

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

NILTON FERNANDES DE OLIVEIRA

MONITORAMENTO E CONTROLE DA QUALIDADE DA ÁGUA EM USINAS
HIDRELÉTRICAS – ESTUDO DE CASO PARA A CEMIG GERAÇÃO E
TRANSMISSÃO S.A.

BELO HORIZONTE
2018

NILTON FERNANDES DE OLIVEIRA

MONITORAMENTO E CONTROLE DA QUALIDADE DA ÁGUA EM USINAS
HIDRELÉTRICAS – ESTUDO DE CASO PARA A CEMIG GERAÇÃO E
TRANSMISSÃO S.A.

Monografia apresentada ao programa de Pós-Graduação em Gerenciamento de Recursos Hídricos do Instituto de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Minas Gerais, como parte dos requisitos para o cumprimento da disciplina Trabalho Final da Especialização (TFE000).

Orientadora: Dra. Aline de Araújo Nunes

BELO HORIZONTE
2018



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS
GERAIS**

Curso de Especialização em Gerenciamento de Recursos Hídricos
Instituto de Ciências Biológicas - Caixa Postal 486
Cep 31210-970 - Belo Horizonte - MG
Telefax: 0xx (31) 3409 2565
e-mail: pgrh@icb.ufmg.br

Ata de Apresentação de Monografia

Ata 004/2018
Entrada
1º/2017

Aos vinte dias do mês de julho do ano de dois mil e dezoito, as 18:30 horas na sala 236 bloco I3 do Instituto de Ciências Biológicas-ICB em Belo Horizonte, teve lugar a apresentação da defesa de monografia intitulada "Monitoramento e Controle da Qualidade da Água em Usinas Hidrelétricas - Estudo de Caso para a Cemig Geração e Transmissão S.A.", do aluno **Nilton Fernandes de Oliveira**, do curso de Especialização em Gerenciamento de Recursos Hídricos.

Esteve presente à Banca Orientador e Examinador, conforme horário, e demais convidados. Seguiu-se a apresentação do aluno e arguição pelo examinador.

Nada mais havendo a tratar, encerrou-se a apresentação e assinaram esta ata.

Orientador e examinador que participaram.

Belo Horizonte, 20 de Julho de 2018


Francisco Antônio Rodrigues Barbosa
Coordenador do Curso PGRH
Prof. Francisco Antônio Rodrigues Barbosa
Coordenador do Curso de Especialização em
Gerenciamento de Recursos Hídricos


Orientadora: Profa. Dra. Aline de Araújo Nunes


Examinadora: Profa. Dra. Raquel Sampaio Jacob

AGRADECIMENTOS

A Deus, por sempre fazer presente em minha vida, me iluminando e me dando força para caminhar com humildade e esperança.

Aos meus familiares, em especial minha mãe Vilma Raimunda de Oliveira e meu pai Vicente Ferreira de Oliveira, que sempre acreditaram em mim me dando forças e me apoiando quando eu me sentia desanimado.

A minha orientadora Aline de Araújo Nunes que acreditou em mim e me prestou todos os esclarecimentos para que este trabalho pudesse ser realizado.

A secretária do Programa de Pós-Graduação do Instituto de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Minas Gerais, Graça, a qual sempre me apoio.

A Companhia Energética de Minas Gerais pela ajuda de custo para formação – auxílio educação.

A todos os meus amigos do programa.

E a todos aqueles que de uma forma ou de outra acreditaram em mim, me apoiando e incentivando diante das minhas indecisões e dificuldades.

SUMÁRIO

RESUMO	i
ABSTRACT	ii
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	iii
LISTA DE FIGURAS	iv
LISTA DE QUADROS	v
CAPÍTULO 1	11
INTRODUÇÃO.....	11
CAPÍTULO 2	13
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1 Aspectos legais	13
2.1.1 <i>Política Nacional de Recursos Hídricos</i>	13
2.1.2 <i>Política Estadual de Recursos Hídricos</i>	15
2.1.3 <i>Resolução ANA nº 25, de 23 de janeiro de 2012</i>	17
2.1.4 <i>Resolução ANEEL nº 673, de 4 de agosto de 2015</i>	18
2.1.5 <i>Resolução ANEEL nº 765, de 25 de abril de 2017</i>	19
2.1.6 <i>Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005</i>	19
2.2 Usina Hidrelétrica - UHE	20
2.2.1 <i>Pequena Central Hidrelétrica - PCH</i>	20
2.2.2 <i>Grande Central Hidrelétrica - GCH</i>	21
2.3 Sistema Cemig de Monitoramento e Controle de Qualidade da Água de Reservatórios - SISÁGUA	22
CAPÍTULO 3	23
Gerenciamento de Recursos Hídricos na Cemig GT.....	23
3.1 A empresa	23
3.2 Gestão de qualidade da água na Cemig GT	25
3.3 Parâmetros monitorados	26
3.3.1 <i>Águas Superficiais – ambiente lótico</i>	26
3.3.2 <i>Águas de reservatório e lagos – ambiente lêntico</i>	27
3.3.3 <i>Tanques e viveiros de piscicultura</i>	29
3.3.4 <i>Efluentes</i>	30
3.3.5 <i>Espécies aquáticas invasoras</i>	31
3.3.5.1 <i>Mexilhão Dourado</i>	32
3.3.5.2 <i>Macrófitas</i>	34
3.3.5.3 <i>Cianobactérias</i>	35
3.4 Software utilizado para monitoramento e controle da qualidade da água	37
3.5 Principais condicionantes impostas pelos órgãos ambientais	39

3.5.1 Programa de qualidade da água	40
3.5.2 Subprograma de monitoramento limnológico e comunidades aquáticas	41
3.5.3 Subprograma de monitoramento, prevenção e controle de Mexilhão-Dourado.....	41
3.5.4 Subprograma de monitoramento de Macrófitas Aquáticas.....	42
3.6 Projetos de Pesquisas desenvolvidos pela empresa na área de qualidade da água	42
3.6.1 P&D 479.....	43
3.6.2 P&D 485.....	43
3.6.3 P&D 487.....	44
3.6.4 P&D 343.....	44
3.6.5 P&D 399.....	45
3.6.6 P&D 402.....	45
CAPÍTULO 4	46
Resultados e Discussão.....	46
4.1 Gestão de qualidade da água na Cemig GT	46
4.2 Espécies aquáticas invasoras	47
4.2.1 Mexilhão Dourado.....	47
4.2.2 Macrófitas.....	48
4.2.3 Cianobactérias	49
4.3 Parâmetros Físico-químicos e hidrológicos	51
4.4 Projetos de Pesquisas desenvolvidos pela empresa na área de qualidade da água	54
4.4.1 P&D 479 Utilização de Índice de Integridade Ecológica para Classificar a Qualidade de Ambientes Aquáticos de Minas Gerais	55
4.4.2 P&D 485 Pesquisa e Controle da Qualidade das Águas do Programa de Revitalização do Rio São Francisco.....	56
4.4.3 P&D 487 Desenvolvimento de Índices de Integridade Biótica: macroinvertebrados bentônicos como indicadores de qualidade de água em bacias hidrográficas de empreendimentos hidrelétricos da CEMIG em Minas Gerais	56
4.4.4 P&D 343 Controle do mexilhão dourado: bioengenharia e novos materiais para aplicações em ecossistemas e usinas hidrelétricas	58
4.4.5 P&D 399 Desenvolvimento de índices georeferenciados da qualidade das águas e caracterização socioambiental da região de reservatórios em cascata: Volta Grande e Jaguara	58
4.4.6 P&D 402 Aplicação de métodos quimiométricos multivariados no gerenciamento de bacias hidrográficas	59
CAPÍTULO 5	61
Conclusões e Considerações Finais	61
REFERÊNCIAS	63

RESUMO

A Cemig faz gestão de recursos hídricos associados aos seus empreendimentos, identifica, avalia os impactos e monitora os principais riscos relacionados à água, adota metas de redução de consumo em suas unidades, participa do planejamento e adota medidas operativas nas suas usinas hidrelétricas, buscando o melhor aproveitamento da água, levando em consideração as especificidades de cada bacia hidrográfica e o atendimento aos múltiplos usos. Com vistas a buscar garantir a disponibilidade hídrica nas bacias hidrográficas em que possui empreendimentos, ela realiza ações com foco em conservação de água e preservação de mananciais. Além disso, possui uma rede de monitoramento para investigação da qualidade da água de seus reservatórios que, além dos parâmetros físico-químicos estabelecidos na legislação brasileira, monitora grupos biológicos como fitoplâncton, zooplâncton e zoobentos, utilizando essas comunidades como integradoras dos ambientes lóticos e lênticos dentro do conceito de integridade ecológica. Sabendo que os ecossistemas aquáticos continentais abrigam uma grande diversidade de fauna e flora e que a rede hidrográfica brasileira apresenta um elevado grau de diversidade e alta complexidade, o objetivo deste trabalho é apresentar como é feito o monitoramento e controle da qualidade das águas nos 86 reservatórios das usinas da Cemig Geração e Transmissão S.A., localizados nos Estados de Minas Gerais, Espírito Santo e Santa Catarina, bem como elaborar um manual de monitoramento e controle de qualidade das águas nesses reservatórios que irá auxiliar o Núcleo de Gestão e Qualidade da Água da Companhia. Para isso, serão apresentadas quais são as ações de gestão da qualidade da água utilizadas pela empresa em seus reservatórios, bem como apontar quais são as ações realizadas pela empresa para combate e controle das espécies aquáticas oportunistas e/ou invasoras nos leitos dos reservatórios. Além disso, será discutido as principais condicionantes exigidas pelo órgão ambiental na fase de operação das usinas de sua concessão. Este trabalho foi subdividido em seis capítulos: Introdução, revisão bibliográfica, gerenciamento de recursos hídricos na Cemig GT, resultados e discussão e conclusões e considerações finais.

Palavras Chaves: Projetos de Pesquisa; Monitoramento; Disponibilidade Hídrica; Cemig

ABSTRACT

Cemig manages the aquatic resources associated with its projects, identify and evaluate the impacts, and monitors the main risks related to water. It also set goals for reduction of water consumption in its unities, participates in the planning, and take operative measures in its hydropower plants to improve the efficiency of water use, always considering the specificities of the drainage basins and ensuring the multiple water uses. Cemig acts towards water conservation and preservation of springs in order to guarantee water availability in the drainage basins where it has enterprises. Additionally, it has a monitoring network to investigate quality of water in its reservoirs. Beside legally established physical-chemical parameters, Cemig also records data on biological groups such as phytoplankton, zooplankton, and zoobenthos that are considered integrative communities of lentic and lotic environments according to the ecological integrity concept. Inland aquatic ecosystems present great faunal and floral diversity and the Brazilian hydrographic network highly complex and very diverse. Thus, the main objective of this study is to describe how the monitoring and water quality control are conducted in Cemig Geração e Transmissão S.A.'s 86 hydroelectric reservoirs located in the States of Minas Gerais, Espírito Santo, and Santa Catarina. It also aims to create a manual for monitoring and controlling water quality in those reservoirs which will help the Núcleo de Gestão e Qualidade da Água (*Managing and Water Quality Center*, free translation) of the company. In order to reach those goals, it is presented a description of the water quality managing actions used by the company in its reservoirs and a presentation of the company's efforts to fight and control the opportunistic and/or invasive species found in the impoundments. Additionally, it is discussed the main environmental constraints imposed by the environmental protection agency during the operation stage of the hydropower plants for which the company has the economic concession. This work was divided into six chapters: Introduction, literature review, water resources managing in Cemig GT, results and discussion, conclusions, and final considerations

Keywords: Research Project; Monitoring; Water Availability; Cemig.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA – Agência Nacional das Águas
ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica
CBEIH – Centro de Espécies Invasoras de Hidrelétricas
CEMIG – Companhia Energética de Minas Gerais
CEMIG GT – Companhia Energética de Minas Gerais Geração e Transmissão
CERH – Conselho Estadual de Recursos Hídricos
CETEC – Centro Tecnológico de Minas Gerais
CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente
COPAM – Conselho Estadual de Meio Ambiente
DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO – Demanda Química de Oxigênio
DRDH – Declaração de Reserva de Disponibilidade Hídrica
GASMIG – Companhia de Gás de Minas Gerais
GCH – Grande Central Hidrelétrica
IGAM – Instituto Mineiro de Gestão das Águas
IB – Índice de Balneabilidade
IBI – Índice de Integridade Biótica
ID – Índice de Diversidade e Equitabilidade
IET – Índice de Estado Trófico
IQA – Índice de Qualidade da Água
IS – Índice de Similaridade
IUCN – International Union for Conservation of Nature
OD – Oxigênio Dissolvido
P&D – Projeto de Pesquisa e Desenvolvimento
PDRHBH – Planos Diretores de recursos Hídricos e Bacias Hidrográficas
PERH – Plano estadual de Recursos Hídricos
PCH – Pequena Central Hidrelétrica
pH – Potencial Hidrogeniônico
PNRH – Política Nacional de Recursos Hídricos
SCG – Superintendência de Concessões e Autorizações de Geração
SEGRH – Sistema Estadual de Gerenciamento dos Recursos Hídricos
SEIRH – Sistema Estadual de Informações sobre Recursos Hídricos
SINGREH – Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos
SISÁGUA – Sistema Cemig de Monitoramento e Controle de Qualidade da água de Reservatórios
UC – Unidade de Conservação
UHE – Usina Hidrelétrica

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Instrumentos da Política Estadual de Recursos Hídricos	16
Figura 2 - Pequena Central Hidrelétrica Dona Rita.....	21
Figura 3 - Grande Central Hidrelétrica Emborcação.....	21
Figura 4 - Grandes Centrais Hidrelétricas - GCH's da Cemig GT.....	24
Figura 5 - Pequenas Centrais Hidrelétricas - PCH's da Cemig GT.....	24
Figura 6 - Mexilhão dourado dentro de tubulação em usina hidrelétrica	33
Figura 7 - Tomada d'água recoberto pelas macrófitas na PCH Gafanhoto, rio Pará	35
Figura 8 - Floração de cianobactérias na água junto a plantas aquáticas (Aguapé)	36
Figura 9 - Desenho esquemático do Siságua em três ambientes	39
Figura 10 - Banco de macrófitas extenso na margem esquerda do reservatório de Gafanhoto	49

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Descrição dos parâmetros de efluentes analisados na área industrial	31
Quadro 2 - Índice de Qualidade da Água de algumas usinas da Cemig GT	46
Quadro 3 - Resultados obtidos para densidade de larvas de <i>Limnoperna fortunei</i>	47
Quadro 4 - Descrição das macrófitas encontradas na PCH Gafanhoto	49
Quadro 5 - Resultados para a comunidade de cianobactérias (cél./mL)	50
Quadro 6 - Resultados dos parâmetros físico-químicos e hidrológicos nos reservatórios das usinas da CEMIG	52

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

Entre os diversos recursos que a natureza disponibiliza, a água é o bem essencial à vida do homem e de todas as espécies que habitam as várias partes do nosso planeta, sendo, também, considerada um importante regulador do clima na Terra.

Trata-se de um recurso natural, que se encontra presente em todas as partes da crosta e na atmosfera terrestre, sendo indispensável à existência e ao bem-estar do homem e à manutenção dos ecossistemas do planeta.

Desta forma, os recursos hídricos são utilizados para distintas finalidades, entre as quais se destacam o abastecimento humano e animal, a geração de energia, a irrigação, a navegação, a aquicultura e a harmonia paisagística. Nas últimas décadas a preocupação do ser humano com esse recurso cresceu expressivamente, principalmente em função das ações indevidas e do uso irracional da água, que resulta em uma série de prejuízos à sociedade.

A legislação brasileira, em especial a lei 9.433, de 8 de janeiro de 1997, preconiza que a gestão sistemática dos recursos hídricos não deve dissociar os aspectos de quantidade e qualidade da água.

Neste contexto, a criação de reservatórios a partir do barramento de cursos d'água proporciona grandes modificações na dinâmica desses ambientes aquáticos, afetando o equilíbrio físico, químico e biológico. Os fatores determinantes na evolução da qualidade do novo sistema, tanto em termos ecológicos, como do ponto de vista sanitário, atuam de modo distinto da condição natural anterior ao barramento.

A Companhia Energética de Minas Gerais - Cemig - opera 86 reservatórios em três estados brasileiros: Minas Gerais, Espírito Santo e Santa Catarina, com monitoramento da qualidade da água. O acompanhamento faz-se necessário em função do aumento do índice populacional, dos usos múltiplos do entorno dos reservatórios e do crescente uso da água na agropecuária e na indústria. Embora seja benéfico para o homem, o desenvolvimento, pode comprometer os ecossistemas aquáticos, tornando a água imprópria para abastecimento, dessedentação de animais, recreação, pesca, bem como para o uso industrial.

Portanto, o acompanhamento da qualidade da água torna-se essencial para se ter uma real dimensão do comprometimento de seus usuários. O Sistema Cemig de Monitoramento e

Controle de Qualidade da Água de Reservatórios - SISÁGUA - possibilita uma avaliação espacial e temporal, de forma adequada e uniforme, para que os dados obtidos possam ser utilizados pela própria empresa, pela academia, sociedade e também pelos parceiros desenvolvedores das pesquisas. O monitoramento é a medição ou verificação de parâmetros de qualidade e quantidade de água. O acompanhamento contínuo ou periódico da condição e controle da qualidade do corpo de água é realizado de acordo com o Conselho Nacional do Meio Ambiente – Resolução CONAMA nº 357 de 2005 e conforme Resolução CONAMA nº 274, de 2000, que estabelece níveis para a balneabilidade, de forma a assegurar as condições necessárias à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho. Em nível estadual, deve-se observar ainda a Deliberação Normativa conjunta COPAM-CERH-MG nº 1/2008.

Tendo em vista a necessidade de estabelecer um equilíbrio sustentável entre o desenvolvimento econômico e demográfico e a disponibilidade hídrica em quantidade e qualidade que contemplem os diversos usos da água, é fundamental o estabelecimento de um programa de monitoramento hídrico quali-quantitativo que forneça subsídios para o diagnóstico e avaliação das condições dos ecossistemas aquáticos e para a tomada de decisões associadas ao gerenciamento dos recursos hídricos.

Este trabalho foi subdividido em seis capítulos: Introdução, revisão bibliográfica, gerenciamento de recursos hídricos na Cemig GT, resultados e discussão e conclusões e considerações finais e tem como objetivo geral apresentar o monitoramento e controle da qualidade das águas nos 86 reservatórios das usinas da Cemig Geração e Transmissão S.A., localizados nos Estados de Minas Gerais, Espírito Santo e Santa Catarina, bem como elaborar um manual de monitoramento e controle de qualidade das águas nesses reservatórios que irá auxiliar o Núcleo de Gestão e Qualidade da Água da Companhia. São objetivos específicos descrever quais são as ações de gestão da qualidade da água utilizada pela empresa em seus reservatórios, bem como apontar quais são as ações realizadas pela empresa para combate e controle das espécies aquáticas oportunistas e/ou invasoras encontradas nos reservatórios. Além disso foram discutidas as principais condicionantes exigidas pelo órgão ambiental na fase de operação das usinas de sua concessão.

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo será apresentada uma breve revisão acerca dos aspectos legais e conceituais relativos ao controle e monitoramento da qualidade da água pelas concessionárias de geração de energia hidrelétrica.

2.1 Aspectos legais

2.1.1 Política Nacional de Recursos Hídricos

A Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, instituiu no Brasil, a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), criando o Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos – SINGREH, alavancando uma nova fase na administração das águas em nosso país.

Para a Agência Nacional das Águas - ANA (2018), com a promulgação da chamada “Lei das Águas”, cravou-se um marco na mudança do ambiente institucional regulador do uso da água, implementando-se a gestão descentralizada e participativa deste bem social, com a atuação do Poder Público, usuários e comunidade em geral, criando assim um arcabouço de instituições atuantes neste processo, como os Conselhos Nacional e Estadual de Recursos Hídricos, a Agência Nacional de Águas e os Comitês de Bacia. Nesse contexto, optou-se pela Bacia Hidrográfica como unidade básica de planejamento e operação do sistema e previu-se, ainda, instrumentos específicos, exclusivamente delineados para o gerenciamento das águas.

A questão da distribuição e da qualidade da água é gerenciada e regulamentada pela PNRH, que estabelece os seguintes fundamentos:

- I. a água é um bem de domínio público, ou seja, não pertence ao Estado, mas sim a toda a coletividade;
- II. a água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico. Em outras palavras, ao se atribuir um valor econômico aos recursos hídricos, procura-se estabelecer critérios para o seu uso, garantindo a perenidade em seu acesso às presentes e futuras gerações;
- III. em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais. Esta é a necessidade

- fundamental, tendo em vista o fato de a água constituir-se como elemento essencial para a existência de todos os organismos vivos no planeta;
- IV. a gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas. O uso dos recursos hídricos pode ser classificado em uso consuntivo, considerado como aquele em que se retira a água de sua fonte natural, causando uma diminuição em sua disponibilidade espacial e temporal (irrigação e uso industrial, por exemplo), e uso não consuntivo, quando a utilização retorna praticamente a totalidade de água usada à sua fonte de suprimento, como na navegação e na recreação;
 - V. a bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. O sistema de gerenciamento da água não terá por base os limites administrativos e as fronteiras políticas que delimitam as competências entre União e Estados, podendo ocorrer de uma bacia hidrográfica ocupar o território de dois ou mais Estados;
 - VI. a gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades. Em outras palavras, esta gestão provoca a transferência dos poderes tradicionais da União e Estados, privilegiando as decisões locais.

As diretrizes são referências para alcançar os objetivos dentro das bases propostas nos fundamentos da Lei 9433/97. Sendo:

- I. a gestão sistemática dos recursos hídricos, sem dissociação dos aspectos de quantidade e qualidade; ou seja, é muito importante a combinação de informações sobre a quantidade e qualidade dos recursos, visto que não adianta ter água em abundância e contaminada, pois a qualidade é tão importante quanto a quantidade, principalmente quando se trata de atender as necessidades básicas dos seres humanos e do meio ambiente;
- II. a adequação da gestão de recursos hídricos às diversidades físicas, bióticas, demográficas, econômicas, sociais e culturais das diversas regiões do País; ou seja, a gestão deve ser observada de acordo com as diferenças de cada bacia hidrográfica, considerando principalmente as particularidades e costumes das diferentes bacias;
- III. a integração da gestão de recursos hídricos com a gestão ambiental; ou seja, os recursos hídricos não podem ser gerenciados de forma isolada. Assim, sugere-se a integração com órgãos gestores que controlam a qualidade do meio ambiente;
- IV. a articulação do planejamento de recursos hídricos com o dos setores usuários e com os planejamentos regional, estadual e nacional, como também a articulação da política hídrica com a política agrícola, industrial e de turismo;
- V. a articulação da gestão de recursos hídricos com a do uso do solo; ou seja, o uso inadequado do solo poderá prejudicar os recursos hídricos dos municípios à jusante; assim, a articulação da gestão dos recursos hídricos com a do uso do solo induz e valoriza a articulação entre os municípios.

Os objetivos referem-se ao que se almeja com a implantação da Política Nacional de Recursos Hídricos. São eles:

- I. garantir água em qualidade e quantidade adequada aos respectivos usos para a atual e para as futuras gerações;
- II. proporcionar e incentivar o uso racional e integrado dos recursos hídricos, com vistas ao desenvolvimento sustentável;
- III. promover a prevenção e a defesa contra eventos hidrológicos críticos de origem natural ou decorrentes do uso inadequado dos recursos naturais.

Os instrumentos visam fundamentar e orientar a implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e o gerenciamento dos recursos hídricos em todas as bacias hidrográficas.

Sendo:

- I. os Planos de Recursos Hídricos;
- II. o enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes da água;
- III. a outorga dos direitos de uso de recursos hídricos;
- IV. a cobrança pelo uso de recursos hídricos;
- V. a compensação a municípios;
- VI. o Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos.

Segundo o manual de outorga de direito de uso de recursos hídricos da ANA (2018), estão sujeitos a outorga pelo Poder Público:

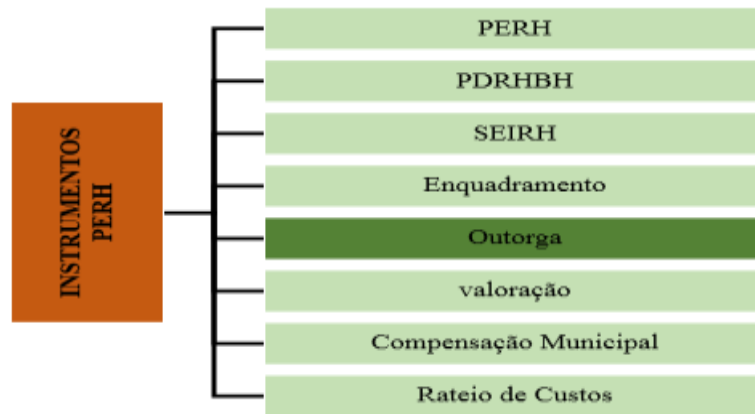
- I. *derivação ou captação de parcela de água existente em um corpo de água para consumo final, inclusive abastecimento público ou insumo de processo produtivo;*
- II. *extração de água de aquífero subterrâneo para consumo final ou insumo de processo produtivo;*
- III. *lançamento em corpo de água de esgotos e demais resíduos líquidos ou gasosos, tratados ou não, com o fim de sua diluição, transporte ou disposição final;*
- IV. *aproveitamento dos potenciais hidrelétricos; e*
- V. *outros usos que alterem o regime, a quantidade ou a qualidade da água existente em um corpo de água”.*

2.1.2 Política Estadual de Recursos Hídricos

Em Minas Gerais, a Política Estadual de Recursos Hídricos e o Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos – SEGRH são disciplinados pela lei 13.199, de 29 de janeiro de 1999. Esta política visa a assegurar o controle, pelos usuários atuais e futuros, do uso da água e de sua utilização em quantidade, qualidade e regime satisfatórios.

São instrumentos da Política Estadual de Recursos Hídricos a criação e implementação do Plano Estadual de Recursos hídricos (PERH), os Planos Diretores de Recursos Hídricos e Bacias Hidrográficas (PDRHBH), o Sistema Estadual de Informações sobre Recursos Hídricos (SEIRH), o enquadramento dos corpos de água em classes, segundo seus usos preponderantes, a outorga dos direitos de uso de recursos hídricos, a cobrança pelo uso de recursos hídricos, a compensação a municípios pela exploração e restrição de uso de recursos hídricos, o rateio de custos das obras de uso múltiplo, de interesse comum ou coletivo e as penalidades conforme pode ser observado na Figura 1.

Figura 1 - Instrumentos da Política Estadual de Recursos Hídricos



Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Segundo o manual de outorga de direito de uso de recursos hídricos Instituto Mineiro de Gestão das Águas - IGAM (2010), estão sujeitos a outorga pelo Poder Público:

- I. as acumulações, as derivações ou a captação de parcela da água existente em um corpo de água para consumo final, até para abastecimento público, ou insumo de processo produtivo;
- II. a extração de água de aquífero subterrâneo para consumo final ou insumo de processo produtivo;
- III. o lançamento, em corpo de água, de esgotos e demais efluentes líquidos ou gasosos, tratados ou não, com o fim de sua diluição, transporte ou disposição final;
- IV. o aproveitamento dos potenciais hidrelétricos;
- V. outros usos e ações que alterem o regime, a quantidade ou a qualidade da água existente em um corpo de água”.

2.1.3 Resolução ANA nº 25, de 23 de janeiro de 2012

A resolução ANA nº 25, de 23 de janeiro de 2012 estabelece as diretrizes para análise dos aspectos de qualidade da água dos pedidos de Declaração de Reserva de Disponibilidade Hídrica – DRDH e de outorga de direito de uso dos recursos hídricos em reservatórios de domínio da união.

Segundo esta resolução, na análise técnica dos pedidos de DRDH de empreendimentos hidroelétricos e de outorga de direito de uso de recursos hídricos em reservatórios de domínio da união, o enquadramento do corpo d'água será avaliado a partir da verificação da compatibilidade entre a condição de qualidade de água existente e resultante da interação do uso, para pleitos de lançamento em reservatório, e prognosticada, para os pedidos de DRDH, considerados os padrões mais exigentes dos usos implantados e previstos.

Para a ANA (2018), a outorga de direito de uso de recursos hídricos, como o próprio nome já diz, confere ao seu titular o direito de uso de recursos hídricos. A outorga não autoriza a instalação do empreendimento, apenas confere o direito de uso dos recursos hídricos. Para a instalação do empreendimento são necessárias outras autorizações, como a licença ambiental emitida pelo órgão de meio ambiente. Ela não tem validade indeterminada, sendo concedida por um prazo limitado, de 35 (trinta e cinco) anos, para barragens de regularização de vazões ou de aproveitamento hidrelétrico, ainda que possa haver renovação, suspensão, revogação e até sua transferência para terceiros.

Ainda segundo a ANA (2018), os grandes reservatórios em geral se destinam ao aproveitamento hidrelétrico, o que está condicionado à obtenção da outorga de direito de uso de recursos hídricos para a exploração do potencial hidrelétrico, e, neste caso, dois bens públicos são objetos de autorização pelo poder público: o uso do potencial de energia hidráulica e o uso da água. Anteriormente à licitação da concessão ou à autorização do uso do potencial de energia hidráulica, a autoridade competente do setor elétrico deve obter a Declaração de Reserva de Disponibilidade Hídrica – DRDH junto ao órgão gestor de recursos hídricos. Posteriormente, a DRDH é convertida em outorga de direito de uso em nome da entidade que receber da autoridade competente do setor elétrico a concessão ou autorização para uso do potencial de energia hidráulica.

A declaração de reserva de disponibilidade hídrica não confere direito de uso de recursos hídricos e se destina, unicamente, a reservar a quantidade de água necessária à viabilidade do empreendimento hidrelétrico. Ela tem características semelhantes à outorga

preventiva, e é concedida pelo prazo de até três anos, podendo ser renovada por igual período, a critério da ANA, mediante solicitação da ANEEL.

A ANA deve transformar automaticamente a declaração de reserva de disponibilidade hídrica em outorga de direito de uso de recurso hídrico tão logo receba da ANEEL a cópia do contrato de concessão ou do ato administrativo de autorização, desde que sejam cumpridas as eventuais condicionantes constantes da DRDH.

O prazo de outorga de direito de uso de recurso hídrico coincide com os prazos dos contratos de concessão e dos atos administrativos de autorização. A renovação da outorga dependerá da renovação dos respectivos contratos de concessão e autorizações de uso de potencial de energia hidráulica (ANA, 2018).

Em reservatórios de UHEs já outorgadas pela ANA, a partir da normatização do instrumento da Declaração de Reserva de Disponibilidade Hídrica (DRDH), a partir do ano de 2003, a vazão que pode ser outorgada fica vinculada ao limite de usos consuntivos a montante do empreendimento, previstos para ocorrer ao longo do prazo de outorga. Esses limites de consumo são definidos na DRDH, e, juntamente com a série histórica de vazões naturais afluentes e eventuais restrições operativas, define a disponibilidade hídrica dos empreendimentos hidrelétricos. Automaticamente, ao estabelecerem-se limites de consumo nas bacias afluentes a UHEs, o critério de outorga deve aderir a este limite, de forma a manter o consumo de água dentro do que foi previsto (ANA, 2018).

A grande maioria dos reservatórios de UHEs e PCHs atualmente existentes possui concessões antigas, anteriores a 2003, as quais abrigam o instrumento da outorga de direito de uso de recursos hídricos, conforme a Lei nº 9.984/2000. Assim, não possuem uma DRDH, com limites de consumo a montante estabelecidos. Desta forma, como não há limites formalmente estabelecidos, a ANA gerencia estes mananciais de forma análoga a outros rios e reservatórios, ou seja, com base em suas vazões de referência.

2.1.4 Resolução ANEEL nº 673, de 4 de agosto de 2015

A resolução ANEEL nº 673, de 4 de agosto de 2015, estabelece os requisitos e procedimentos para a obtenção de outorga de autorização para exploração de aproveitamento de potencial hidráulico com características de Pequena Central Hidrelétrica – PCH. Ainda segundo esta resolução, serão considerados empreendimentos com características de PCH aqueles empreendimentos destinados a autoprodução ou produção independente de energia

elétrica, cuja potência seja superior a 3.000 kW e igual ou inferior a 30.000 kW e com área de reservatório de até 13 km², excluindo a calha do leito regular do rio. O aproveitamento hidrelétrico com área de reservatório superior a 13 km², excluindo a calha do leito regular do rio, será considerado como PCH se o reservatório for de regularização, no mínimo, semanal ou cujo dimensionamento, comprovadamente, foi baseado em outros objetivos que não o de geração de energia elétrica. Esta regularização será aferida por meio do volume útil e da vazão máxima turbinada.

2.1.5 Resolução ANEEL nº 765, de 25 de abril de 2017

A Resolução ANEEL nº 765, de 25 de abril de 2017, estabelece os requisitos e procedimentos para a obtenção de outorga de autorização para exploração de aproveitamento de potencial hidráulico de 5.000 até 50.000 kW, sem características de Pequenas Centrais Hidrelétricas - PCH. Os projetos básicos de determinado eixo de UHE de até 50.000 kW ou PCH que em decorrência do aprofundamento dos estudos venham a sofrer comprovada alteração de capacidade instalada e, em consequência desta alteração recaia em outro normativo, poderão ser reenquadrados pela Superintendência de Concessões e Autorizações de Geração – SCG.

Todos os processos de outorga de aproveitamentos de potencial hidráulico de 5.000 até 50.000 kW, sem características de PCH, sob a égide da Resolução nº 412, de 5 de outubro de 2010, que estejam nas etapas de registro, aceite, ou que ainda não tiveram os projetos básicos aprovados, deverão apresentar a nova versão do Sumário Executivo.

2.1.6 Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005

A Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) nº 357/2005 “dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes e dá outras providências”. As classes de corpos de água existentes no território brasileiro são classificadas em águas doces, salobras e salinas, segundo a qualidade requerida para os seus usos preponderantes, em 13 classes de qualidade, sendo cinco classes para água doce, quatro classes para água salobra e quatro classes para águas salinas.

Os usos a serem analisados previstos nas classes de enquadramento são: abastecimento para consumo humano; preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas; preservação dos ambientes aquáticos em Unidades de Conservação (UCs) de proteção integral; proteção das comunidades aquáticas, inclusive em terras indígenas; recreação de contato primário ou secundário; irrigação: hortaliças, plantas frutíferas, culturas arbóreas, cerealíferas, forrageiras; aquicultura e pesca; dessedentação de animais; navegação; harmonia paisagística e outros como mineração, industrial e a produção de hidroeletricidade.

2.2 Usina Hidrelétrica - UHE

Para o Atlas de Energia Elétrica do Brasil (2002), uma usina hidrelétrica pode ser definida como um conjunto de obras e equipamentos cuja finalidade é a geração de energia elétrica, através de aproveitamento do potencial hidráulico existente num rio. A geração hidrelétrica está associada à vazão do rio, isto é, à quantidade de água disponível em um determinado período de tempo e à altura de sua queda. Quanto maiores são os volumes de sua queda, maior é seu potencial de aproveitamento na geração de eletricidade.

Neste trabalho serão abordados duas modalidades de usinas hidrelétricas: a Pequena Central Hidrelétrica - PCH e a Grande Central Hidrelétrica - GCH.

2.2.1 Pequena Central Hidrelétrica - PCH

Conforme resolução ANEEL nº 765, de 25 de abril de 2017, Pequena Central Hidrelétrica – PCH é o aproveitamento de potencial hidráulico de potência superior a 3.000 kW (três mil quilowatts) e igual ou inferior a 30.000 kW (trinta mil quilowatts), destinado a produção independente ou autoprodução, mantidas as características de pequena central hidrelétrica, cuja área do reservatório não seja maior que 13 km² (1.300 hectares). Na Figura 2 é apresentada PCH Dona Rita, usina da Cemig GT, localizada na região leste do Estado de Minas Gerais.

Figura 2 - Pequena Central Hidrelétrica Dona Rita



2.2.2 Grande Central Hidrelétrica - GCH

Conforme resolução ANEEL nº 673, de 4 de agosto de 2015, Grande Central Hidrelétrica – GCH É o aproveitamento de potencial hidráulico de potência superior a 5.000 kW (cinco mil quilowatts) até 50.000 kW (cinquenta mil quilowatts), destinado a produção independente ou autoprodução, sem as características de Pequena Central Hidrelétrica – PCH. Na Figura 3 é apresentada a GCH Emborcação, usina da Cemig GT, localizada no triângulo mineiro.

Figura 3 - Grande Central Hidrelétrica Emborcação



2.3 Sistema Cemig de Monitoramento e Controle de Qualidade da Água de Reservatórios - SISÁGUA

Para o manual da Cemig (SISÁGUA, 2009), a criação de reservatórios a partir do barramento de cursos de água proporciona grandes modificações na dinâmica desses ambientes aquáticos, afetando profundamente o equilíbrio físico, químico e biológico. Os fatores determinantes da evolução da qualidade do novo sistema, tanto em termos ecológicos, como do ponto de vista sanitário, atuam de modo distinto da condição natural sem barramento. O monitoramento e acompanhamento faz-se necessário em função do aumento do índice populacional e do crescente uso da água na agropecuária e na indústria. Embora seja benéfico para o homem, o desenvolvimento pode comprometer os ecossistemas aquáticos, tornando a água imprópria para abastecimento, dessedentação de animais, recreação, pesca, bem como para o uso industrial.

Ainda segundo este manual, o acompanhamento da qualidade da água torna-se essencial para se ter uma real dimensão do comprometimento. O Sistema Cemig de Monitoramento e Controle de Qualidade da Água de Reservatórios - SISÁGUA - possibilita uma avaliação espacial e temporal, de forma adequada e uniforme, para que os dados obtidos possam ser utilizados pela própria empresa, em todas as unidades e também pelos parceiros. O monitoramento é a medição ou verificação de parâmetros de qualidade e quantidade de água. O acompanhamento - contínuo ou periódico – da condição e controle da qualidade do corpo de água é realizado de acordo com o Conselho Nacional do Meio Ambiente – Resolução CONAMA nº 357 de 2005 e conforme Resolução CONAMA nº 274, de 2000, que estabelece níveis para a balneabilidade, de forma a assegurar as condições necessárias à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho. Em nível estadual, deve-se observar ainda a Deliberação Normativa conjunta COPAM-CERH-MG nº 1/2008.

CAPÍTULO 3

Gerenciamento de Recursos Hídricos na Cemig GT

Neste capítulo serão apresentadas as ações de gestão da qualidade da água que são desenvolvidas pela Cemig Geração e Transmissão S.A., bem como sobre as espécies aquáticas invasoras, ações para controle destas espécies e a ferramenta computacional utilizada pela empresa para monitoramento e controle da qualidade da água. Será apresentado ainda quais são os principais parâmetros físicos, químicos e biológicos monitorados e quais são as principais condicionantes exigidas pelo órgão ambientais na fase de operação de cada usina do grupo Cemig GT.

3.1 A empresa

A Companhia Energética de Minas Gerais - Cemig, fundada em 22 de maio de 1952, é uma *holding* composta por mais de 200 empresas, com participação em consórcios e fundo de participações, possuindo ativos e negócios em 22 estados brasileiros e no Distrito Federal. Atua nas áreas de geração, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica, e ainda na distribuição de gás natural, por meio da Gasmig, em telecomunicações, por meio da Cemig Telecom, e no uso eficiente de energia, por meio da Efficientia.

Ocupando a terceira posição entre as maiores geradoras do País, a Cemig Geração, possui em operação 48 hidrelétricas, sendo 11 Grandes Centrais Hidrelétricas – GCH e 37 Pequenas Centrais Hidrelétricas – PCH, conforme pode ser observado nas Figuras 4 e 5.

Figura 4 - Grandes Centrais Hidrelétricas - GCH's da Cemig GT

GRANDES CENTRAIS HIDRELÉTRICAS – GCH'S		
São Simão	Emborcação	Salto Grande
Miranda	Nova Ponte	Itutinga
Volta Grande	Três Marias	Camargos
Jaguara		Irapé

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Figura 5 - Pequenas Centrais Hidrelétricas - PCH's da Cemig GT

PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS – PCH'S		
Piau	Pandeiros	Morro do Camelinho
Gafanhoto	Paciência	Santa Marta
Peti	Marmelos	Pissarrão
Rio de Pedras	Dona Rita	Jacutinga
Poço Fundo	Salto Moraes	Santa Luzia
Tronqueiras	Sumidouro	Lages
Martins	Anil	Bom Jesus do Galho
Cajuru	Xicão	Joasal
São Bernardo	Luiz Dias	Sinceridade
Paraúna	Poquim	Neblina
Coronel Domiciano	Ervália	Machado Mineiro
Salto do Paraopeba	Salto Passo Velho (SC)	Salto Voltão (SC)
	Pai Joaquim	

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

3.2 Gestão de qualidade da água na Cemig GT

Nas usinas hidrelétricas a água é a principal matéria-prima para produção de eletricidade da Cemig, utilizada com fins de turbinamento, sendo 100% retornada ao seu curso. Ainda assim, a água é sensível às variações climáticas, vulnerável às consequências da exploração de outros recursos naturais, bastante impactada pelas ações antrópicas e está sujeita ao ambiente regulatório que faz com que a gestão e a conservação da mesma sejam um aspecto de alta relevância para a Companhia.

A qualidade da água dos reservatórios da Cemig é monitorada regularmente em uma rede que contempla as principais bacias hidrográficas de Minas Gerais, em 42 reservatórios e mais de 180 estações de coleta de dados físicos, químicos e biológicos. A rede de monitoramento foi ajustada, com o objetivo de aprimorar o suporte na gestão da qualidade da água dos reservatórios e atender condicionantes e resoluções estaduais e federais. É importante ressaltar que o alcance dos objetivos é gradativo e a continuidade do monitoramento vem proporcionando a interação efetiva entre os órgãos gestores e os usuários, com vistas ao alcance da gestão sustentável dos recursos hídricos.

As coletas para o monitoramento da qualidade da água geram grande volume de informações, que são analisadas e armazenadas, garantindo, assim, um extenso banco de dados (Siságua), que possibilita a análise da evolução temporal e espacial dos reservatórios e seu entorno. O aprimoramento do sistema (Siságua) proporciona uma estruturação de gerenciamento diferenciada, geração de informações rápidas, precisas e principalmente úteis. Os sistemas de informação vêm assumindo um papel estratégico nas organizações, colaborando para uma gestão mais eficiente.

Diante da crescente demanda por informações ambientais por parte da sociedade e, principalmente, dos órgãos ambientais, e as crescentes transformações decorrentes do desenvolvimento tecnológico nas áreas de informação e comunicação a Cemig disponibiliza este banco de dados (denominado Siságua) na Internet, com intuito de compartilhar com a sociedade as informações adquiridas sobre os ecossistemas aquáticos onde a empresa possui empreendimentos. Importante destacar que foi incorporado ao sistema um filtro geográfico, que tem como objetivo melhorar a interface para usuários da internet e intranet do sistema, obtendo

uma área de interação geográfica, para facilitar o filtro das consultas dos usuários. Esta ferramenta será mais explorada no item 4.4 desta monografia.

3.3 Parâmetros monitorados

3.3.1 Águas Superficiais – ambiente lótico

As coletas seguem as regras definidas para ambientes lênticos, já que em rios e córregos não há estratificação da água. As estações de coleta são escolhidas de acordo com a facilidade de acesso e as coletas são feitas com balde, a mais ou menos 20cm de profundidade. Os parâmetros físico-químicos são praticamente os mesmos do ambiente lêntico, exceto, por alguns poucos conforme a lista a seguir. O parâmetro hidrobiológico utilizado no monitoramento da Cemig para ambientes lóticos é o zoobênton, considerado o melhor bioindicador para águas doces.

Os rios são caracterizados por uma corrente unidirecional com taxa de velocidade da água relativamente alta, variando de 0,1 a 1m s⁻¹, de acordo com o clima e o modelo de drenagem. A relação de parâmetros para as águas correntes inclui:

- ✓ Temperatura da água e do ar - °C
- ✓ Cor verdadeira - mg Pt/L
- ✓ Turbidez - UNT
- ✓ pH
- ✓ Condutividade elétrica - $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$
- ✓ Sólidos totais em suspensão - mg/L
- ✓ Sólidos totais dissolvidos – mg/L
- ✓ Alcalinidade total em CaCO₃ – mg/L
- ✓ Cálcio – mg/L
- ✓ Cloreto – mg/L
- ✓ Sulfato – mg/L SO₄
- ✓ Fósforo total – mg/L de P
- ✓ Nitrogênio amoniacal total - mg/L N
- ✓ Nitrato - mg/L N
- ✓ Oxigênio dissolvido - mg/L O₂
- ✓ Demanda bioquímica de oxigênio – DBO - mg/L O₂

- ✓ Óleos e graxas - mg/L
- ✓ Ferro dissolvido - mg/L Fe
- ✓ Manganês total – mg/L Mn
- ✓ Índice de Fenóis - mg/L C₆H₅OH
- ✓ Coliformes termotolerantes (Coliformes fecais) – VMP /100mL
- ✓ Zoobênton qualitativo e quantitativo – org./m²
- ✓ Malacofauna qualitativa - org./m²
- ✓ Densidade de cianobactérias - células/mL
- ✓ Clorofila *a* - µg/L

3.3.2 Águas de reservatório e lagos – ambiente lântico

Os lagos e reservatórios são caracterizados por uma baixa taxa de velocidade da corrente multidirecional, de 0,001 a 0,01 m s⁻¹ (valores superficiais). Muitos lagos têm períodos alternados de estratificação e mistura vertical, regulados pelas condições climáticas e pela profundidade.

Os parâmetros variam de acordo com os pontos do reservatório, conforme descrições a seguir:

Na **subsuperfície** do reservatório, a relação de parâmetros inclui:

- ✓ Transparência do disco de Secchi - m
- ✓ Temperatura do ar - °C
- ✓ Óleos e graxas – mg/L
- ✓ Temperatura da água (perfil ao longo de toda a coluna d'água do ponto, de um em um metro) - °C
- ✓ Coliformes termotolerantes (Coliformes fecais) - VMP /100mL
- ✓ Densidade de cianobactérias - células/mL
- ✓ Clorofila *a* - µg/L
- ✓ Malacofauna qualitativa (às margens) - org./m²

Na **Metade da Zona Fótica** do reservatório, a relação de parâmetros contempla:

- ✓ Cor verdadeira - mg Pt/L

- ✓ Turbidez - UNT
- ✓ pH
- ✓ Oxigênio Dissolvido – mg/L
- ✓ Condutividade elétrica - $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$
- ✓ Sólidos totais dissolvidos – mg/L
- ✓ Sólidos em suspensão – mg/L
- ✓ Alcalinidade total em CaCO_3 – mg/L
- ✓ Cálcio – mg/L
- ✓ Cloreto – mg/L
- ✓ Sulfato – mg/L SO_4
- ✓ Fósforo total – mg/L de P
- ✓ Nitrogênio amoniacal total - mg/L N
- ✓ Nitrato - mg/L N
- ✓ Demanda bioquímica de oxigênio – DBO – mg/L
- ✓ Ferro dissolvido - mg/L Fe
- ✓ Manganês total – mg/L Mn
- ✓ Fenóis Totais (substâncias que reagem com 4-aminoantipirina) – mg/L $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$
- ✓ Substâncias tensoativas que reagem com azul de metileno -mg/L LAS
- ✓ Fitoplâncton qualitativo e quantitativo – cel/mL
- ✓ Zooplâncton (arraste ao longo da coluna d'água a partir de um metro do fundo) – cel/mL

No **FUNDO** do reservatório, a relação de parâmetros compreende:

- ✓ Cor verdadeira - mg Pt/L
- ✓ Turbidez – UNT
- ✓ Cálcio – mg/L
- ✓ pH
- ✓ Oxigênio Dissolvido - mg/L
- ✓ Condutividade elétrica - $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$
- ✓ Sólidos totais dissolvidos - mg/L
- ✓ Sólidos em suspensão – mg/L
- ✓ Alcalinidade total em CaCO_3 - mg/L
- ✓ Sulfato total - mg/L SO_4

- ✓ Fósforo total - mg/L de P
- ✓ Nitrogênio amoniacal total - mg/L N
- ✓ Nitrato - mg/L N
- ✓ Demanda bioquímica de oxigênio – DBO - mg/L
- ✓ Ferro dissolvido - mg/L Fe
- ✓ Manganês total – mg/L Mn

3.3.3 *Tanques e viveiros de piscicultura*

Os tanques e viveiros de uma estação de piscicultura devem ser analisados, no mínimo, mensalmente. A coleta deve ser realizada pela manhã, entre 7h e 9 horas. No período de outubro a março, deve haver uma análise diária de amônia. As amostras devem ser coletadas no meio da coluna d'água, no caso de pequena profundidade, com penetração de luz. Caso contrário, a coleta deve ser feita a 20 cm da superfície ou no meio da zona fótica. Os parâmetros utilizados são:

- ✓ Temperatura do ar e água - ° C (perfil)
- ✓ Sólidos em suspensão – mg/L
- ✓ Dureza total – mg/L
- ✓ Transparência – m
- ✓ Alcalinidade total – mg/L
- ✓ pH
- ✓ Turbidez – NTU
- ✓ DBO – mg/L
- ✓ CO₂ - mg/L
- ✓ Condutividade elétrica - $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$
- ✓ Oxigênio dissolvido - mg/L
- ✓ Nitrogênio amoniacal - mg/L
- ✓ Nitrato - mg/L
- ✓ Fósforo total – mg/L
- ✓ Densidade de cianobactérias - células/mL
- ✓ Clorofila *a* - $\mu\text{g/L}$
- ✓ Coliformes termotolerantes - NMP/100 mL

- ✓ Malacofauna qualitativa – (margens)

Para que os efluentes contaminados não alcancem os corpos d'água afluentes, um controle deve ser feito antes de serem lançados de volta ao rio. Os parâmetros são definidos pela Resolução nº 357, de 17 de março de 2005 do CONAMA e Deliberação Normativa conjunta COPAM e CERH nº 1 de 5 de maio de 2008.

3.3.4 Efluentes

O acompanhamento dos efluentes das usinas deve ser realizado para cumprir as exigências das legislações ambientais. Os parâmetros estão definidos na Resolução nº 357, de 17 de março de 2005 do CONAMA e Deliberação Normativa conjunta COPAM e CERH Nº 1 de 2008 e o número e locais de coleta na planta da usina estão condicionados ao estado de conservação, aos objetivos e às infraestruturas locais.

A coleta deve ser feita em locais apropriados e seguros, onde os registros tenham sido instalados, e a equipe de meio ambiente deve estar sempre acompanhada por um empregado da usina, seguindo as normas de segurança da empresa. Para avaliar a qualidade da água devolvida ao corpo d'água, recomenda-se uma comparação entre a água que entra no sistema e aquela lançada ao rio. No mínimo, três pontos devem ser coletados: tomada d'água; área interna da usina e água turbinada.

A água utilizada pelos empregados - os efluentes domésticos - segue uma metodologia diferente, de acordo com a Portaria do Ministério da Saúde nº 2.914/2011.

O efluente de laboratório submete-se à Resolução nº 357, de 17 de março de 2005 do CONAMA e à Deliberação Normativa conjunta COPAM e CERH nº 1 de 2008.

No Quadro 1 seguem os parâmetros de efluentes industriais que são analisados nos empreendimentos.

Quadro 1 - Descrição dos parâmetros de efluentes analisados na área industrial

Parâmetros	Efluentes Industriais	Tomada d'água	Água turbinada	Efluentes Domésticos	Efluentes de laboratório
Alcalinidade bicarbonato –mg/L		x	x	x	x
Bromato - mg/L				x	x
Coliformes termotolerantes VMP/100mL		x	x	x	
Cloretos mg/L		x	x	x	x
Cloro livre - mg/L				x	x
Cor verdadeira		x	x	x	x
Densidade de Cianobactérias		x	x	x	
DBO – mg/L	x	x	x	x	
DQO – mg/L	x	x	x		x
Fenóis Totais substâncias que reagem com 4 - aminoantipirina – mg/L	x	x	x	x	x
Ferro dissolvido – mg/L	x	x	x		x
Fósforo Total – mg/L	x	x	x	x	x
Manganês total – mg/L	x	x	x		x
Materiais sedimentáveis mg/L	x			x	x
Nitrogênio Amoniacal Total mg/L	x	x	x	x	x
Óleos e graxas		x	x		
Óleos minerais mg/L	x				
Óleos vegetais e gorduras animais - mg/L	x			x	
pH	x	x	x	x	x
Sólidos em suspensão mg/L	x			x	x
Sólidos dissolvidos Totais mg/L		x	x	x	x
Substâncias tensoativas que reagem com azul de metileno - mg/L LAS	x	x	x	x	x
Sulfetos – mg/L	x			x	x
Temperatura da água - °C	x	x	x	x	x
Trihalometanos Total - mg/L				x	x

Fonte: Siságua (2009).

3.3.5 Espécies aquáticas invasoras

Para Mansur et al. (2012), espécie oportunistas e/ou invasoras é aquela que ameaça ecossistemas, habitats ou outras espécies. Por suas vantagens competitivas e favorecidas pela ausência de predadores e pela degradação dos ambientes naturais, essas espécies podem dominar os nichos ocupados pelas espécies nativas, notadamente em ambientes degradados, desequilibrados e fragilizados.

As invasões biológicas estão entre os piores problemas ecológicos da atualidade, considerados pela IUCN (International Union for Conservation of Nature

- União Internacional de Conservação da Natureza) a segunda maior fonte de perda da biodiversidade no planeta.

Os impactos econômicos causados pelas espécies oportunistas e/ou invasoras são elevados: os custos relacionados com essas espécies (remoção, combate, prevenção, remediação, etc.), estimados por órgãos competentes norte-americanos, passaram de 100 bilhões de dólares no ano de 2004 para US\$ 129 bilhões em 2013. Apesar dos custos econômicos serem bastante significativos, os impactos ambientais causados por estas espécies são ainda mais relevantes, (CBEIH, 2018).

Pensando nisso, a Cemig vem trabalhando a mais de 10 anos para ampliar o conhecimento e as ações que envolvem este tema, investindo em pesquisa, educação socioambiental e centros de referência no assunto.

3.3.5.1 Mexilhão Dourado

O mexilhão dourado, é considerada uma das mais nocivas espécies invasoras, é um bivalve originário do sudeste asiático que chegou à América do Sul, em 1991, pelo porto de Buenos Aires, em águas de lastro dos navios, e se disseminou a partir do rio da Prata. Ele se reproduz rapidamente, não possui predador natural e compete na alimentação com algumas espécies de moluscos nativos sendo considerada uma espécie exótica introduzida. Este molusco adaptou-se muito bem aos rios da América do Sul onde encontrou condições favoráveis para sua reprodução possuindo um enorme poder de dispersão, pode ser transportado de diversas formas desde a fase larval até a fase adulta (KARATAYEV et al., 1997).

Muitos trabalhos científicos têm correlacionado a invasão pelo mexilhão dourado à extinção de espécies nativas menos competitivas, mortandade de peixes, alteração na qualidade das águas, florações de cianobactérias tóxicas (um dos mais graves problemas para sistemas de abastecimento de águas no mundo), além de impactos socioeconômicos, especialmente às comunidades de pescadores e demais ribeirinhos.

Desde 2001, a Cemig monitora, pesquisa e realiza campanhas de educação socioambiental com o objetivo de barrar a expansão do mexilhão dourado nas suas unidades geradoras (Figura 6); com base na rota de dispersão, inicialmente, a empresa focava suas ações na bacia do rio Paranaíba mais especificamente, na Usina Hidrelétrica São Simão; também em 2002, a empresa realizou seu primeiro projeto de pesquisa - P&D, que resultou na publicação de diversos artigos e teve como objetivo conhecer a biologia da espécie; participou em 2004,

da primeira Força Tarefa Nacional do Ministério do Meio Ambiente, para controle do mexilhão. Ao longo destes 10 anos, a Cemig totalizou 3 projetos sobre o tema e investiu aproximadamente 10 milhões de reais, contribuindo de forma expressiva na geração do conhecimento relativo a biologia da espécie, formando pessoal e disponibilizando os dados para a população em geral.

A criação do Centro de Bioengenharia de Espécies Invasoras de Hidrelétricas - CBEIH, por meio de uma rede que conecta empresas e o governo, sob a liderança da Cemig, na busca de soluções para amenizar os impactos ecológicos, industriais e econômicos causados por espécies invasoras, com a base de dados colaborativa a intenção é identificar os vetores envolvidos na dispersão do mexilhão, monitoramento de seu avanço.

Figura 6 - Mexilhão dourado dentro de tubulação em usina hidrelétrica



A infestação pelo mexilhão dourado nas águas doces brasileiras se tornou um fato inerente, com alertas emitidos desde 2008 para os riscos que correm importantes patrimônios ambientais brasileiros como o Pantanal Matogrossense, a Amazônia e no baixo rio São Francisco. A rápida expansão, aliada à ausência de programas de prevenção, monitoramento e controle desta espécie invasora, pode potencializar e acelerar os impactos previstos para a economia e o ambiente dos locais invadidos.

Em suas usinas e estações ambientais são realizadas visitas monitoradas, oficinas interativas e palestras para alunos, professores e moradores das áreas vizinhas aos empreendimentos, nos quais participaram mais de 23 mil pessoas nestes 10 anos. Durante as visitas, os participantes recebem informações sobre geração de energia, sua

relação com o desenvolvimento sustentável e a necessidade de mudança de comportamentos, conscientização crítica e controle de espécies invasoras.

Um Programa de Educação Ambiental que em 2010 atingiu cerca de 60 mil pessoas dissemina informações geradas sobre temas de interesse, entre os quais estão as espécies invasoras, merecendo destaque o que está vinculado ao mexilhão dourado, realizado com o apoio do Ibama e do CBEIH, nas bacias dos rios Grande e Paranaíba.

A Educação Socioambiental desenvolvida pela Cemig traduz os estudos técnico-científicos para o entendimento das comunidades seja em palestras, material didático, blitz educativa, trabalho de campo ou montagem de laboratório itinerante de identificação das espécies invasoras.

Um problema é o controle dessa espécie no meio ambiente, isso se faz com pesquisa e inovação, a Cemig não para, e esse é o desafio que norteia a Empresa nos próximos anos que se seguem.

3.3.5.2 Macrófitas

A eutrofização decorrente das cargas externas de nutrientes recebidas por um corpo d'água, ou dos processos internos de ciclagem de nutrientes, pode acarretar crescimento explosivo de algas ou macrófitas (Figura 7), ambas ocorrências alteram a composição e dominância das comunidades bióticas. Usualmente, durante a eutrofização, diferentes grupos ecológicos de macrófitas colonizam os ecossistemas aquáticos (MOURA, 2009).

Várias espécies de macrófitas vêm sendo consideradas “pragas” ou oportunistas, devido às suas capacidades de rápido acúmulo de biomassa e elevado consumo do oxigênio disponível na água, além de acarretar prejuízos econômicos como a diminuição de água potável, de áreas de lazer e o impedimento da navegação. Por isso, essas plantas precisam ser controladas ou removidas de muitos ambientes aquáticos, mas enquanto a eutrofização do corpo d'água não for controlada o problema será recorrente (JUNK, 1980).

Figura 7 - Tomada d'água recoberto pelas macrófitas na PCH Gafanhoto, rio Pará



Para Moura, 2009 as macrófitas flutuantes podem causar problemas de geração, dificultam a navegação nos reservatórios onde se espalham, muitas vezes para continuar operando essas usinas instalam um dispositivo mecânico chamado log boom, para impedir que os bancos das plantas se desloquem em direção à grade da tomada d'água, o que pode ocasionar na má conservação da grade ocasionando um aumento nas substituições desse equipamento ou até mesmo um engolimento da grade pela turbina.

Alguns estudos apontam que com a entrada do mexilhão dourado no sistema aquático, aumenta-se a transparência na região o que promove um crescimento maior das macrófitas submersas, exemplificando como as espécies interagem e produzem um novo desequilíbrio local.

A Cemig também possui programas de monitoramento de macrófitas aquáticas nos seus reservatórios impactados com a eutrofização, com o objetivo de avaliar a necessidade de retirada dessas plantas e minimizar seus impactos na geração.

3.3.5.3 *Cianobactérias*

As cianobactérias são microrganismos aeróbicos presentes em ambientes aquáticos que produzem seu próprio alimento por meio de fotossíntese, e possuem a capacidade de produzir toxinas (cianotoxinas), em alguns casos, altamente prejudiciais

à saúde humana e animal, podendo causar graves intoxicações pela ingestão e contato com corpos d'água contaminados.

A capacidade de adaptação é uma importante característica das cianobactérias, a maioria das espécies são nativas, e ocorrem em diversos ambientes aquáticos, se o ambiente estiver ecologicamente equilibrado elas seguem sem causarem maiores problemas. No entanto, se o meio aquático tiver eutrofizado, a disponibilidade desses nutrientes disponíveis, se tornam problema pois elas se desenvolvem, essa rápida proliferação, é conhecida como "floração" ou "*bloom*" (Figura 8). As cianobactérias não são responsáveis pela deterioração da qualidade da água, e sim um indicador da degradação do corpo hídrico. Outra causa da formação de florações de cianobactérias é a retirada rápida e sem critérios de macrófitas aquáticas, pois sem as macrófitas para utilizar os nutrientes em excesso na água, as cianobactérias presentes no sistema podem florescer.

A Cemig monitora as cianobactérias rotineiramente em seus reservatórios com o objetivo de controlar possíveis efeitos deletérios ao meio ambiente e aos usuários dos reservatórios causados pela floração desses organismos, mantendo um plano de troca de informações com prefeituras limdeiras e órgãos do poder público relacionados a esse tema.

Figura 8 - Floração de cianobactérias na água junto a plantas aquáticas (Aguapé)



3.4 Software utilizado para monitoramento e controle da qualidade da água

O acompanhamento da qualidade da água torna-se essencial para se ter uma real dimensão do comprometimento. O Sistema Cemig de Monitoramento e Controle de Qualidade da Água de Reservatórios - SISÁGUA - possibilita uma avaliação espacial e temporal, de forma adequada e uniforme, para que os dados obtidos possam ser utilizados pela própria empresa, em todas as unidades e também pelos parceiros. O monitoramento é a medição ou verificação de parâmetros de qualidade e quantidade de água. O acompanhamento - contínuo ou periódico – da condição e controle da qualidade do corpo de água é realizado de acordo com o Conselho Nacional do Meio Ambiente – Resolução CONAMA nº 357 de 2005 e conforme Resolução CONAMA nº 274, de 2000, que estabelece níveis para a balneabilidade, de forma a assegurar as condições necessárias à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho. Em nível estadual, deve-se observar ainda a Deliberação Normativa conjunta COPAM-CERH-MG nº 1/2008.

O Software leva em consideração ainda, a Deliberação Normativa do Conselho Estadual de Meio Ambiente do Estado de Minas Gerais – COPAM nº 89, de 15/09/2005, que define as normas a serem seguidas pelos laboratórios responsáveis por medições vinculadas aos procedimentos exigidos pelos órgãos ambientais do Estado.

O Programa de Meio Ambiente das Nações Unidas sugere dez premissas básicas para o sucesso da prática de monitoramento:

1. Os objetivos devem ser bem definidos e o programa adaptado a eles e não vice-versa, como já ocorreu no passado. O suporte financeiro deve ser adequadamente dimensionado;

2. O tipo e a natureza do corpo d'água devem ser avaliados, por meio de estudos preliminares, principalmente as variáveis espaciais e temporais;

3. Os meios apropriados (água, material particulado, biota) devem ser devidamente selecionados;

4. As variáveis, os tipos de amostras, a frequência de amostragem e a localização de estações de coleta devem ser definidos, cuidadosamente, de acordo com os objetivos;

5. O campo, os equipamentos e o laboratório devem ser selecionados com base nos objetivos e não vice-versa;

6. Um tratamento de dados completo e operacional deve ser estabelecido;

7. O monitoramento da qualidade do ambiente aquático deve ser integrado ao monitoramento hidrológico;

8. A qualidade analítica dos dados deve ser regulamente verificada por um controle interno e externo;

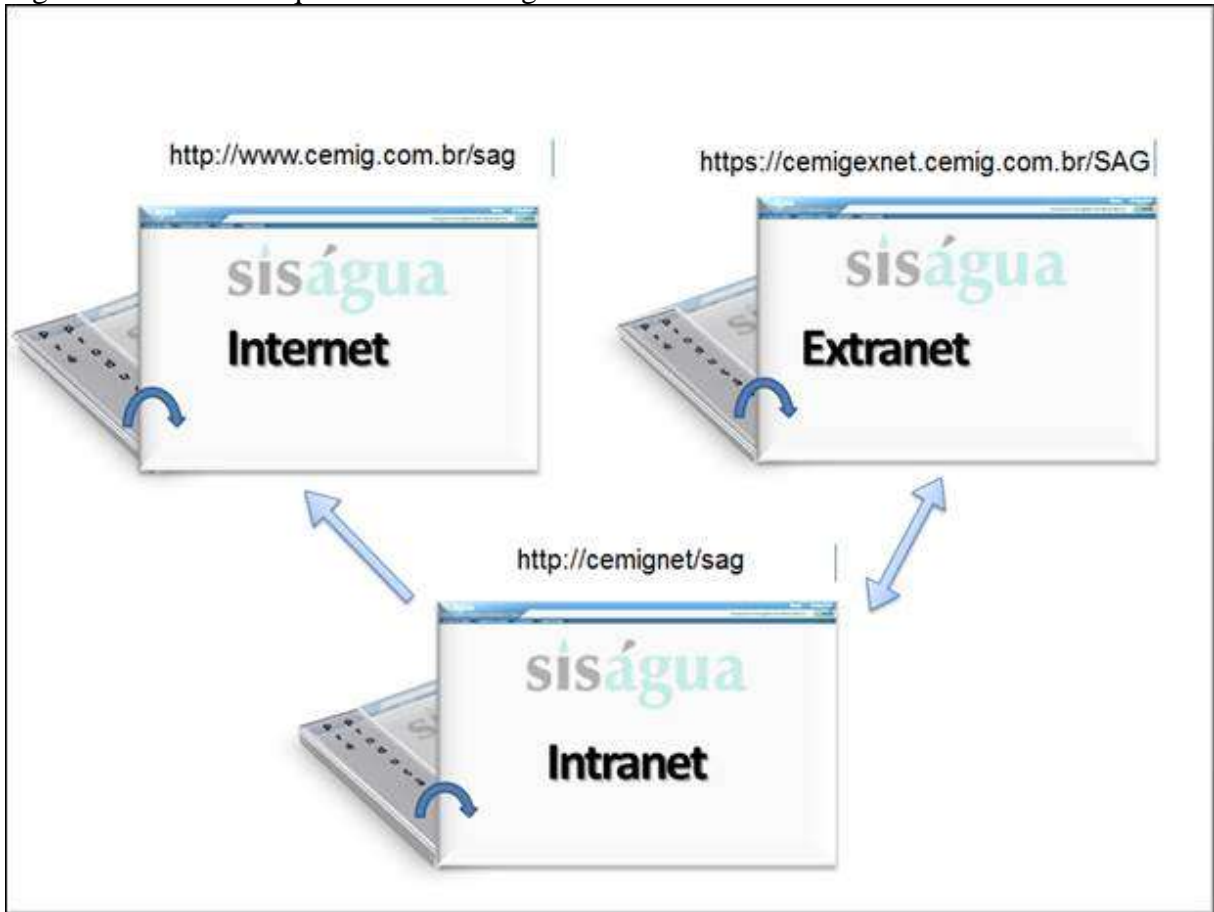
9. Os dados não devem ser enviados para os tomadores de decisão como uma mera lista de variáveis, mas sim interpretados e avaliados por “experts”, com recomendações relevantes para estratégias de manejo;

10. O programa deve ser periodicamente avaliado, especialmente se houver qualquer alteração no ambiente, de causa natural ou influenciada por medidas tomadas na área da bacia.

Hoje o monitoramento é realizado em todas as usinas que a Cemig opera, sendo mais de 180 pontos em diversas profundidades no reservatório e também pontos de rio. Essas coletas geram um grande volume de dados, sendo que os dados físico químicos são armazenados no Sistema de Informação de Qualidade da Água de Reservatórios da Cemig – Siságua, um desafio futuro é a inserção nesse banco de dados dos resultados biológicos. Esse extenso banco de dados possibilita uma avaliação integrada no tempo e no espaço além de permitir que a sociedade acompanhe a evolução da qualidade da água dos reservatórios pela internet no endereço www.cemig.com.br/sag (Figura 9).

O sistema também possui alertas que são disparados quando um parâmetro físico químico ultrapassa seu limite, esse estabelecido na CONAMA nº 357/2005. O que torna a avaliação mais ágil é o pacote R de estatística acoplado no ambiente da intranet que possibilita que as análises estatísticas básicas possam ser realizadas de forma mais prática.

Figura 9 - Desenho esquemático do Siságua em três ambientes



3.5 Principais condicionantes impostas pelos órgãos ambientais

A transformação de um ecossistema lótico em um reservatório promove o surgimento de regiões com características intermediárias entre lóticos e lênticos (THOMAZ et al., 1997). Esta organização ao longo do eixo rio-barragem tem como consequência vários fatores e, dentre os mais afetados estão o tempo de residência e circulação da água, o comportamento térmico, o transporte de sedimentos e a dinâmica de gases e nutrientes (TUNDISI et al., 1993).

Estas mudanças podem exercer influência direta no equilíbrio de um ecossistema que se caracteriza pela sua capacidade em assimilar, transformar e eliminar, continuamente, a matéria e a energia presente. Ambas, matéria e energia interagem em uma intrincada rede de processos, de forma que modificações ocorridas em um compartimento necessariamente induzem a alterações em outros. Havendo o acúmulo de matéria e de energia, pode-se considerar que o ecossistema está em

desequilíbrio e isto pode refletir em uma série de alterações físicas, químicas e também aos componentes bióticos do sistema.

Os programas de monitoramento são considerados ferramentas essenciais no levantamento de informações e de gerenciamentos úteis de avaliações de impactos ambientais em ecossistemas aquáticos (BARBOSA, 1994; METCALFE, 1989; ROSENBERG & RESH, 1993).

Veja abaixo as principais condicionantes impostas pelos órgãos ambientais para controle e monitoramento da qualidade da água (Programas e Subprogramas) e seus objetivos.

3.5.1 Programa de qualidade da água

Os programas de qualidade da água exigidos pelos órgãos ambientais nas condicionantes das licenças de operação dos empreendimentos da Cemig GT, visam:

- ✓ Monitorar a evolução da qualidade da água por meio de variáveis físico-químicas e biológicas nas estações predeterminadas;
- ✓ Identificar principais fontes poluidoras de qualidade da água de origem antrópicas ou naturais, usando como base o levantamento de uso e ocupação do solo realizado no Pacuera;
- ✓ Correlacionar às fontes poluidoras com eventuais variações dos parâmetros de qualidade da água;
- ✓ Relacionar os resultados obtidos com os fatores bióticos e abióticos, incluindo ferramentas estatísticas de análises univariadas, multivariadas e correlações; discutindo os resultados de forma integrada;
- ✓ Comparar os resultados das variáveis físicas, químicas e biológicas obtidas, aos resultados de qualidade das águas disponibilizados pelo IGAM em sítios amostrais próximo ao empreendimento;
- ✓ Apresentar avaliação das condições limitantes e controladoras da produção primária (diagnóstico e prognóstico) utilizando para as análises a Resoluções Conama nº 357/2005;
- ✓ Fornecer informações das variáveis físicas, químicas e biológicas para subsidiar o Programa de Conservação da Ictiofauna;
- ✓ Alimentar o banco de dados de qualidade da água (SISÁGUA) e meio ambiente;

- ✓ Atender aos requisitos legais e normas regulamentadoras pertinentes.

3.5.2 *Subprograma de monitoramento limnológico e comunidades aquáticas*

Dentre os programas de qualidade da água exigidos pelos órgãos ambientais, existem vários subprogramas com os seguintes objetivos:

- ✓ Medir a largura média do canal do rio e a velocidade da correnteza do rio (m/s) nos pontos lóticos;
- ✓ Avaliar as comunidades aquáticas por meio do levantamento do fitoplâncton, perifíton, zooplâncton e macrozoobentos;
- ✓ Detectar espécies exóticas, potencialmente prejudiciais ao ambiente aquático; e de espécies transmissoras de doenças;
- ✓ Correlacionar a dinâmica espaço-temporal de cianobactérias com a entrada de nutrientes no reservatório;
- ✓ Indicar as espécies aquáticas consideradas endêmicas da área ou da bacia e apresentar o levantamento dos táxons considerados bioindicadores (ou potencialmente) de poluição hídrica relacionando-os com o ambiente monitorado;
- ✓ Calcular os seguintes índices:
 - IQA e IQAR - *Índice de Qualidade da Água para rios e reservatórios*;
 - IET - *Índice de Estado Trófico*;
 - ID - *Índice de Diversidade e Equitabilidade*;
 - IS - *Índice de Similaridade*;
 - *Índice de Balneabilidade (IB)*.

3.5.3 *Subprograma de monitoramento, prevenção e controle de Mexilhão-Dourado*

Para o controle, prevenção e monitoramento de espécies aquáticas invasoras, como por exemplo o Mexilhão Dourado, estes subprogramas têm como objetivos:

- ✓ Identificar a ocorrência e densidade de larvas de Mexilhão Dourado (*Limnoperna fortunei*);

- ✓ Fornecer informações da ocorrência e distribuição do mexilhão nos reservatórios para os órgãos ambientais.

3.5.4 Subprograma de monitoramento de Macrófitas Aquáticas

No que se refere às Macrófitas Aquáticas, os subprogramas visam avaliar a comunidade de macrófitas aquáticas por meio do levantamento das espécies presentes no reservatório. Além disso, estes subprogramas correlacionam a dinâmica espaço-temporal de macrófitas com a entrada de nutrientes no reservatório.

3.6 Projetos de Pesquisas desenvolvidos pela empresa na área de qualidade da água

A Cemig, por meio de projetos de P&D, promove ações de proteção aos ecossistemas e preservação da biodiversidade, desenvolvendo ferramentas que incorporam informações ecológicas nos níveis de indivíduos, populações e comunidades, correlacionando com o grau de degradação do ambiente.

Os Projetos de Pesquisa e Desenvolvimento são instrumentos de gestão que permitem ou possibilitam a Cemig identificar oportunidades de melhoria e implantar inovações referenciadas pelas melhores práticas reportadas em nível global. O objetivo é estabelecer parcerias com centros de pesquisa para desenvolver práticas que a posicionem em situação de maior segurança, diante dos múltiplos cenários de riscos prováveis relativos às questões ambientais.

Os resultados destas pesquisas são fundamentais na busca de inovações metodológicas e soluções para adaptações e mitigações dos impactos causados pelo empreendimento, objetivando a minimização dos riscos ambientais e a promoção da biodiversidade, vislumbrando uma gestão sustentável dos recursos hídricos.

As pesquisas devem ser vistas como programas de longo prazo com legitimidade para orientar e fomentar a produção científica e preencher lacunas de conhecimento, principalmente no que tange a diversidade, buscando sempre avançar em estratégias e planejamentos ambientais.

Alguns projetos da Cemig têm avaliado a qualidade ambiental dos reservatórios das usinas por meio de desenvolvimento de Índices de Integridade Biótica (IBI), considerados metodologias inovadoras, que contribuem para ampliar as abordagens adotadas na avaliação e

monitoramento dos corpos de água, inovar as tecnologias de apoio ao gerenciamento dos recursos hídricos e os enfoques no trato dos problemas associados aos usos desses recursos.

Todos os projetos apresentados abaixo são considerados inéditos no Brasil, pois além de explorarem áreas pouco conhecidas, adotam técnicas e estratégias utilizadas internacionalmente.

3.6.1 P&D 479

Utilização de Índice de Integridade Ecológica para Classificar a Qualidade de Ambientes Aquáticos de Minas Gerais

O projeto tem como objetivo avaliar a qualidade ecológica de reservatórios de produção de energia elétrica e de suas bacias de contribuição em Minas Gerais, com base no desenvolvimento e adequação de um índice de integridade ecológica. A metodologia está embasada em uma visão integradora dos ambientes lóticos e represados no contexto da bacia hidrográfica utilizando do conceito de integridade ecológica que se assenta em três pilares: as condições ecomorfológicas do habitat, as condições físico-químicas das águas e a caracterização da estrutura das comunidades aquáticas. O projeto encontra-se na fase de refinamento e validação dos resultados com previsão de divulgação dos resultados no primeiro semestre de 2016.

3.6.2 P&D 485

Pesquisa e Controle da Qualidade das Águas do Programa de Revitalização do Rio São Francisco

O projeto tem por objetivo maior o desenvolvimento de uma ferramenta de avaliação para o monitoramento da qualidade das águas do trecho médio do rio São Francisco. De forma inovadora se propõe a construção de uma embarcação, especialmente projetada para este fim, que navegue desenvolvendo pesquisas científicas e realizando monitoramento da qualidade ambiental dos cursos d'água da bacia do rio São Francisco. O projeto encontra na fase de finalização do barco para o desenvolvimento dos índices propostos para a qualidade da água.

3.6.3 P&D 487

Desenvolvimento de Índices de Integridade Biótica: macroinvertebrados bentônicos como indicadores de qualidade de água em bacias hidrográficas de empreendimentos hidrelétricos da CEMIG em Minas Gerais

O objetivo deste projeto é desenvolver Índices de Integridade Biótica (IBI) utilizando as comunidades de macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores de qualidade de água, além de adaptar para regiões tropicais, validar e aplicar a partir dos manuais do USEPA *National Wadeable Stream Assessment* e seu EMAP - *Environmental Monitoring and Assessment Program-Western Pilot Study*, em colaboração com colegas norte-americanos do USEPA e da Oregon State University. Assim, serão desenvolvidas novas metodologias de avaliação de qualidade ambiental por meio do cálculo de Índice de Integridade Biótica (IBI) para trechos de rios e reservatórios em áreas de interesse de 4 empreendimentos hidrelétricos da CEMIG em Minas Gerais.

3.6.4 P&D 343

Controle do mexilhão dourado: bioengenharia e novos materiais para aplicações em ecossistemas e usinas hidrelétricas

Para aumentar o conhecimento sobre a espécie *Limnoperna fortunei* no Brasil, monitorar seus efeitos e propor medidas de manejo controle e possível erradicação, a Cemig em parceria com o Centro Tecnológico de Minas Gerais – CETEC desenvolve um Projeto de Pesquisa que pretende criar metodologias para a implementação de políticas mitigadoras, descrevendo em escala micrométrica e nanométrica os processos físicos e químicos envolvidos na adesão do mexilhão dourado em praticamente todos os substratos, propondo a utilização de novas técnicas não poluentes de controle e prevenção da ação invasora.

Por meio deste projeto foi criado o Centro de Bioengenharia de Espécies Invasoras de Hidrelétricas - CBEIH, que busca soluções para amenizar os impactos ecológicos, industriais e econômicos causados por espécies invasoras. A proliferação descontrolada destes organismos acaba eliminando outras espécies nativas e comprometendo atividades humanas que dependem de recursos naturais, como agricultura, pecuária e geração de energia hidrelétrica. O CBEIH atua nas frentes de Bioengenharia, Modelamento e Educação Ambiental.

Este projeto encontra-se na fase de encerramento, os resultados estão sendo tabulados para apresentação final no primeiro semestre de 2016.

3.6.5 P&D 399

Desenvolvimento de índices georeferenciados da qualidade das águas e caracterização socioambiental da região de reservatórios em cascata: Volta Grande e Jaguará

O pouco entendimento dos impactos ambientais de reservatórios em cascata foi o motivador desse projeto que procura desenvolver indicadores para melhor gestão desses impactos. Esses indicadores devem refletir as condições socioambientais da região. O projeto encontra-se na fase de refinamento e validação dos resultados com previsão de divulgação dos resultados no primeiro semestre de 2016.

3.6.6 P&D 402

Aplicação de métodos quimiométricos multivariados no gerenciamento de bacias hidrográficas

O projeto desenvolveu algoritmo utilizando a plataforma R, para análises estatísticas, este algoritmo foi integrado ao Sistema de Informação de Qualidade da Água dos Reservatórios da Cemig – SISÁGUA (banco de dados de qualidade da água da Cemig, que é uma das evidências dentro do Dow Jones) para realização do BI (Business Intelligence) do sistema. A partir do avanço do sistema Siságua, a gestão do monitoramento de qualidade da água da Cemig tornou-se mais eficiente trabalhando na construção de um banco de dados robusto, identificação e levantamento de informações para avaliação e controle dos impactos ambientais, além de fortalecer e agilizar as respostas solicitadas pelos órgãos ambientais. O projeto encontra-se em fase de refinamento e ajustes de interface junto a TI da Cemig.

CAPÍTULO 4

Resultados e Discussão

Neste capítulo serão discutidos os resultados e discussões dos tópicos apresentados no Capítulo 3.

4.1 Gestão de qualidade da água na Cemig GT

A gestão de qualidade da água na Cemig Geração e Transmissão S.A. é feita pelo Núcleo de Gestão e Qualidade da Água – NGQA da Superintendência de Gestão Ambiental da empresa. Este núcleo é constituído por biólogos (as) especialistas em qualidade da água, que tem, dentre outras funções a elaboração e análises de relatórios, respostas a questionamentos feitos pelos órgãos ambientais (municipal, estadual e federal), respostas a questionamentos feitos pelo ministério público, polícia de meio ambiente, participação em audiências públicas.

No intuito de traduzir de forma concisa e objetiva para as autoridades e o público a influência que as atividades ligadas aos processos de desenvolvimento provocam na dinâmica ambiental dos ecossistemas aquáticos, a Cemig utiliza e disponibiliza no monitoramento da qualidade da água, o Índice de Qualidade das Águas – IQA, por meio dos resultados obtidos de nove parâmetros específicos. Este índice indica o grau de contaminação das águas de rios por materiais orgânicos, nutrientes e sólidos, que normalmente são indicadores de poluição associados a despejos domésticos.

No Quadro 2 estão apresentados os resultados de IQA do segundo semestre de 2017 para algumas usinas da Cemig GT:

Quadro 2 - Índice de Qualidade da Água de algumas usinas da Cemig GT

Usina	Corpo D'água	IQA	Nível de Qualidade	Faixa
Cajuru	Pará	88,67	Excelente	$90 < IQA \leq 100$
Jaguara	Grande	90,16	Bom	$70 < IQA \leq 90$
Machado Mineiro	Pardo	82,20	Médio	$50 < IQA \leq 70$
São Simão	Paranaíba	77,20	Ruim	$25 < IQA \leq 50$
Volta Grande	Grande	85,00	Muito Ruim	$0 < IQA \leq 25$

Os resultados apontaram ambientes com qualidade boa e excelente da água durante o monitoramento do segundo semestre de 2017. Estes resultados de IQA corroboram a maioria dos resultados obtidos físico químico obtidos nas três campanhas realizadas nas usinas, que indicam, em geral, água pouco impactadas antropicamente e influenciadas pelo período de maior pluviosidade na região.

4.2 Espécies aquáticas invasoras

4.2.1 Mexilhão Dourado

O *Limnoperna fortunei*, conhecido como mexilhão-dourado, é um molusco bivalve exótico que vem causando grande preocupação no âmbito ambiental. O molusco invasor entrou nas águas da América do Sul em 1991 através de lastros de navios asiáticos, onde são nativos. Sem um predador e com condições ótimas para sua proliferação, essa espécie vem se alastrando nos rios brasileiros e causando perda de biodiversidade e incrustações.

De acordo com Mansur *et al.* (2012) as aglomerações formadas pelo mexilhão dourado causam a obstrução de encanamentos, redução do diâmetro de tubulações, entupimentos de filtros, bombas, grades e trocadores de calor, principalmente em usinas geradoras de energia. Ainda segundo Mansur, quando o mexilhão se incrusta sobre madeira, ferro ou concreto, pode fechar toda a superfície criando um ambiente anóxico sob a camada incrustante. Este ambiente é propício às bactérias anaeróbicas que produzem ácido sulfúrico durante seu metabolismo. Este ácido, muitíssimo corrosivo, acelera o apodrecimento e a corrosão do material da base.

Em julho de 2016 foi registrada a primeira presença de larvas de mexilhão dourado na UHE Emborcação, localizada a montante da UHE São Simão. No monitoramento realizado em outubro de 2016, a larva do molusco invasor foi detectada pela primeira vez no monitoramento de qualidade das águas da UHE São Simão. Atualmente, nos monitoramentos realizados pela Cemig GT, foi verificada a presença deste molusco na Usina de São Simão conforme pode ser observado no Quadro 3.

Quadro 3 - Resultados obtidos para densidade de larvas de *Limnoperna fortunei*

Identificação da Amostra	Qualitativo	Densidade (org./L)
UHE São Simão	Presente na amostra	0,0135

Frente a esses resultados ressalta-se a importância do monitoramento desse molusco no reservatório e suas confluências. Desta forma, a Cemig GT iniciou dois projetos de Pesquisa:

- P&D GT 0132 – Desenvolvimento de metodologias e pesquisas no ecossistema e em plantas de usinas hidrelétricas para controle do mexilhão dourado;
- P&D GT 0343 – Controle do mexilhão dourado: bioengenharia e novos materiais para aplicações em ecossistemas e usinas hidrelétricas.

O primeiro deles, tinha como objetivo mapear o mexilhão dourado por um ciclo anual e avaliar a influência de variáveis ambientais e a sazonalidade das densidades populacionais do mexilhão dourado, *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857), considerando as fases de larva, recruta e adulto.

O segundo, desenvolver metodologias para a implementação de políticas mitigadoras da CEMIG GT descrevendo em escala micrométrica e nanométrica os processos físicos e químicos envolvidos na adesão do mexilhão dourado em praticamente todos os substratos, propondo a implementação de novas técnicas não-poluentes de controle e prevenção da ação invasora, realizando estudos detalhados do processo de invasão do mexilhão tendo como estudo de caso a UHE de São Simão.

Atualmente na empresa existe o projeto:

- P&D GT 0604 - Controle do mexilhão dourado: Bioengenharia e novos materiais para aplicações em ecossistemas e usinas hidrelétricas-Fase2. Este projeto está válido até o ano de 2022.

4.2.2 Macrófitas

A presença de macrófitas em reservatórios possui tanto aspectos positivos quanto negativos para os ecossistemas aquáticos tornando-se, assim, essencial o estudo dessa comunidade para o adequado manejo dos recursos hídricos (BOTTINO, 2011).

Não foi verificada a presença de bancos de macrófitas em nenhuma usina da Cemig Geração e Transmissão SA. No entanto, na PCH Gafanhoto foi constatada a presença de alguns bancos de macrófitas aquáticas no reservatório no ano de 2017. A descrição das amostras de macrófitas coletadas segue no Quadro 4.

Segundo Esteves (2011), em condições ideais, as macrófitas aquáticas possuem elevadas taxas de produtividade primária, e não raramente cobrem um ecossistema aquático, ou partes representativas dele, em reduzido período de tempo. Esse fato pode ser verificado nos registros fotográficos abaixo.

A Figura 10 mostra o canco extenso de macrófitas na margem esquerda do reservatório da PCH Gafanhoto.

Figura 10 - Banco de macrófitas extenso na margem esquerda do reservatório de Gafanhoto



Quadro 4 - Descrição das macrófitas encontradas na PCH Gafanhoto

Família	Espécie	Nome Popular	Hábito	Ponto 01	Ponto 02	Ponto 03
Pontederiaceae	<i>Eichhornia crassipes</i> (Mart.) Solms	Aguapé	Flutuante livre	x	x	x

4.2.3 Cianobactérias

O fitoplâncton está constituído de diversos grupos de microalgas. A classe Cyanophyceae, também chamada de cianofíceas ou cianobactérias, assume grande importância sanitária e de saúde pública. Estas algas são tratadas pela resolução nº 357/05 do CONAMA (Conselho Nacional de Meio Ambiente) e pela portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde.

Por serem capazes de produzir toxinas, inclusive letais, que afetam outros organismos aquáticos de todos os níveis tróficos e, uma vez que são termotolerantes e permanecem na água após processos convencionais de tratamento para abastecimento, constituem importante risco à saúde humana.

As florações de cianobactérias alteram o equilíbrio dos ecossistemas aquáticos, criam um biofilme superficial de cor verde, alterando a transparência da água e conduzindo a desoxigenação de lagos e rios. Além disso, liberam substâncias que produzem gosto e odor desagradáveis, afetam a potabilidade dos reservatórios de uso humano e, até mesmo em áreas recreacionais e de banho, a qualidade da água fica comprometida (BRASIL, 2003).

De acordo com Tundisi & Matsumura-Tundisi (1993), o crescimento da agroindústria em algumas regiões do Brasil, tem sido bastante alto nos últimos 20 anos. A grande biomassa de cultivos mono específicos e a necessidade de intensificar o crescimento vegetal, pelo uso extenso de fertilizantes, têm causado uma rápida eutrofização de rios e reservatórios, o que favorece o crescimento elevado de cianobactérias, macrófitas aquáticas e altas concentrações de fósforo no sedimento.

As cianobactérias são organismos cosmopolitas e apresentam grande tolerância às condições ambientais e climáticas, podendo ser encontradas na maioria dos ecossistemas aquáticos, principalmente na água doce, além de ambientes extremos, como fontes termais, neve e deserto. São microrganismos com capacidade de produzir toxinas (cianotoxinas), em alguns casos, altamente prejudiciais à saúde humana e animal, que podem causar graves intoxicações pela ingestão e contato com corpos de água contaminadas (CEMIG, 2009).

A legislação CONAMA nº 357/2005 estipula uma densidade máxima de 50.000 células por mL de cianobactérias para águas de classe 2. Todas as estações amostradas exibiram resultados dentro do limite máximo permitido, portanto em conformidade com a legislação.

No Quadro 5 encontram-se os resultados obtidos para densidade de cianobactérias na Usina de São Simão na amostragem realizada em janeiro de 2018. Este resultado, embora esteja abaixo do Valor Máximo Permitido (VMP), foi considerado o mais crítico devido as características do local.

Quadro 5 - Resultados para a comunidade de cianobactérias (cél./mL)

Cianobactérias	VMP	Ponto 01	Ponto 02	Ponto 03	Ponto 04	Ponto 05	Ponto 06	Ponto 07	Ponto 08
Densidade (cél./mL)	50.000	195,94	0	13,06	0	0	522,50	0	457,18

Existe na Cemig GT o P&D GT 0346 - Desenvolvimento de novas metodologias para avaliação da distribuição espaço-temporal de cianobactérias e cianotoxinas em reservatórios, e os seus efeitos deletérios em peixes. Este projeto tem como objetivo desenvolver uma

metodologia para detecção de cianobactérias e suas toxinas, tanto na água como no pescado, utilizando como estudo de caso o Reservatório de Volta Grande.

4.3 Parâmetros Físico-químicos e hidrológicos

Os estudos de parâmetros físico-químicos e hidrobiológicos das águas são de grande importância para o conhecimento do ambiente e identificação dos padrões de variação das condições ambientais, tanto dentro dos rios e reservatório como em seu entorno, e têm implicações nas características limnológicas como um todo.

O reservatório apresentou condições críticas com relação as concentrações de oxigênio dissolvido nos pontos de profundidade conforme Quadro 6. Os Efluentes domésticos, industriais e agrícolas são fontes de nutrientes propícios para o crescimento de plantas aquáticas. Muitas vezes ocorre um crescimento excessivo de plantas ao ponto que sejam indesejáveis.

Foram verificados baixos teores de oxigênio dissolvido, o que é esperado, por se tratar de ambiente profundo, em que a circulação das águas no hipolímio e epilímio pode ser dificultada, reduzindo a quantidade do oxigênio atmosférico nas estações de fundo.

Em diversas estações superficiais o fósforo total esteve acima do limite permitido indicando um maior aporte de matéria de origem orgânica nesses ambientes. Esse resultado pode ser decorrente do carreamento superficial no período chuvoso ou do lançamento direto de efluentes no corpo hídrico, devendo ser mais bem observado nos próximos monitoramentos.

Os sólidos suspensos estiveram em desconformidade em alguns reservatórios, reforçando a hipótese do carreamento de materiais com consequência das chuvas na região.

A eutrofização geralmente provoca a sedimentação de fitoplânctons, o que gera uma demanda de oxigênio no sedimento, além de dificultar a reaeração e também a incidência de luz solar no fundo, fatores estes que fazem com que a concentração de OD caia no hipolímio, Thomann e Mueller (1997).

Quadro 6 - Resultados dos parâmetros físico-químicos e hidrológicos nos reservatórios das usinas da CEMIG

PARÂMETROS	UNIDADE	IDENTIFICAÇÃO DOS PONTOS DE ANÁLISE NAS USINAS DA CEMIG									VMP	LQ
		Ponto 01	Ponto 02	Ponto 03	Ponto 04	Ponto 05	Ponto 06	Ponto 07	Ponto 08	Ponto 09		
Alcalinidade Total em CaCO ₃	mg/L	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	NA	1
Chumbo Total	mg/L	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	0,01	0,002
Cloreto Total	mg/L	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	250	2
Clorofila a	µg/L	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	30	0,1
Cobre Total	mg/L	0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	NA	0,006
Coliformes Termotolerantes	UFC/100mL	2.419	54,6	79,8	21,6	56,8	3,1	29,9	1,0	43,2	1000	0
Cor	Unid.Pt-Co	150	30	30	5	5	<5	<5	<5	<5	75	5
Déficit Oxigênio Dissolvido	%	38	23	32	24	14	9	18	19	25	-	1 a 100
Demanda Bioquímica de Oxigênio	mgO ₂ /L	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00	5	2
Demanda Química de Oxigênio	mgO ₂ /L	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	NA	10
Densidade de Cianobactérias	cel/mL	18.500	10.000	41.000	18.000	16.000	12.000	37.000	92.000	0	50.000	-
Dureza de Cálcio	mg/L	9,54	25,69	24,1	26,12	20,23	20,2	18,23	23,25	18,38	NA	2
Dureza Total	mg/L	14,64	37,1	34,89	37,28	28,83	28,2	25,72	32,78	26,16	500	0,1
<i>Enterococos</i>	UFC/100mL	620	Ausente	25	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	21	0	NA
<i>Escherichia coli</i>	UFC/100mL	2.419	54,6	79,8	21,6	56,8	3,1	29,9	1,0	43,2e	1000	0
<i>Streptococos</i> fecais	UFC/100mL	585	Ausente	32	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	16	0	NA
Fenóis Totais	mg/L	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	0,003	0,003
Feoftina	µg/L	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	NA	0,1
Ferro Solúvel	mg/L	0,437	0,791	0,547	0,033	0,106	0,031	0,019	0,050	<0,104	0,3	0,019
Ferro Total	mg/L	8,181	1,058	0,835	0,186	0,856	0,061	0,126	0,287	1,367	NA	0,019
Fósforo Total	mg/L	0,126	0,048	0,062	<0,03	0,060	<0,03	0,062	<0,03	0,045	0,03 ¹	0,03
Manganês Solúvel	mg/L	0,024	<0,002	0,025	0,004	0,005	0,003	0,002	0,409	0,03	NA	0,002
Nitrato	mg N/L	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	10	0,2

¹ Até 0,030 mg/L em ambientes lênticos; e até 0,050 mg/L em ambientes intermediários, com tempo de residência entre 2 e 40 dias, e tributários diretos de ambientes lênticos.

PARÂMETROS	UNIDADE	IDENTIFICAÇÃO DOS PONTOS DE ANÁLISE NAS USINAS DA CEMIG									VMP	LQ
		Ponto 01	Ponto 02	Ponto 03	Ponto 04	Ponto 05	Ponto 06	Ponto 07	Ponto 08	Ponto 09		
Nitrogênio Amoniacal	mg/L	<0,28	<0,28	<0,28	<0,28	<0,28	<0,28	<0,28	<0,28	<0,28	2 ²	0,28
Nitrogênio Inorgânico Total	mg/L	<0,28	<0,28	<0,28	<0,28	<2	<0,28	<0,28	<0,28	<0,28	-	0,53
Nitrogênio Orgânico	mg/L	1,04	0,49	0,48	0,7	0,45	1,09	0,98	0,48	0,78	NA	0,28
Nitrogênio Total	mg/L	1,12	0,56	0,56	1,12	0,56	1,12	1,12	0,56	0,84	NA	0,53
Óleos e Graxas	mg/L	V.A	V.A	V.A	V.A	V.A	V.A	V.A	V.A	V.A	V.A	-
Ortofosfato	mg/L	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	NA	0,05
Potássio	mg/L	2,15	2,1	2,14	1,16	1,01	1,02	0,99	0,99	1,11	NA	0,025
Sódio	mg/L	0,527	1,109	1,327	1,033	1,003	1,193	1,015	1,171	1,006	NA	0,004
Sólidos Dissolvidos Totais	mg/L	<33	62	68	65	52	48	47	60	48	500	33
Sólidos Suspensão	mg/L	561	<33	<33	<33	<33	<33	<33	<33	<33	NA	33
Sólidos Totais	mg/L	583	71	55	81	78	60	58	73	70	NA	33
Sulfato Total	mg/L	2,4	<2	<2	<2	<2	3,0	<2	<2	<2	250	2
Turbidez	NTU	728	37,05	29,16	9,38	10,67	4,54	4,29	1,12	5,71	100	0,5
Zinco Total	mg/L	3,849	5,324	6,068	3,946	6,095	6,258	5,207	<0,002	0,005	0,18	0,002

² Limite de Amônia (Classe 2 - CONAMA 357/05) = 3,7mg/L para pH ≤ 7,5, 2,0 mg/L para 7,5 < pH ≤ 8,0, 1,0 mg/L para 8,0 < pH ≤ 8,5 e 0,5 mg/L, para pH > 8,5

De um modo geral, todos os pontos de coleta estudados apresentam grau avançado de comprometimento ambiental da vegetação ripária, o que reflete diretamente na diversidade de zoobentos. Ainda assim foram encontrados organismos bioindicadores, como alguns insetos da Ordem Odonata, Coleoptera e Hemiptera.

No entanto a diversidade de organismos sensíveis e muito sensíveis às alterações ambientais foi baixa, devido às características homogêneas do ambiente e a baixa concentração de oxigênio dissolvido. A malha amostral foi definida baseada na dinâmica de uso e ocupação das bacias contribuintes. A frequência de coleta, os sítios amostrais e as variáveis contempladas no monitoramento, deverão ser reavaliados com objetivo de detectar a eficiência do programa.

Apesar do reservatório e de seus tributários sofrerem cada vez mais com as intensas pressões de uso e ocupação nas áreas adjacentes, a qualidade da água vem apresentando melhora nos resultados em comparação às campanhas passadas. Portanto, pode-se inferir que a atividade de geração de energia não está contribuindo para as poucas alterações observadas na qualidade da água.

Qualquer ação de controle biológico e manutenção da qualidade da água dos reservatórios deve envolver os aspectos sociais, econômicos e ambientais. As medidas devem contemplar o estabelecimento da vegetação nas áreas de preservação permanente e a fiscalização constante do uso do solo próximo as margens do reservatório e dos seus tributários.

4.4 Projetos de Pesquisas desenvolvidos pela empresa na área de qualidade da água

Água e energia são recursos estratégicos no desenvolvimento da humanidade, mantendo as grandes civilizações do passado do presente, assim como as do futuro. Com as crescentes demandas por água, agravadas por uma combinação de causas: interação entre agentes naturais (litologia, erosão, precipitação e variações climáticas), ações antrópicas (urbanização, atividades industriais e agrícolas, consumo de água), faz com que a gestão e conservação deste recurso seja de alta relevância para à sustentabilidade dos recursos hídricos e conseqüentemente ao desenvolvimento humano.

Diante da problemática envolvendo água nos últimos anos, o setor ambiental da Cemig se deparou com aumento de solicitações de informações sobre o monitoramento da qualidade da água de seus reservatórios, por parte da sociedade e, principalmente, dos órgãos ambientais. Ciente dos impactos causados por suas atividades agravadas por uma combinação de causas,

dentre vários programas ambientais a Cemig trabalha com um programa específico de Monitoramento de Qualidade da Água, que tem como um dos principais objetivos criar estratégias mais eficientes e fortalecer a gestão da qualidade da água. Este programa de monitoramento gera uma grandiosa quantidade de dados que são armazenados num banco de dados Siságua.

Desta forma, através do programa de pesquisa e desenvolvimento da Aneel, a Cemig lançou vários editais para avançar na construção de um sistema de informação, que não só armazenasse os dados, mas também trabalhasse os dados com proposições de estratégias complementares e inovadoras às usualmente adotadas. Veja a seguir alguns destes projetos:

4.4.1 P&D 479 Utilização de Índice de Integridade Ecológica para Classificar a Qualidade de Ambientes Aquáticos de Minas Gerais

Neste projeto avaliou-se a qualidade ecológica dos reservatórios de produção de energia elétrica Cajuru, Peti e Rio de Pedras, MG e respectivas bacias de contribuição, pelo índice de integridade ecológica (IIE). O estudo abrangeu três níveis de escala: (i) escala ampla - unidades hidrográficas de Minas Gerais com a delimitação das ecorregiões aquáticas (São Francisco, Mata Atlântica Leste e Sudeste, Paraíba do Sul e Alto Paraná), a tipificação dos ambientes lóticos que resultou 21 tipos e a tipificação dos reservatórios da Cemig, com base em variáveis morfométricas, constituindo 7 grupos; (ii) mesoescala - a bacia de contribuição dos reservatórios referenciados, tipificando 24 tipos de segmentos lóticos e (iii) escala de detalhe - avaliação das condições físico-química das águas e sedimentos, da ecoidromorfologia do Habitat e composição e estrutura de comunidades biológicas, em 42 sítios fluviais (período seco-2013/2014) e 45 sítios lacustres (25 litorâneos, 20 limnéticos e bentônicos - período seco e chuvoso/2014). As respostas e sensibilidade da biota ao gradiente de distúrbio, pelo IIB médio, foram distintas entre os sítios fluviais e lacustres. Nos lacustres as respostas dos produtores foram em geral melhores, com IIBs mais ajustados ao gradiente de distúrbio. Nos fluviais os distúrbios foram mais restritivos aos produtores que aos consumidores. As respostas das comunidades biológicas aos impactos antropogênicos discriminaram os sítios de referência. Segundo o IIE os sítios fluviais e lacustres de Cajuru mostraram pior qualidade ecológica, reflexo das pressões da bacia. Em Rio de Pedras prevaleceu sítios com qualidade boa e em Peti dois sítios fluviais com qualidade excelente e o reservatório com maior variabilidade (excelente a ruim). Os avanços advindos do projeto

demonstram a aplicabilidade de tecnologia sinérgica para inovar a gestão das águas com base na qualidade ecológica de ambientes aquáticos. Direciona a continuidade de pesquisas focadas na totalidade de uma ecorregião aquática, na identificação de condições de referência por tipo de corpo de água do Estado e uso da bioindicação, conciliando a efetividade de respostas com a aplicação de recursos financeiros.

4.4.2 P&D 485 Pesquisa e Controle da Qualidade das Águas do Programa de Revitalização do Rio São Francisco

O projeto tem por objetivo maior o desenvolvimento de uma ferramenta de avaliação para o monitoramento da qualidade das águas do trecho médio do rio São Francisco, o Índice de Integridade Plâncton-Bentônico. De forma inovadora se propõe a construção de uma embarcação, especialmente projetada para este fim, que navegue desenvolvendo pesquisas científicas e realizando monitoramento da qualidade ambiental dos cursos d'água da bacia do rio São Francisco.

A embarcação será uma importante unidade móvel de Pesquisa e Educação projetada para atuar no trecho médio do Rio São Francisco, a partir de Pirapora (MG) até a fronteira com o estado da Bahia, podendo, em ocasiões eventuais, ser transportado para o reservatório de Três Marias para realizar ações de monitoramento das águas.

A partir desta unidade móvel, ações de pesquisa, educação e capacitação se constituem no diferencial do modelo que a UNESCO-HIDROEX busca estruturar e implantar no rio São Francisco. O Barco-Pesquisa permitirá a seus usuários desenvolver in loco, e na prática, respostas aos desafios da gestão de recursos hídricos. Pesquisas, extensão, educação, além do monitoramento dos recursos hídricos da bacia do rio São Francisco, serão atividades desenvolvidas dentro do Barco. Todas estas atividades, obviamente, estão voltadas para a preservação ambiental.

4.4.3 P&D 487 Desenvolvimento de Índices de Integridade Biótica: macroinvertebrados bentônicos como indicadores de qualidade de água em bacias hidrográficas de empreendimentos hidrelétricos da CEMIG em Minas Gerais

Este Projeto de Pesquisas foi realizado integralmente o que permitiu alcançar os objetivos inicialmente propostos. O objetivo deste projeto foi desenvolver Índices de

Integridade Biótica (IBI) utilizando as comunidades de macroinvertebrados bentônicos como bioindicadoras de qualidade de água, além de adaptar para regiões tropicais, validar e aplicar a partir dos manuais do US-EPA's *National Wadeable Stream Assessment* e seu EMAP - *Environmental Monitoring and Assessment Program-Western Pilot Study*, em colaboração com colegas norte-americanos do US-EPA e da Oregon State University. Os objetivos específicos foram: (1) Desenvolver índices de integridade biótica para as bacias dos reservatórios de Nova Ponte, Três Marias, Volta Grande e São Simão; (2) Comparar a qualidade ambiental entre bacias hidrográficas estudadas; (3) Consolidar a metodologia de Índices de Integridade Biótica no estado de Minas Gerais e propor como ferramenta de avaliação ambiental para o governo e órgãos gestores de recursos hídricos; (4) Formar pessoal no nível de pós-graduação em ecologia (mestrado e doutorado) em uma abordagem transdisciplinar; (5) Aperfeiçoar técnico-cientificamente através da colaboração com pesquisadores de outros grupos no Estado de Minas Gerais (p.ex. UFLA, PUC-Minas, UFU) e no exterior (p.ex. Oregon State University, US Environmental Protection Agency), buscando disseminar as metodologias e ampliando a sua utilização para outras bacias hidrográficas no país; (6) Utilizar dados obtidos anteriormente através do financiamento de projeto de pesquisa pelo Programa Peixe Vivo da CEMIG para propor índices de integridade biótica. Todos os objetivos propostos inicialmente foram cumpridos. Os recursos utilizados neste projeto propiciaram o desenvolvimento e consolidação do principal produto previsto inicialmente, o desenvolvimento de um Índice de Integridade Biótica (IBI) para as bacias hidrográficas dos Rios Paraná e São Francisco, abrangendo 4 empreendimentos hidrelétricos da CEMIG (Nova Ponte, Três Marias, São Simão e Volta Grande) em Minas Gerais (Silva et al. 2017). Além disso, os recursos deste projeto permitiram a formação de 5 doutores e 7 mestres (inicialmente previstos 2 doutorados e 2 mestrados), além de trabalhos de conclusão de curso de graduação e iniciação científica em uma abordagem transdisciplinar. Permitiu também o aperfeiçoamento técnico-científico através da colaboração com professores e pesquisadores de diversas universidades brasileiras (p.ex. UFLA, PUC, UFU, UFPA, UFMA, UnB) e no exterior (p.ex. Universidade Estadual do Oregon, Universidade de Lyon, Universidade de Barcelona, Universidade de Coimbra). O projeto propiciou a publicação de 30 artigos científicos publicados em revistas internacionais indexadas de ampla circulação, realização de cursos de treinamento, participação em dezenas de simpósios e congressos de divulgação científica nacionais e internacionais. Os resultados obtidos permitem aplicação direta em bacias hidrográficas de empreendimentos hidrelétricos através da aplicação de índices de diagnóstico de qualidade ambiental e respostas biológicas utilizando

comunidades bentônicas como bioindicadoras de qualidade de água. Portanto, foram desenvolvidas novas metodologias de avaliação de qualidade ambiental através do cálculo de Índices de Integridade Biótica (IBIs) para trechos de rios e reservatórios em áreas de interesse de 4 empreendimentos hidrelétricos da CEMIG no estado de Minas Gerais.

4.4.4 P&D 343 Controle do mexilhão dourado: bioengenharia e novos materiais para aplicações em ecossistemas e usinas hidrelétricas

As invasões biológicas estão entre os piores problemas ecológicos da atualidade, considerados pela IUCN (International Union for Conservation of Nature/ União Internacional de Conservação da Natureza) a segunda maior fonte de perda da biodiversidade no planeta. No Brasil, entre muitas espécies invasoras, encontra-se o Mexilhão Dourado (*Limnoperna fortunei*), molusco bivalve de água doce natural do sudeste asiático. Desde sua chegada à América do Sul (por volta de 1990, na Argentina), tem causado sérios prejuízos aos ecossistemas e às atividades ligadas ao tratamento de água e produção de hidroeletricidade.

4.4.5 P&D 399 Desenvolvimento de índices georeferenciados da qualidade das águas e caracterização socioambiental da região de reservatórios em cascata: Volta Grande e Jaguará

As invasões biológicas estão entre os piores problemas ecológicos da atualidade, considerados pela IUCN (International Union for Conservation of Nature/ União Internacional de Conservação da Natureza) a segunda maior fonte de perda da biodiversidade no planeta. No Brasil, entre muitas espécies invasoras, encontra-se o Mexilhão Dourado (*Limnoperna fortunei*), molusco bivalve de água doce natural do sudeste asiático. Desde sua chegada à América do Sul (por volta de 1990, na Argentina), tem causado sérios prejuízos aos ecossistemas e às atividades ligadas ao tratamento de água e produção de hidroeletricidade.

Os estudos com enfoque em bioengenharia realizados através do conhecimento da biologia e ecologia do organismo associados ao desenvolvimento e aprimoramento de tecnologias de modelagem computacional, biologia molecular, técnicas de campo e análises laboratoriais, um programa pioneiro no Brasil de prevenção e combate às espécies invasoras foi desenvolvido e testado. Este programa teve como base, a experiência de grandes centros de pesquisa internacionais, que foi somada às novas tecnologias da informação desenvolvidas localmente no Centro

O DRRI é uma metodologia, resultado de um composto de pesquisa aplicada e desenvolvimento tecnológico organizado principalmente nas áreas de obtenção de conhecimento, prevenção e controle.

A implantação do Programa de Detecção Rápida e Resposta Imediata - DRRI - garantirá ao estado, às empresas e a todos os usuários das bacias um sistema eficiente de prevenção e combate à espécie invasora mexilhão dourado e poderá servir de base para controle de outras espécies invasoras. Por utilizar sistemas de inteligência, que garantem amostragens em ambientes prioritários, técnicas de identificação e controle com a mais alta tecnologia disponível, bem como uma rede integrada com todos os usuários e gestores da bacia, o DRRI possibilitará um sistema mais eficiente, seguro e de baixo custo, comparado aos sistemas atualmente desenvolvidos.

4.4.6 P&D 402 Aplicação de métodos quimiométricos multivariados no gerenciamento de bacias hidrográficas

O projeto teve como fator inovador a integração de um algoritmo gerado no ambiente de programação estatística e gráfica R 2.15 para análise quimiométrica dos dados de qualidade da água de bacias hidrográficas e reservatórios em um banco de dados Siságua. A aplicação de métodos quimiométricos (também conhecidos como técnicas estatísticas multivariadas) nos estudos da qualidade das águas permite uma melhor avaliação e aproveitamento dos resultados de monitoramento da qualidade de águas em uma bacia hidrográfica, sendo uma condição praticamente obrigatória para uma interpretação satisfatória dos resultados, que abrangem vários pontos e parâmetros ao longo de um intervalo significativo de tempo, resultando em matrizes complexas de dados. Além dessas aplicações, as análises quimiométricas permitem que os resultados do monitoramento sejam associados ao uso do solo ao longo da bacia, permitindo a caracterização da influência de fatores naturais ou artificiais, ou ainda fontes difusas ou pontuais, na qualidade das águas superficiais da bacia.

O desenvolvimento do projeto com a aplicação dos métodos quimiométricos através da construção dos algoritmos no ambiente R dentro do banco de dados Sisagua, permitiu melhorias na construção de um banco de dados robusto, identificação e levantamento de informações para avaliação e controle dos impactos ambientais em todas as fases de seus empreendimentos – desde a concepção do projeto até sua operação, além de fortalecer e

principalmente agilizar as respostas solicitadas pelos órgãos ambientais das problemáticas envolvendo água, seja de caráter natural ou antrópica.

CAPÍTULO 5

Conclusões e Considerações Finais

Neste capítulo serão apresentadas algumas conclusões a partir dos resultados obtidos no monitoramento de qualidade da água nas usinas da Cemig Geração e Transmissão SA.

A partir dos resultados obtidos no monitoramento realizado nas usinas hidrelétricas da Cemig GT pode-se concluir:

- De acordo com os resultados físico-químicos obtidos pode-se dizer que as águas afluentes e interiores dos reservatórios apresentam boas condições. A maioria dos parâmetros esteve dentro dos limites permitidos pela resolução CONAMA Nº 357/2005 e COPAM/CERH Nº 01/2008. As exceções serão elencadas na sequência;
- Foram verificados baixos teores de oxigênio dissolvido, o que é esperado, por se tratar de ambiente profundo, em que a circulação das águas no hipolímnio e epilímnio pode ser dificultada, reduzindo a quantidade do oxigênio atmosférico nas estações de fundo;
- Em diversas estações superficiais o fósforo total esteve acima do limite permitido indicando um maior aporte de matéria de origem orgânica nesses ambientes. Esse resultado pode ser decorrente do carreamento superficial no período chuvoso ou do lançamento direto de efluentes no corpo hídrico, devendo ser mais bem observado nos próximos monitoramentos;
- Os sólidos suspensos estiveram em desconformidade em alguns reservatórios, reforçando a hipótese do carreamento de materiais com consequência das chuvas na região;
- Os Projetos e Pesquisa e Desenvolvimento – P&D's tem alcançado o seu objetivo de alocar adequadamente recursos humanos e financeiros em projetos que demonstrem a originalidade, aplicabilidade, relevância e a viabilidade econômica de produtos e serviços, nos processos e usos finais de energia. Além disso, eles buscam promover a cultura da inovação, estimulando a pesquisa e desenvolvimento no setor elétrico brasileiro, criando novos equipamentos e aprimorando a prestação de serviços que contribuam para a segurança do fornecimento de energia elétrica, a modicidade tarifária, a diminuição do impacto ambiental do setor e da dependência tecnológica do país;
- As coletas para o monitoramento da qualidade da água geram grande volume de informações, que são analisadas e armazenadas, garantindo, assim, um extenso banco de dados (Siságua), que possibilita a análise da evolução temporal e espacial dos reservatórios e seu entorno. O

aprimoramento do sistema (Siságua) proporciona uma estruturação de gerenciamento diferenciada, geração de informações rápidas, precisas e principalmente úteis. Os sistemas de informação vêm assumindo um papel estratégico nas organizações, corroborando para uma gestão mais eficiente;

- Diante da crescente demanda por informações ambientais por parte da sociedade e, principalmente, dos órgãos ambientais, e as crescentes transformações decorrentes do desenvolvimento tecnológico nas áreas de informação e comunicação a Cemig disponibiliza este banco de dados (denominado Siságua) na Internet, com intuito de compartilhar com a sociedade as informações adquiridas sobre os ecossistemas aquáticos onde a empresa possui empreendimentos. É importante destacar que foi incorporado ao sistema um filtro geográfico, que tem como objetivo melhorar a interface para usuários da internet e intranet do sistema, obtendo uma área de interação geográfica, para facilitar o filtro das consultas dos usuários;

- O monitoramento, controle e gestão dos recursos hídricos são necessário tendo em vistas que os ecossistemas aquáticos continentais abrigam uma grande diversidade de fauna e flora. Nesse sentido, a rede hidrográfica brasileira apresenta um elevado grau de diversidade e alta complexidade, sendo um grande conjunto de bacias e regiões hidrográficas com características diferenciadas, o que torna favorável o desenvolvimento de uma biota aquática altamente complexa. Estes ecossistemas aquáticos são responsáveis por grande parte da biodiversidade brasileira;

- Reconhecer, avaliar e gerir responsabilmente os impactos ambientais nas fases de projeto, implantação e operação de seus empreendimentos são processos que a Cemig aperfeiçoou ao longo de sua história. Sendo assim, a sinergia entre a pesquisa, a inovação e a prática de soluções, geram resultados positivos nas ações de sustentabilidade da empresa.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Portal da qualidade das águas**. Disponível em: http://pnqa.ana.gov.br/rede/rede_avaliacao.aspx. Acesso em: 13 jan. 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Resolução nº 25, de 23 de janeiro de 2012**. Estabelece diretrizes para análise dos aspectos de qualidade da água dos pedidos de Declaração de Reserva de Disponibilidade Hídrica e de outorga de direito de uso de recursos hídricos em reservatórios de domínio da União.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Atlas de energia elétrica do Brasil - ANEEL**. Brasília: ANEEL, 2002. 153 p.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução nº 412, de 5 outubro de 2010**. Estabelece procedimentos para registro, elaboração, aceite, análise, seleção e aprovação de projeto básico e para autorização de aproveitamento de potencial de energia hidráulica de 1.000 até 50.000 kW, sem características de PCH.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução nº 673, DE 4 de agosto de 2015**. Estabelece os requisitos e procedimentos para a obtenção de outorga de autorização para exploração de aproveitamento de potencial hidráulico com características de Pequena Central Hidrelétrica – PCH.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução nº 765, DE 24 de abril de 2017**. Estabelece os requisitos e procedimentos para a obtenção de outorga de autorização para exploração de aproveitamento de potencial hidráulico de 5.000 até 50.000 kW, sem características de Pequenas Centrais Hidrelétricas - PCH.

BARBOSA FAR (org.). 1994. **Workshop: Brazilian Programme on Conservation and Management of Inland Waters**. Acta Limnologica Brasiliensia v 5. Belo Horizonte: Fundação Biodiversitas/ Sociedade Brasileira de Limnologia.

BOTTINO, F. 2011. *Diversidade, Biomassa e Decomposição de Macrófitas Aquáticas no Reservatório Itupararanga*. São Carlos: Universidade de São Paulo. 136 p.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. **Lex: Política Nacional de Recursos Hídricos, 1997**.

BRASIL. Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000. **Lex: Dispõe sobre a criação da Agência Nacional de Águas - ANA, 2000**.

BRASIL. Portaria do Ministério da Saúde nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011. **Lex: Ministro de Estado da Saúde, no uso das atribuições que lhe conferem os incisos I e II do parágrafo único do art. 87 da Constituição Federativa do Brasil. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade**.

CENTRO DE BIOENGENHARIA DE ESPÉCIES INVASORAS DE HIDRELÉTRICAS (CBEIH). Disponível em: <http://www.cbeih.org/>. Acesso em: 13 jan. 2018.

COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS. Sistema Cemig de monitoramento e controle de qualidade da água de reservatório – **Siságua – Manual de procedimentos de coleta e metodologia de análise de água**. Belo Horizonte: Cemig, 2009. 85p. Ilust.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 274, de 29 de novembro de 2000**. Define os critérios de balneabilidade em águas brasileiras.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 274, de 29 de novembro de 2000**. Define os critérios de balneabilidade em águas brasileiras.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 357, de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.

ESTEVES, FA. and BARBIERI, R. 2011. Dry weight and chemical changes during decomposition of tropical macrophytes in Lobo Reservoir - São Paulo, Brazil. *Aquatic Botany*, vol. 16, no. 3, p. 285-295.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS. **Manual técnico e administrativo de outorga de direito de uso de recursos hídricos no estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte, 2010.

JUNK. W.J. 1980. Áreas inundáveis: Um desafio para Limnologia. *Acta Amazonica*. 10(4): 775-795.

KARATAYEV, A. Y.; BURLAKOVA, L. E.; PADILLA, D. K. 1997. The effects of *Dreissena polymorpha* (Pallas) invasion on aquatic communities in Eastern Europe. **Journal of Shellfish Research**, 16: 187-203.

MANSUR, M. C. D.; DOS SANTOS, C. P.; PEREIRA, D.; PAZ, I. C. P.; ZURITA, M. L. L.; RODRIGUEZ, M. T. R.; NEHRKE, M. V.; BERGONCI, P. E. A. **Moluscos límnicos invasores no Brasil: biologia, prevenção e controle**. Porto Alegre: Redes Editora, 2012. 412 p.

METCALFE JL. 1989. **Biological water quality assessment of running waters based on macroinvertebrates communities: history and present status in Europe**. *Environmental Pollution*, 60:101- 139.

MINAS GERAIS. **Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 1, de 5 de maio de 2008**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.

MINAS GERAIS. **Deliberação Normativa COPAM nº 89, de 15 de setembro de 2005**. Estabelece normas para laboratórios que executam medições para procedimentos exigidos pelos órgãos ambientais do Estado de Minas Gerais e dá outras providências.

MINAS GERAIS. Lei nº 13.199, de 29 de janeiro de 1999. **Lex:** Política Estadual de Recursos Hídricos, 1999.

MOURA, M.A.M., D.A.S. FRANCO, M.B. MATALLO, 2009. Manejo Integrado de Macrófitas Aquáticas Biológico, São Paulo, v.71, n.1, p.77-82, jan./jun., 2009

ROSENBERG DM AND RESH VH. 1993. **Freshwater Biomonitoring and Benthic Macroinvertebrates**. New York: Chapman & Hall.

THOMANN, R.V.; MUELLER, J. A. *Principles of surface water quality modeling and control*. 1.ed. New York: Prentice Hall, 1997. 656p.

THOMAZ, S. M.; ROBERTO, M. C. & BINI, L. M. Caracterização limnológica dos ambientes aquáticos e influência dos níveis fluviométricos. In: VAZZOLER, A. E. A. M.; AGOSTINHO, A. A. & HAHN, N. S. **A planície de inundação do alto rio Paraná: aspectos físicos, químicos, biológicos e sócioeconômicos**. Maringá, EDUEM, 1997. p.73-102.

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T.; CALIJURI, M. C. Limnology and management of reservoir in Brazil. In: STRASKRABA, M.; TUNDISI, J. G.; DUNCAN, A. (Eds.). **Comparative reservoir limnology and water quality management**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1993. p. 25-55.

