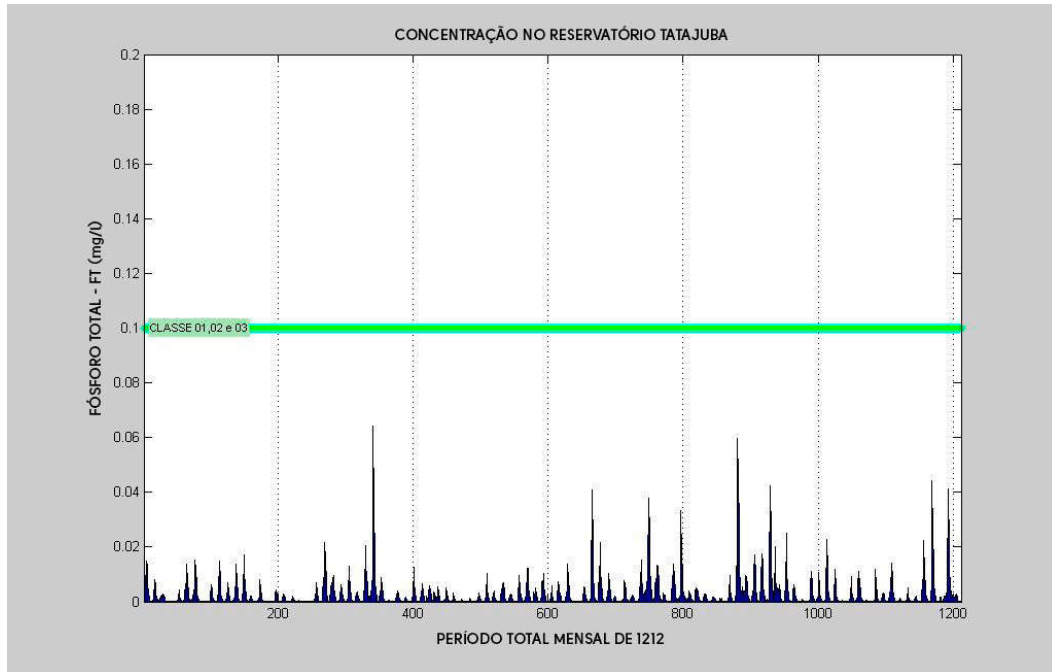
Figura 89 - Tatajuba: Nitrogênio total e classes de enquadramento.



Fonte: Nippon Koei Lac (2017).

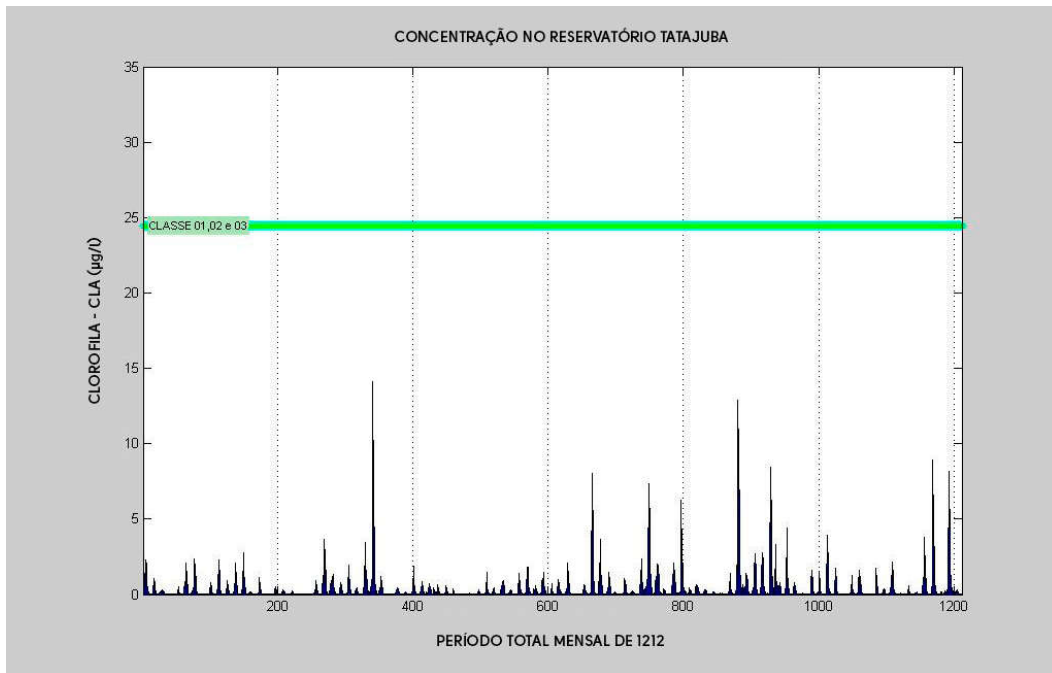
Nota: \* Resolução Conama nº 357/2005 determina que, para águas doces de Classes I e II, o valor de nitrogênio total não deverá ultrapassar 1,27 mg/L, caso seja limitante para eutrofização de ambientes lânticos.

Figura 90 - Tatajuba: Fósforo total e classes de enquadramento.



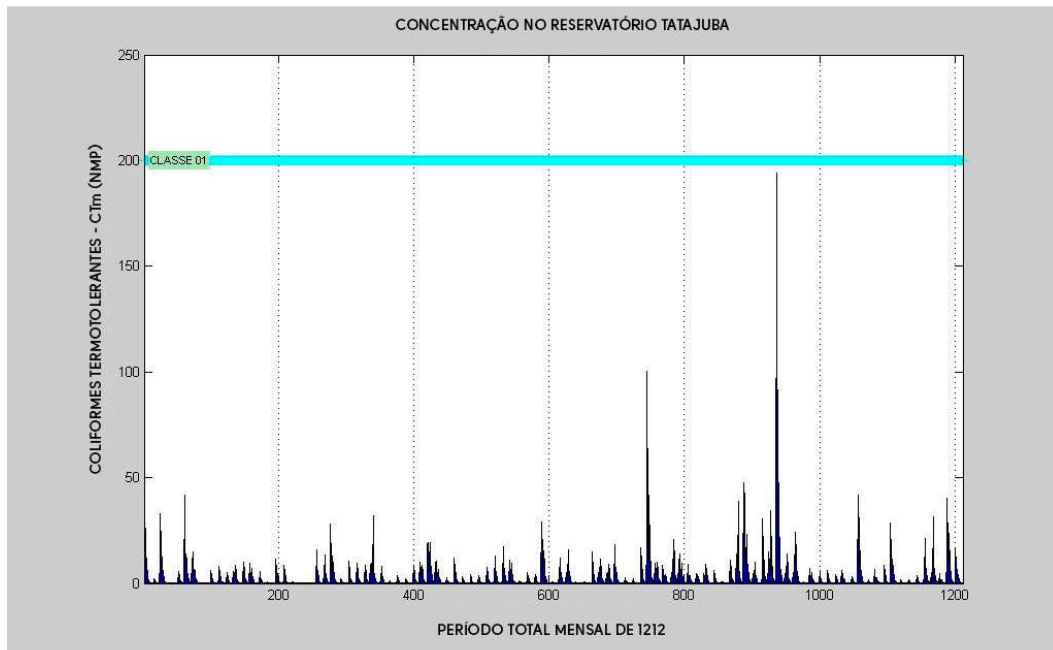
Fonte: Nippon Koei Lac (2017).

Figura 91 - Tatajuba: Clorofila-a e classes de enquadramento.



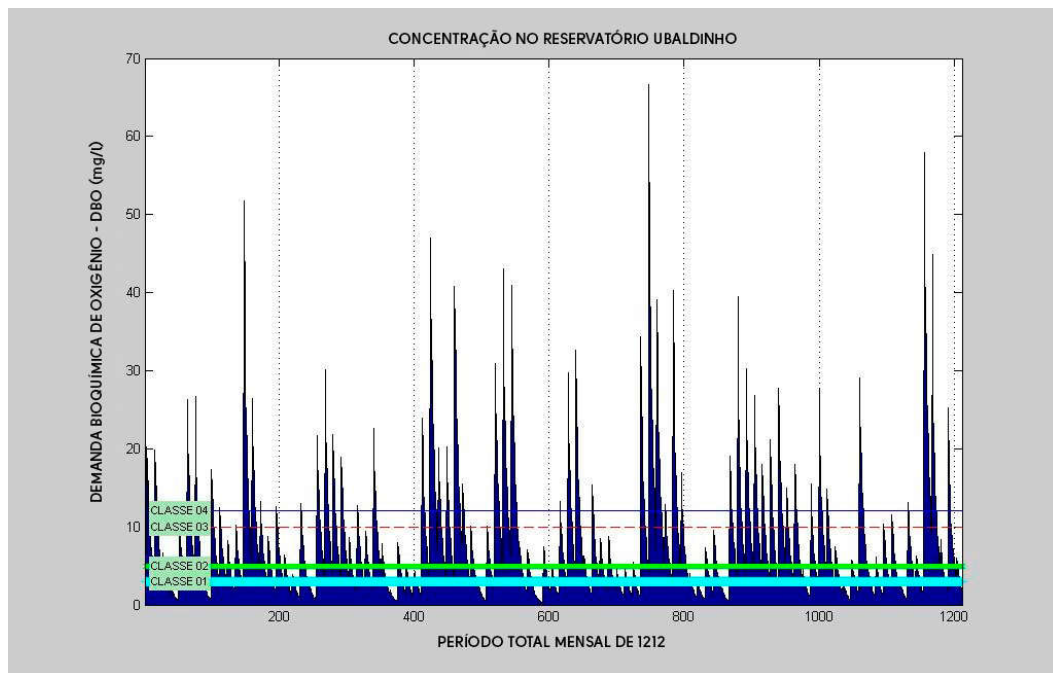
Fonte: Nippon Koei Lac (2017).

Figura 92 - Tatajuba: Coliformes termotolerantes e classes de enquadramento.



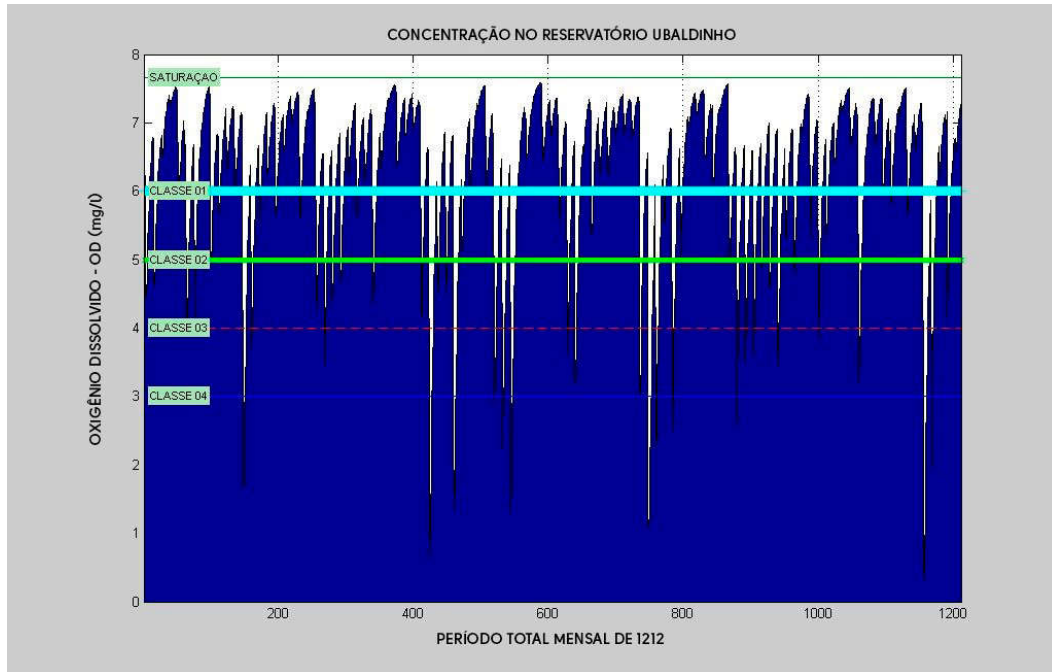
Fonte: Nippon Koei Lac (2017).

Figura 93 - Ubaldinho: DBO e classes de enquadramento.



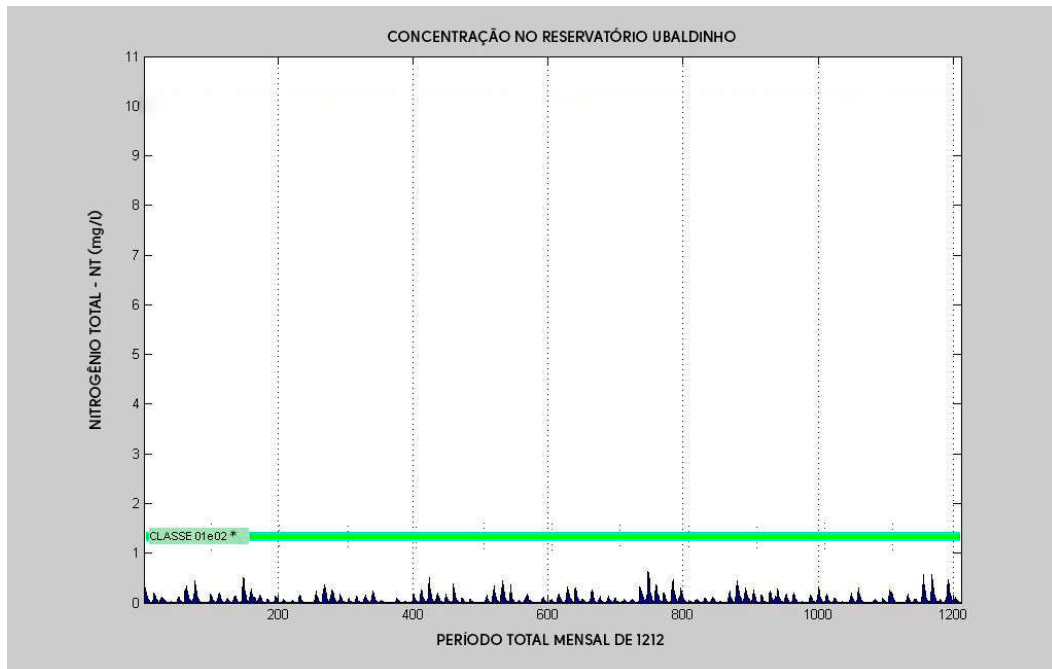
Fonte: Nippon Koei Lac (2017).

Figura 94 - Ubaldinho: OD e classes de enquadramento.



Fonte: Nippon Koei Lac (2017).

Figura 95 - Ubaldinho: Nitrogênio total e classes de enquadramento.

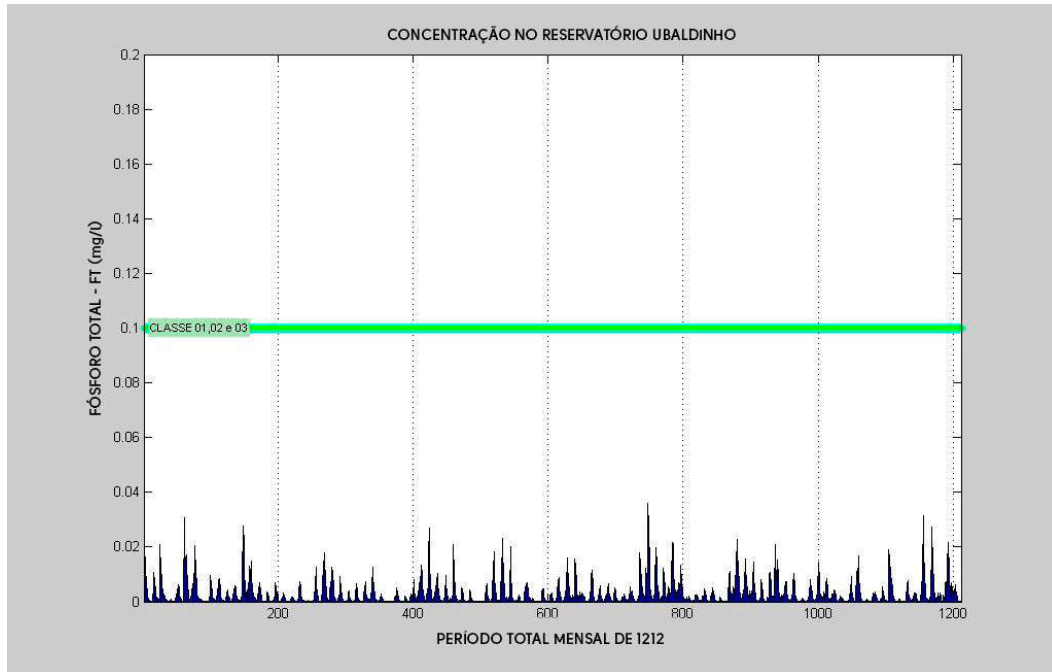


Fonte: Nippon Koei Lac (2017).

Nota: \* Resolução Conama nº 357/2005 determina que, para águas doces de Classes I e II, o valor de nitrogênio total não deverá ultrapassar 1,27 mg/L, caso seja limitante para eutrofização de ambientes lênticos.

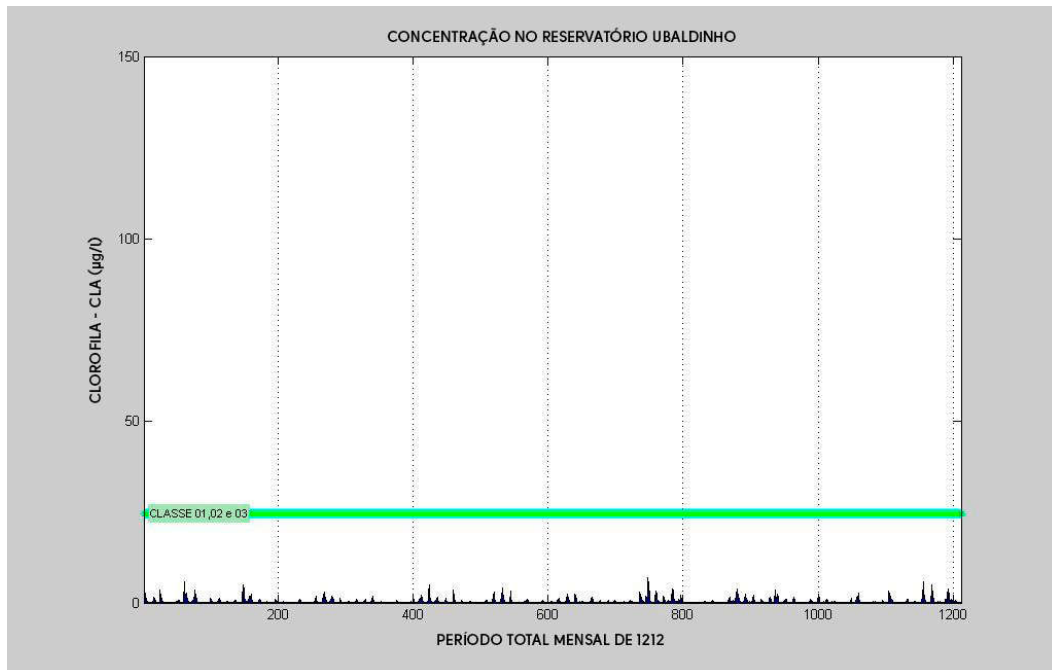


Figura 96 - Ubaldinho: Fósforo total e classes de enquadramento.



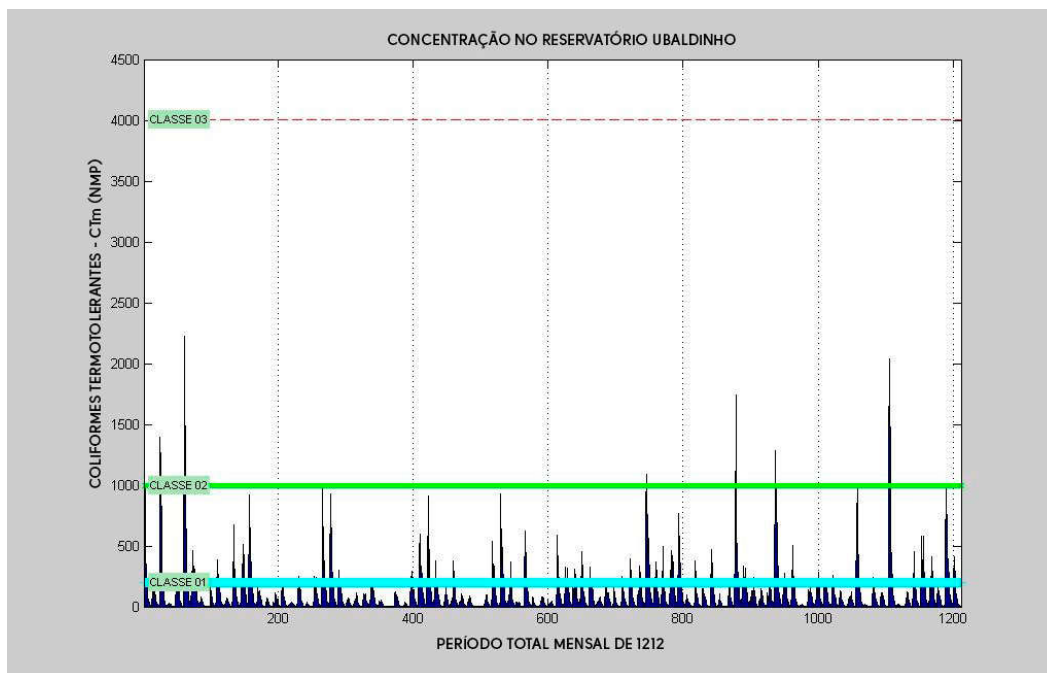
Fonte: Nippon Koei Lac (2017).

Figura 97 - Ubaldinho: Clorofila-a e classes de enquadramento.



Fonte: Nippon Koei Lac (2017).

Figura 98 - Ubaldinho: Coliformes termotolerantes e classes de enquadramento.



Fonte: Nippon Koei Lac (2017).

As concentrações médias anuais de fósforo obtidas para cada cenário elaborado nos horizontes de planejamento de 2020 e 2030 são apresentadas na Tabela 14.

Tabela 14 - Concentrações médias anuais de fósforo para cada cenário produtivo dos reservatórios da Sub-Bacia do Salgado

Cenário e condições		Concentração Média Anual de Fósforo (mg/l)				
		Junco	Lima Campos	Manoel Balbino	Tatajuba	Ubaldinho
POPULAÇÃO PROJETADA - 2020	n = 1	0,0971	0,131	0,0332	0,0268	0,0633
	n = 1,5	0,138021	0,178914	0,045228	0,03785	0,089829
	n = 2	0,178913	0,226747	0,057296	0,048949	0,116333
	n = 2,5	0,219803	0,274582	0,069365	0,060047	0,142836
	n = 3	0,260695	0,322416	0,081434	0,071145	0,169339
POPULAÇÃO PROJETADA - 2030	n = 1	0,0971	0,1312	0,0333	0,02676	0,0638
	n = 1,5	0,138014	0,179038	0,045346	0,037853	0,090318
	n = 2	0,178904	0,226872	0,057414	0,048951	0,116821
	n = 2,5	0,219795	0,274706	0,069483	0,060049	0,143324
	n = 3	0,260697	0,322541	0,081551	0,071148	0,169827

Fonte: Nippon Koei Lac, 2017.



**ipece**

INSTITUTO  
DE PESQUISA  
E POTENCIAL  
ECONÔMICO  
DO CEARÁ



**GOVERNO DO  
ESTADO DO CEARÁ**  
*Secretaria dos Recursos Hídricos*

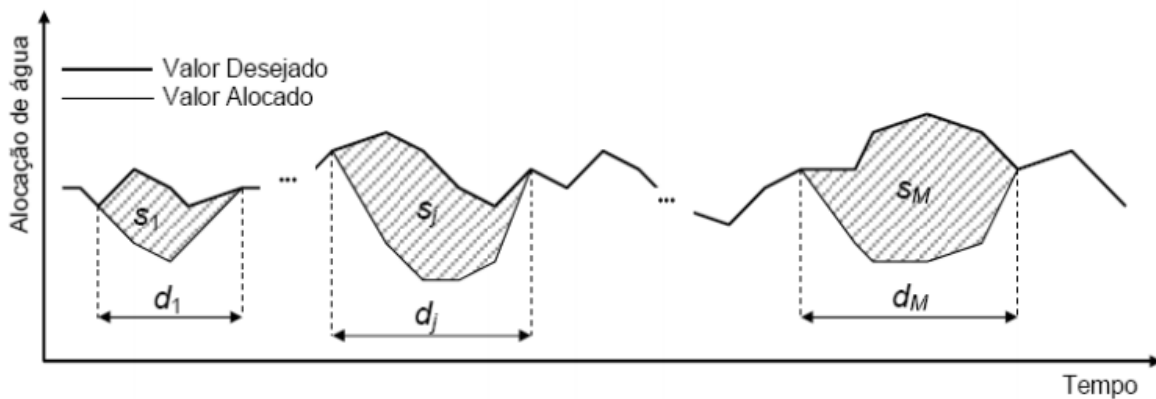
## 6. INDICADORES DE ANÁLISE DE DESEMPENHO



## 6. INDICADORES DE ANÁLISE DE DESEMPENHO

Para avaliar o desempenho do atendimento das demandas hídricas em duas condições, numa respeitando o ponto ótimo de qualidade e na outra simplesmente retirando uma vazão constante, foram incluídos indicadores de análise de desempenho, como confiabilidade, vulnerabilidade, resiliência e sustentabilidade. Tais indicadores, utilizados para avaliação de risco ao atendimento às demandas hídricas, foi proposto por Hashimoto *et al.* (1982). Eles são determinados utilizando a série temporal  $X_t$ ,  $t = 1, \dots, NT$ , onde  $NT$  o número total de intervalos de tempo, e os respectivos valores limite  $X_{0t}$  especificados, separando os valores satisfatórios dos insatisfatórios de modo que uma falha ocorra quando  $X_t < X_{0t}$ . Seja  $NF$  o número de intervalos de tempo no qual  $X_t < X_{0t}$  e sejam  $d_j$  e  $s_j$ , respectivamente, a duração e o volume de déficit do  $j$ -ésimo evento de falhas,  $j = 1, \dots, M$ , onde  $M$  é o número de eventos insatisfatórios (Figura 99).

Figura 99 - Duração e volumes de déficit em período de falhas



Fonte: Vieira (2011).

Nota:  $d_j$  e  $s_j$  representam, respectivamente, a duração e o volume do déficit do  $j$ -ésimo evento de falha,  $j = 1, \dots, M$ , onde  $M$  é o número de eventos insatisfatórios.

A confiabilidade (Conf) é a probabilidade de a série temporal permanecer em estado satisfatório durante o horizonte de operação, ou seja, a percentagem do tempo em que o sistema funciona sem falhas. Equivale à garantia, quando da aplicação de modelos puros de simulação de operação dos reservatórios.

$$Conf = \Pr\{X_t > X_{0t}\} = \{X_t > X_{0t}\} = 1 - \frac{NF}{NT}$$

Onde:

$X_t > X_{0t}$  = Evento insatisfatório (falha);

NF = Número de intervalos de tempo com falha;

NT = Número total de intervalos de tempo.

A resiliência (Res) é a forma como o sistema recupera-se de uma falha, uma vez que esta tenha ocorrido, ou seja, é a probabilidade de haver um estado satisfatório no período  $t_{+1}$  dado um valor insatisfatório no período  $t$ . Pode ser, ainda, definida como o inverso do valor esperado do tempo em que o sistema permanece em estado insatisfatório,  $E[d]$ .

$$Res = \frac{1}{E[d]} = \left[ \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M d_j \right]^{-1}$$

Onde:

$E[d]$  = Valor esperado do tempo em que o sistema permanece em estado insatisfatório;

$M$  = Número de eventos insatisfatórios;

$d_j$  = Duração do déficit do  $j$ -ésimo evento de falha.

A vulnerabilidade (Vul) é a magnitude das falhas a que o sistema está sujeito.

$$Vul = E\{s\} = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M s_j$$

$E\{s\}$  = Valor esperado do volume em que o sistema permanece em estado insatisfatório;

$M$  = Número de eventos insatisfatórios;

$s_j$  = Volume do déficit do  $j$ -ésimo evento de falha.

Loucks (2000) propôs um índice de sustentabilidade geral definido pelo produto entre a confiabilidade, a resiliência e a parte não vulnerável.

$$Sust = Conf \times Res \times (1 - Vul)$$

Para efeito de análise, com as retiradas ótimas determinadas mês a mês, via programação linear sequencial, é possível determinar os indicadores de desempenho definidos por Hashimoto *et al.* (1982). No modelo aplicado aborda-se o impacto das mudanças operacionais nos horizontes

desejados, determinando-se os indicadores de desempenho e o enquadramento dos corpos d' água para os parâmetros de qualidade de água considerados neste estudo.

Logo, para os 15 reservatórios escolhidos estrategicamente pela contratante para realizar as análises qualitativas são apresentados nas Tabelas 15, 16 e 17 os indicadores de desempenho da demanda simulada para máxima garantia qualitativa, da perspectiva do modelo multiobjetivo de otimização a futuro desconhecido.

Tabela 15 - Indicadores de análise de desempenho da demanda simulada para máxima garantia qualitativa - Bacias Metropolitanas

Indicadores	Aracoiaba	Catucinzenta	Gavião	Malcozinhado	Maranguapinho
Nº de falhas	6,0	0,0	8,0	0,0	0,0
Nº de falhas com subsequente recuperação	1,0	0,0	2,0	0,0	0,0
Confiabilidade (%)	99,5	100,0	99,3	100,0	100,0
Resiliência (%)	16,7	100,0	25,0	100,0	100,0
Vulnerabilidade (%)	76,0	0,0	76,8	0,0	0,0
Sustentabilidade (%)	4,0	100,0	5,8	100,0	100,0

Fonte: Nippon Koei Lac (2017).

Tabela 16 - Indicadores de análise de desempenho da demanda simulada para máxima garantia qualitativa - Bacia do Acaraú

Indicadores	Acaraú Mirim	Araras	Jenipapo	São Vicente	Taquara
Nº de falhas	0,0	11,0	0,0	6,0	0,0
Nº de falhas com subsequente recuperação	0,0	2,0	0,0	2,0	0,0
Confiabilidade (%)	100,0	99,1	100,0	99,5	100,0
Resiliência (%)	100,0	18,2	100,0	33,3	100,0
Vulnerabilidade (%)	0,0	78,2	0,0	63,6	0,0
Sustentabilidade (%)	100,0	3,9	100,0	12,1	100,0

Fonte: Nippon Koei Lac (2017).



Tabela 17 - Indicadores de análise de desempenho da demanda simulada para máxima garantia qualitativa - Sub-Bacia do Salgado

Indicadores	Junco	Lima Campos	Manoel Balbino	Tatajuba	Ubalzinho
Nº de falhas	0,0	14,0	0,0	0,0	0,0
Nº de falhas com subsequente recuperação	0,0	2,0	0,0	0,0	0,0
Confiabilidade (%)	100,0	98,8	100,0	100,0	100,0
Resiliência (%)	100,0	14,3	100,0	100,0	100,0
Vulnerabilidade (%)	0,0	83,0	0,0	0,0	0,0
Sustentabilidade (%)	100,0	2,4	100,0	100,0	100,0

Fonte: Nippon Koei Lac (2017).

A seguir serão apresentados os resultados da segunda condição, que se caracteriza pela retirada de uma vazão constante regularizada com 90% de garantia. As Tabelas 18, 19 e 20 mostram os indicadores de análise de desempenho para os reservatórios inseridos nas Bacias Metropolitanas, na Bacia do Acaraú e na Sub-Bacia do Salgado. Para análise, dentre os 52 reservatórios, exceto o Sobral não apresentou vazão regularizada com garantia de 90%.

Tabela 18 - Indicadores de análise de desempenho da demanda simulada para vazão regularizada com 90% de garantia - Bacias Metropolitanas

Reservatório	Nº de falhas	Nº de falhas com subsequente recuperação	Conf (%)	Res (%)	Vul (%)	Sust (%)
Acarape do Meio	63	8	90,0%	7,9%	81,4%	1,3%
Amanary	121	23	90,0%	5,3%	75,0%	1,2%
Aracoiaba	120	21	90,0%	5,7%	79,6%	1,1%
Batente	103	11	90,0%	9,4%	81,9%	1,5%
Castro	119	17	90,0%	7,0%	77,8%	1,4%
Catucinzenta	62	8	90,0%	7,8%	96,6%	0,2%
Cauhipe	120	21	90,0%	5,7%	82,6%	0,9%
Cocó	121	27	90,0%	4,5%	73,7%	1,1%
Gavião	122	17	90,0%	7,2%	85,4%	0,9%
Germinal	62	20	90,0%	3,1%	70,3%	0,8%
Itapebussu	122	15	90,0%	8,1%	92,3%	0,6%
Macacos	103	11	90,0%	9,4%	98,6%	0,1%
Malcozinhado	64	19	90,0%	3,4%	66,9%	1,0%
Maranguapinho	120	22	90,0%	5,5%	83,4%	0,8%
Pacajus	120	20	90,0%	6,0%	77,0%	1,2%
Pacoti	63	6	90,0%	10,5%	86,2%	1,3%
Penedo	63	9	90,0%	7,0%	94,4%	0,4%
Pesqueiro	121	20	90,0%	6,1%	72,7%	1,5%
Pompeu Sobrinho	120	15	90,0%	8,0%	84,3%	1,1%
Riachão	62	9	90,0%	6,9%	89,8%	0,6%
Sítios Novos	121	20	90,0%	6,1%	81,8%	1,0%
Tijuquinha	121	44	90,0%	2,8%	61,0%	1,0%

Fonte: Nippon Koei Lac (2017).

Tabela 19 - Indicadores de análise de desempenho da demanda simulada para vazão regularizada com 90% de garantia - Bacia do Acaraú

Reservatório	Nº de falhas	Nº de falhas com subsequente recuperação	Conf (%)	Res (%)	Vul (%)	Sust (%)
Acaraú Mirim	112	12	90,0%	9,0%	92,0%	1,0%
Araras	112	16	90,0%	7,0%	81,0%	1,2%
Arrebita	121	29	90,0%	4,2%	80,0%	0,8%
Ayres de Sousa	112	18	90,0%	6,2%	84,9%	0,8%
Bonito	112	15	90,0%	7,5%	98,7%	0,1%
Carão	112	3	90,0%	37,3%	98,5%	0,5%
Carmina	121	10	90,0%	12,1%	94,3%	0,6%
Edson Queiroz	121	14	90,0%	8,6%	88,5%	0,9%
Farias de Sousa	112	11	90,0%	10,2%	90,8%	0,8%
Forquilha	121	30	90,0%	4,0%	76,0%	0,9%
Jatobá II	111	18	90,0%	6,2%	79,1%	1,2%
Jenipapo	111	9	90,0%	12,3%	92,3%	0,9%
São Vicente	112	18	90,0%	6,2%	83,4%	0,9%
Taquara	112	11	90,0%	10,2%	86,8%	1,2%

Fonte: Nippon Koei Lac (2017).

Tabela 20 - Indicadores de análise de desempenho da demanda simulada para vazão regularizada com 90% de garantia - Sub-Bacia do Salgado

Reservatório	Nº de falhas	Nº de falhas com subsequente recuperação	Conf (%)	Res (%)	Vul (%)	Sust (%)
Atalho	122	14	90,0%	8,7%	81,6%	1,4%
Cachoeira	120	15	90,0%	8,0%	86,5%	1,0%
Gomes	61	8	90,0%	7,6%	83,6%	1,1%
Jenipapeiro II	120	16	90,0%	7,5%	88,8%	0,8%
Junco	122	19	90,0%	6,4%	87,0%	0,8%
Lima Campos	122	19	90,0%	6,4%	84,4%	0,9%
Manoel Balbino	121	13	90,0%	9,3%	86,8%	1,1%
Olho d'Água	120	10	90,0%	12,0%	92,7%	0,8%
Prazeres	61	8	90,0%	7,6%	85,1%	1,0%
Quixabinha	61	6	90,0%	10,2%	95,3%	0,4%
Rosário	122	15	90,0%	8,1%	92,1%	0,6%
São Domingos II	120	14	90,0%	8,6%	85,1%	1,2%
Tatajuba	120	16	90,0%	7,5%	93,3%	0,5%
Thomás Osterne	120	13	90,0%	9,2%	93,2%	0,6%
Ubalzinho	120	17	90,0%	7,1%	89,4%	0,7%

Fonte: Nippon Koei Lac (2017).



**ipece**

INSTITUTO  
DE PESQUISA  
E POTENCIAL  
ECONÔMICO  
DO CEARÁ



**GOVERNO DO  
ESTADO DO CEARÁ**  
*Secretaria dos Recursos Hídricos*

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS





**ipece**

INSTITUTO  
DE PESQUISA  
E ESTATÍSTICA  
ECONÔMICA  
DO CEARÁ



**GOVERNO DO  
ESTADO DO CEARÁ**  
*Secretaria dos Recursos Hídricos*

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA. Agência Nacional de Águas, **Portal de Metadados Espaciais da Agência Nacional de Águas**. 2016. <<http://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/pt/main.home>>. Acesso em agosto de 2016.

Brasil. Ministério da Integração Nacional - Secretaria de Infraestrutura Hídrica, **Projeto de Transposição de Águas do Rio São Francisco para o Nordeste Setentrional – Estudos de Inserção Regional – Relatório Geral – Tomo I**. v 1, 269 p, 2000.

Cogerh. Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos, **Dados de demandas das fichas cadastrais de concessão de uso de água da Cogerh**. Governo do Estado do Ceará, Fortaleza. Concedidos pela Cogerh em novembro de 2017.

Cogerh. Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos, **Base Cartográfica da Cogerh** <<https://portal.cogerh.com.br/base-cartografica.html>>. Acesso em agosto de 2016.

Cogerh. Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos – UFC – Universidade Federal do Ceará, **Estudos de regionalização de parâmetros de modelo hidrológico chuva-vazão para as bacias totais e incrementais dos reservatórios monitorados pela Cogerh**. Disponibilizado em capítulos, 2013.

Cogerh. Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos, **Plano de Gerenciamento das Águas da Bacia do Rio Jaguaribe**. Governo do Estado do Ceará, Fortaleza, 1999.

Cogerh. Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos, **Plano de Gerenciamento das Águas da Bacia do Acaraú**. Governo do Estado do Ceará, Fortaleza, 2010.

Cogerh. Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos, **Plano de Gerenciamento das Águas das Bacias Metropolitanas**. Governo do Estado do Ceará, Fortaleza, 2000.

Hashimoto, T.; Stedinger, J. R.; Loucks, D. P., (1982), **Reliability, Resiliency, and Vulnerability Criteria for Water Resource System Performance Evaluation**. Water Resources Research, vol. 18, n. 1, p. 14-20.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, **Projeções populacionais municipais para os anos 2013, 2014, 2015, 2016 e 2017**. Acesso em agosto de 2017.





**ipece**

INSTITUTO DE PESQUISA E ESTATÍSTICA ECONÔMICA DO CEARÁ



**GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ**  
Secretaria dos Recursos Hídricos

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, **Índice de cartas e mapas – bases cartográficas contínuas, versão 2015**. Acesso em agosto de 2016.

Loucks, D. P. (2000), **Sustainable water resources management**. Water International Resource Association, v. 25, n. 1 p. 3-10, mar.

Molinas, P. A.. **A Gestão dos Recursos Hídricos no Semiárido Nordestino: A Experiência Cearense**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 01, p. 69-87, 1996.

Sarmiento, F. J. (2005), **Transposição do Rio São Francisco – Realidade e Obra a Construir**. Edicel, Brasília, 131 p.

SRH. Secretaria dos Recursos Hídricos do Ceará, **Atlas Eletrônico dos Recursos Hídricos do Ceará**, <<http://atlas.srh.ce.gov.br/>> Acesso em dezembro de 2017.

SRH. Secretaria dos Recursos Hídricos do Ceará, **Consolidação da Política e dos Programas de Recursos Hídricos do Estado do Ceará – Atualização do Plano Estadual de Recursos Hídricos – PLANERH**. Governo do Estado do Ceará, Fortaleza, 2005.

Vieira, A. S. (2011), **Modelo de simulação quali-quantitativo multiobjetivo para o planejamento integrado dos sistemas de recursos hídricos**. 275 f., Tese (Doutorado em Recursos Naturais) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais.

