

# UHE SANTO ANTÔNIO NO RIO MADEIRA

## PLANO DE TRABALHO para Monitoramento Limnológico e de Macrófitas Aquáticas

MARÇO 2013



## ÍNDICE

Apresentação .....	1/50
1 - Introdução .....	2/50
1.1 - Aproveitamentos hidrelétricos .....	3/50
1.2 - Caracterização .....	4/50
1.2.1 - Bacia .....	4/50
1.2.2 - Climatologia .....	7/50
1.2.3 - Pluviometria .....	8/50
2 - Histórico de estudos na UHE Santo Antônio .....	9/50
3 - Objetivos .....	10/50
4 - Metas .....	12/50
5 - Metodologia .....	13/50
5.1 - Frequência e malha amostral .....	13/50
5.2 - Variáveis limnológicas da coluna d'água .....	17/50
5.2.1 - Monitoramento de praias e pontos de captação de água .....	20/50
5.3 - Variáveis limnológicas do sedimento .....	20/50
5.4 - Comunidades aquáticas .....	21/50
5.4.1 - Fitoplâncton .....	21/50
5.4.1.1 - Densidade fitoplanctônica (ind.mL <sup>-1</sup> ) .....	22/50
5.4.1.2 - Biomassa fitoplanctônica (mm <sup>3</sup> .L <sup>-1</sup> ) .....	23/50
5.4.1.3 - Análise de cianotoxinas .....	23/50
5.4.1.4 - Medidas de controle .....	23/50

5.4.1.5 -	Florações de cianobactérias nos braços do reservatório.....	25/50
5.4.2 -	Zooplâncton .....	26/50
5.4.2.1 -	Biomassa zooplanctônica .....	27/50
5.4.3 -	Invertebrados bentônicos .....	28/50
5.4.4 -	Macrófitas aquáticas .....	29/50
5.4.4.1 -	Imagens de satélite dos estandes de macrófitas.....	30/50
5.4.4.2 -	Medidas de controle .....	31/50
5.4.4.3 -	Descarte da vegetação removida.....	35/50
5.5 -	Coleta, armazenamento e preservação das amostras .....	35/50
5.6 -	Análises dos dados .....	37/50
5.6.1 -	Análises biológicas .....	38/50
5.6.1.1 -	Riqueza de espécies .....	38/50
5.6.1.2 -	Densidade de organismos .....	38/50
5.6.1.3 -	Índice de diversidade específica e equidade .....	39/50
5.6.1.4 -	Diversidade alfa, beta e gama .....	39/50
5.7 -	Análise estatística .....	40/50
5.8 -	Monitoramento em tempo real .....	41/50
5.8.1 -	Balsa-laboratório .....	42/50
5.8.2 -	Relatórios.....	42/50
6 -	Cronograma .....	43/50
7 -	Base legal.....	44/50
8 -	Equipe técnica .....	44/50
9 -	Referências bibliográficas .....	48/50

## ANEXOS

- Anexo 1 - Mapa de localização das áreas de monitoramento de limnologia e qualidade da água na área de influência da UHE Santo Antônio



## APRESENTAÇÃO

Este Plano de Trabalho se propõe a realizar o monitoramento limnológico e de macrófitas aquáticas, durante a fase de operação da UHE Santo Antônio. Os resultados obtidos pelo monitoramento possibilitarão mensurar as alterações limnológicas decorrentes da construção da hidrelétrica e subsidiar a adoção de medidas de controle, caso sejam identificados problemas de qualidade de água ou proliferação excessiva de macrófitas.

O Plano de Trabalho 3, de março de 2011, se propôs a realizar o monitoramento limnológico e de macrófitas aquáticas, durante as fases de enchimento e operação da UHE Santo Antônio. O Plano de Trabalho 4 (Outubro de 2011) promoveu ajustes no escopo do anterior, para o monitoramento das respectivas fases. O PTR 4.1, de outubro de 2012, se propôs a realizar o monitoramento limnológico e de macrófitas aquáticas, durante a fase de operação da UHE Santo Antônio. Este Plano considera a execução dos Programas de Monitoramento Limnológico e de Macrófitas Aquáticas, parte do Projeto Básico Ambiental do empreendimento UHE Santo Antônio e as modificações decorrentes da Informação Técnica nº 47/2008 - COHID/CGENE/DILIC/IBAMA; da condicionante 2.11 da LI nº 540/2008; da Ata de Reunião realizada no IBAMA, em 04/12/2008; do Ofício nº 19/2009 - CGENE/DILIC/IBAMA; do Ofício nº 342/2009 - COHID/CGENE/DILIC/IBAMA; da Ata de Reunião realizada no IBAMA, em 23/07/2010; do Ofício nº 097/2010 - COHID/CGENE/DILIC/IBAMA; do Parecer 26/2011 - COHID/CGENE/DILIC/IBAMA; da Ata do Seminário de Limnologia SAE/ESBR/IBAMA, em 09/06/2011 e 10/06/2011; do Ofício nº 62/2011 - COHID/CGENE/DILIC/IBAMA; do Ofício nº 825/2011 - COHID/DILIC/IBAMA e Parecer nº 78/2011 - COHID/CGENE/DILIC/IBAMA; dos Pareceres Técnicos nº 19/2012 e nº 282/2013, destinados à análise dos resultados limnológicos do período de Operação.

A área de abrangência do programa compreende um trecho de 300 km ao longo do rio Madeira e tributários, da cachoeira de Jirau até a jusante da cachoeira de Santo Antônio, incluindo o lago Cuniã na margem esquerda do rio Madeira.

## 1 - INTRODUÇÃO

A implantação de empreendimentos hidrelétricos depende da construção de barragens e da criação de reservatórios artificiais, necessários para manter um volume de água suficiente para gerar energia de forma contínua, atenuando os efeitos de variações naturais no nível d'água.

Uma das principais consequências desse processo é a transformação que ocorre na paisagem com a formação do reservatório, que causa a perda de algumas áreas (devido ao alagamento) e a criação de novos ecossistemas com uma possível presença de espécies oportunistas. Este processo pode acarretar impactos sociais e ambientais, que são mitigados durante as diferentes etapas de implantação do empreendimento.

Dentre os impactos ambientais previstos devido à instalação de empreendimentos hidrelétricos, um dos mais enfocados é a perda potencial de biodiversidade, devido ao alagamento de áreas naturais, uma possível introdução de novas espécies oportunistas e a consequente modificação nas características dos habitats resultantes.

Após a conclusão do Estudo de Impacto Ambiental (EIA), que contemplou o estudo do ecossistema que será modificado, seguiu-se a elaboração e realização de programas ambientais e planos de monitoramento propostos na Avaliação de Impacto Ambiental (AIA), com o intuito de minimizar os possíveis impactos ambientais.

Neste contexto, o Monitoramento da Limnologia e Qualidade da Água é usual e muito importante em empreendimentos de geração de energia elétrica, como no caso das usinas hidrelétricas, pois permite a identificação das características limnológicas do corpo d'água em situações naturais, isto é, sem a instalação do empreendimento. Com isso, torna-se possível a identificação de eventuais alterações na qualidade do corpo hídrico cujas águas serão utilizadas no processo de geração, dando subsídios para a elaboração e quantificação das medidas corretivas que forem necessárias para minimizar os impactos potenciais sobre o ecossistema aquático local.

A realização do Monitoramento da Limnologia e Qualidade da Água é considerada fundamental para empreendimentos em ecossistemas aquáticos, pois através da execução dos programas ambientais inseridos no EIA torna-se possível a identificação das espécies que habitam a região e as áreas de influência antes da implantação do futuro empreendimento. Também é possível identificar as espécies ameaçadas de extinção (incluindo as arroladas na Lista Nacional das

Espécies de Invertebrados Aquáticos Ameaçadas de Extinção - MMA, 2004), espécies raras, bioindicadoras de qualidade ambiental, exóticas, endêmicas, nativas, novas para a ciência, e seus respectivos habitats.

## 1.1 - APROVEITAMENTOS HIDRELÉTRICOS

Na atualidade, o potencial de praticamente todos os rios de grande porte das regiões Sul e Sudeste do país já está estudado, e os melhores aproveitamentos hidrelétricos já estão sendo explorados. As melhores alternativas hidroenergéticas disponíveis encontram-se na região Amazônica, onde se concentram 51% de todo o potencial hidrelétrico brasileiro e onde, até 2000, apenas 5% do potencial hidrelétrico regional se encontrava em exploração.

Sob o aspecto energético, o rio Madeira é extremamente atrativo devido às significativas variações de nível d'água entre os períodos seco e úmido, associadas a uma das melhores curvas de permanência de vazões da Amazônia. Esse regime hidrológico particular do Madeira viabiliza soluções de engenharia, com reservatórios reduzidos que, associados ao baixo tempo de residência hidráulica, contribuem para a redução de alguns efeitos ambientais, constituindo-se em fator positivo determinante no aspecto ambiental.

Hoje, a região estudada é servida por sistemas isolados, com sua matriz energética fortemente calcada na energia térmica à base de óleo diesel, cuja efetiva integração ao sistema elétrico interligado brasileiro só poderá ser viabilizada a partir de empreendimentos de grande capacidade de geração, o que, além de aumentar a confiabilidade do fornecimento, possibilitará a redução da dependência dos combustíveis fósseis e os intercâmbios sazonais de energia.

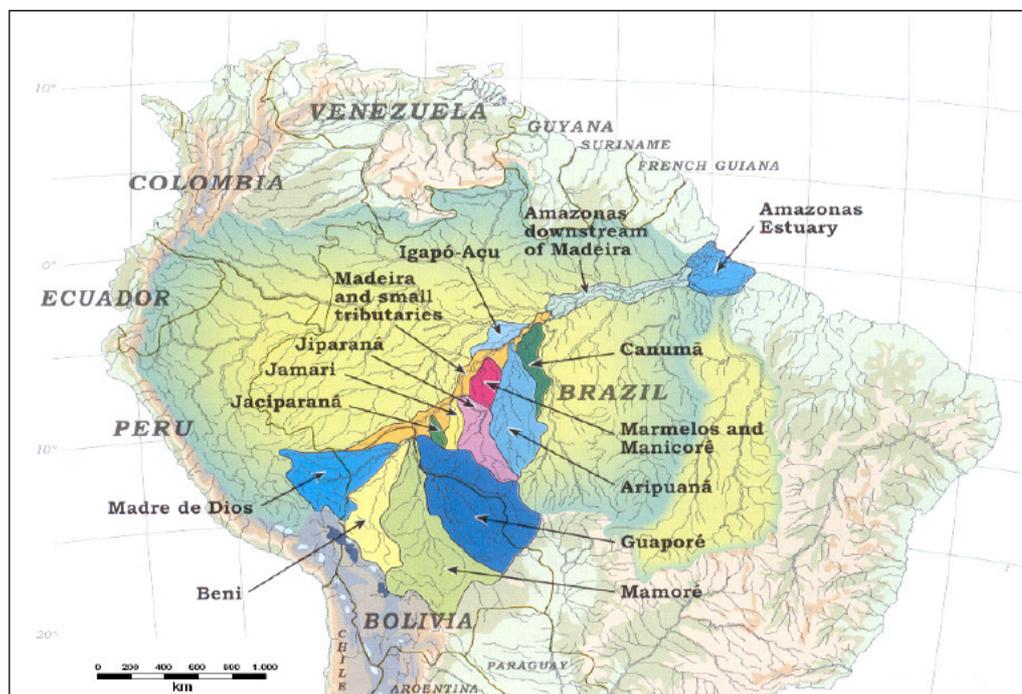
Além do potencial para geração elétrica, o rio Madeira possui, historicamente, uma vocação natural para a navegação que remonta a um passado histórico, ampliado desde as primeiras bandeiras portuguesas que se aventuraram pela região e que representa hoje uma importante via de integração regional, no transporte de pessoas e cargas.

Dessa forma, deve-se considerar, ainda, que às potencialidades hidrelétricas das UHE de Jirau (3.300 MW) e Santo Antônio (3.150 MW) poderão agregar-se outros aproveitamentos hidrelétricos e todo um sistema hidroviário conjugado, que permitirá a integração sul-americana, em função da proximidade com a Bolívia e com o Peru, abrindo espaços para projetos de infraestrutura energética e de transportes entre os três países, impulsionando o desenvolvimento regional.

## 1.2 - CARACTERIZAÇÃO

### 1.2.1 - Bacia

A bacia hidrográfica do rio Madeira tem uma área total de aproximadamente 1,47 milhões de km<sup>2</sup>, representando cerca de 23% da Bacia Amazônica, sendo aproximadamente o dobro do tamanho de qualquer outra bacia tributária. É geologicamente e geograficamente complexa devido ao seu enorme tamanho e pelo fato de que suas cabeceiras têm origem nos flancos altamente erosíveis dos Andes, no Escudo Brasileiro desnudado e antigo, e nas terras baixas do Terciário cobertas por florestas, ou seja, nos três principais tipos de áreas de drenagem da Bacia Amazônica (Figura 1-1). A água flui através de zonas de relevo, litologia, clima e vegetação variados, que determinam características hidrológicas e hidroquímicas diversificadas. Contudo, é a área de drenagem dos Andes que determina mais fortemente a hidroquímica do rio Madeira (Quadro 1-1).



(modificado de Goulding et al., 2003)

Figura 1-1 - Mapa esquemático das principais bacias tributárias do Rio Madeira.

Quadro 1-1 – Áreas de drenagem da Bacia do rio Madeira.

Local	Área da Bacia (km <sup>2</sup> )
Rio Mamoré em Guajará-Mirim	589.497
Rio Madeira na foz do rio Beni	898.294
Rio Madeira na foz do rio Abunã	932.622
Rio Madeira em Jirau	972.710
Rio Madeira em Santo Antônio	988.873
Rio Madeira em Porto Velho	988.997
Rio Madeira na foz	1.420.000

Fonte: (EIA-Tomo B 1/8, p. 45,46).

Em território rondoniense, os principais afluentes do rio Madeira pela margem direita são os rios Ribeirão, Castanho, Mutum-Paraná, Jaci-Paraná, São Francisco, Caracol, Candeias, Jamari e Jiparaná, além dos igarapés das Araras, Mururé e Cirilo. Dentre os afluentes pela margem esquerda destacam-se o rio Abunã, Jatuarana e Mucuí e Cuniã. Os outros são curtos e pouco significativos (rios Ferreiros, São Lourenço e Aponiã, bem como os igarapés São Simão e Maparaná).

O regime hidrológico do rio Madeira, fortemente influenciado pelo clima da região andina do leste da Bolívia, é caracterizado por um período de águas baixas, de julho a outubro, e um período de águas altas, de fevereiro a maio. A variação anual do nível da água é de aproximadamente 15,4-21,8 metros (Goulding *et al.*, 2003). De acordo com o EIA do AHE Santo Antonio e do AHE Jirau (Leme, 2005), o rio Madeira pode ser considerado um rio novo, em busca de seu leito definitivo, sendo comum a alteração do canal de navegação a cada ciclo hidrológico. O Madeira é um rio extremamente barrento durante a maior parte do ano, com carga de sedimentos transportados estimados entre 500 e 600 milhões de toneladas/ano na foz (Martinelli *et al.*, 1989), contribuindo com mais de 50% da carga de sedimentos transportada pelo rio Amazonas.

A concentração de sedimentos em suspensão, cuja média é de 750 mg/L, varia de 120 mg/L em águas baixas até 3.500 mg/L em águas altas. No local da UHE Santo Antônio, a descarga sólida total média anual é igual a 1.621.024 t/dia e no local da UHE Jirau, a descarga sólida total média anual é de 1.594.529 t/dia (EIA-Tomo E 1/3 p. 7; Leme, 2005).

Em Porto Velho, a vazão média no período histórico (1967 a 2001) é cerca de 19.000 m<sup>3</sup>/s, enquanto a vazão máxima diária registrada atingiu 48.570 m<sup>3</sup>/s em 14 de abril de 1984. A vazão mínima registrada ocorreu em setembro de 1995 atingindo cerca de 3.145 m<sup>3</sup>/s (EIA-Tomo B 1/8, p. III-52; Leme, 2005).

Aproximadamente 70% da área da bacia do Rio Madeira se encontra a montante da cidade de Porto Velho.

Pelas suas características físicas, pode-se dividir o curso total do sistema hidrográfico do Madeira em três trechos distintos:

- Alto Madeira, constituído praticamente pelos formadores;
- Trecho das cachoeiras, entre Guajará Mirim e a cachoeira de Santo Antônio;
- Baixo Madeira.

Denomina-se Alto Madeira a grande ramificação dos seus formadores, sendo difícil determinar qual destes pode ser considerado como o tronco principal do rio Madeira. O maior em comprimento é o rio Mamoré, porém o mais caudaloso é o rio Beni. Todos eles nascem em altitudes elevadas e correm inicialmente com acentuada declividade em leitos encachoeirados. Descendo aos terrenos planos, tornam-se tortuosos, com aumentos locais de declividade decorrentes da presença de pequenas corredeiras, bancos de areia e ilhas de aluvião que diminuem as suas seções transversais.

O trecho das cachoeiras no rio Madeira inicia-se logo a jusante da cidade de Guajará-Mirim e termina a montante de Porto Velho, no antigo local onde situava-se a cachoeira de Santo Antônio, onde foi construída a barragem da UHE Santo Antônio. O comprimento deste trecho, incluindo um trecho de 20 km ainda no rio Mamoré, é da ordem de 360 km, com um desnível total de 70 m, ao longo do qual apresenta 18 cachoeiras ou corredeiras.

A bacia no trecho a jusante da foz do rio Abunã não recebe contribuições significativas pela margem esquerda, onde se resume a uma faixa com uma largura média inferior a 100 km. Pela margem direita, a contribuição afluyente ao trecho não é também muito significativa, pois o único rio de grande porte que nele deságua é o Jaci-Paraná, que drena uma área da ordem de 15.000 km<sup>2</sup>, ou seja, insignificante quando comparada à bacia do rio Madeira na foz do rio Jaci-Paraná.

O Baixo Madeira inicia-se na cachoeira de Santo Antônio e estende-se até sua foz, no rio Amazonas. A extensão desse trecho é da ordem de 1.100 km, com um desnível total aproximado de 19 m. Sua foz, no Amazonas, é constituída por dois canais, desaguardo o primeiro a cerca de 50 km a montante da cidade de Itacoatiara, e o segundo, que se liga ao rio Maués, desaguardo a montante de Parintins (EIA-Tomo B 1/8, pgs. III-45,46).

## 1.2.2 - Climatologia

Predomina na região o clima tropical chuvoso (Aw de acordo com a classificação de Köppen) com média de temperatura do ar superior a 18°C durante o mês mais frio, e um período seco bem definido durante a estação de inverno. O clima caracteriza-se por apresentar uma homogeneidade espacial e sazonal da temperatura média do ar, e uma variabilidade temporal em relação à precipitação pluviométrica (Marcelo José Gama da Silva, <http://www.sedam.ro.gov.br/web/guest/Meteorologia/Climatologia>).

Ocasionalmente nos meses de junho, julho e/ou agosto pode-se observar o fenômeno denominado de "friagem", que ocorre sob a influência de anticiclones formados em altas latitudes e atravessam a Cordilheira dos Andes em direção ao sul do Chile. Alguns destes anticiclones são excepcionalmente intensos, condicionando a formação de aglomerados convectivos que intensificam a formação dos sistemas frontais na região Sul do País. Durante estes meses as temperaturas mínimas do ar podem atingir valores inferiores a 10 °C. A média anual da temperatura do ar gira em torno de 24 °C e 26 °C, com temperatura máxima entre 30 °C e 34 °C, e mínima entre 17 °C e 23 °C. A região, portanto, apresenta pequena amplitude térmica anual e notável amplitude térmica diurna, especialmente no inverno.

A média anual da umidade relativa do ar varia de 80% a 90% no verão, e em torno de 75%, no outono - inverno. A evapotranspiração potencial (ETP) é alta durante todo o ano, apresentando valores superiores a 100 mm/mês. O total anual da ETP só atinge valores superiores aos da precipitação mensal nos meses de maio, junho, julho e agosto.

Os principais fenômenos atmosféricos que atuam na região são: as Altas Convecções diurnas (água evaporada no local e a evapotranspiração resultante do aquecimento das superfícies das águas, florestas e vegetação), associadas aos fenômenos atmosféricos de larga escala: a Alta da Bolívia - AB (anticiclone que se forma nos altos níveis da atmosfera - 200 hPa - durante os meses de verão e situa-se sobre o altiplano boliviano), a Zona de Convergência Intertropical - ZCIT e as Linhas de Instabilidade - LIs (conglomerados de nuvens cumulonimbus que se forma na costa norte - nordeste do oceano Atlântico, devido a circulação da brisa marítima).

### 1.2.3 - Pluviometria

A precipitação média anual varia entre 1.400 a 2500 mm (Figura 1-2) e mais de 90% desta ocorre na estação chuvosa. Para os meses de junho, julho e agosto a média da precipitação é inferior a 20 mm/mês (Marcelo José Gama Da Silva, <http://www.sedam.ro.gov.br/web/guest/Meteorologia/Climatologia>).

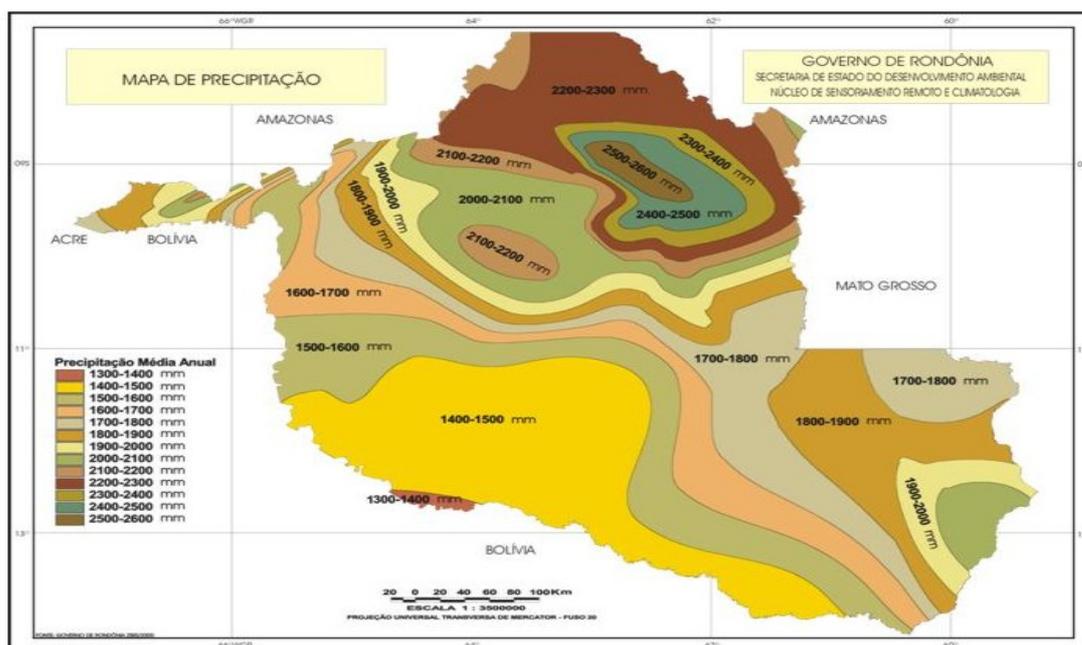


Figura 1-2 - Pluviometria do Estado de Rondônia

Nos meses de inverno a brisa pluvial da Bacia Amazônica (circulação local que ocorre nos baixos níveis da atmosfera) e os aglomerados convectivos de meso e grande escala, associado com a penetração de sistemas frontais, advindo da região Sul e Sudeste do Brasil, são os principais mecanismos responsáveis pelas chuvas de baixa intensidade, enquanto que, nos meses de verão ocorre o período mais chuvoso, onde se observa uma grande atividade convectiva causada por uma maior incidência de radiação solar, durante o ano. O período chuvoso ocorre entre os meses de outubro a abril, e o período mais seco em junho, julho e agosto. Maio e setembro são meses de transição.

## 2 - HISTÓRICO DE ESTUDOS NA UHE SANTO ANTÔNIO

O Estudo de Impacto Ambiental (EIA) da UHE Santo Antônio, intitulado “Aproveitamentos Hidrelétricos Santo Antônio e Jirau”, foi elaborado por FURNAS Centrais Elétricas S.A., Construtora Norberto Odebrecht S.A. e Leme Engenharia Ltda, no ano de 2006. Na condicionante da Licença de Instalação (LI N° 540/2008) ficou definida a realização de coletas trimestrais referentes ao Programa de Monitoramento Limnológico, nas estações situadas na área de influência do empreendimento. As coletas da fase de pré-enchimento foram iniciadas em 2009 e duraram até agosto de 2011. Durante o enchimento, iniciado em setembro de 2011, houve intensificação da frequência amostral, que passou a ser mensal, tendo havido coletas entre outubro de 2011 e janeiro de 2012, quando foi iniciada a fase de estabilização. Na fase de estabilização a frequência amostral permaneceu mensal, abrangendo coletas entre fevereiro e junho de 2012. Após junho de 2012, foram iniciadas as coletas da fase de operação da UHE Santo Antônio. Dentre as principais conclusões obtidas pelo Programa de Monitoramento Limnológico e de Macrófitas Aquáticas da UHE Santo Antônio no Rio Madeira referentes à implementação do empreendimento destacam-se:

- Houve manutenção da uniformidade térmica das estações do rio Madeira a montante do barramento após a formação do reservatório, exceto na estação MON.01, imediatamente a montante da barragem, onde houve ocasionalmente a ocorrência de estratificação térmica. No entanto, os perfis indicaram a manutenção de camadas bem oxigenadas em toda a coluna d'água. Nas estações TEO, TEO.01, JAT I, JAT I.01 e CEA.01 os perfis térmicos indicaram estratificação ao longo da maior parte do tempo, uma vez que estas estações adquiraram características lânticas após o barramento, favorecendo o fenômeno de estratificação térmica.
- Não houve deplecionamento de oxigênio nas estações situadas no rio Madeira, com valores permanecendo geralmente acima de 4,5 mg/L. Por outro lado, houve decréscimo nas concentrações de oxigênio em direção ao fundo das estações de alguns tributários (CAR, JAC.01, CRC, TEO.01, JAT I, JAT I.01 e CEA.01), uma vez que o estabelecimento de condições lânticas nesses ambientes favoreceu a estratificação química.
- Os valores de demanda bioquímica de oxigênio (DBO) permaneceram, em geral, abaixo de 5 mg/L, mesmo após a formação do reservatório.

- As concentrações de nitrato, nitrito e nitrogênio amoniacal atenderam ao especificado na Resolução CONAMA 357/2005 (Classe 2) em todos os ambientes amostrados, embora tenha havido aumento nas concentrações de nitrato após o enchimento.
- Após a fase de estabilização, foi possível observar a mesma tendência de ordenação dos dados da comunidade fitoplanctônica nos diferentes ambientes amostrados, se comparada à fase de pré-enchimento. Com o agrupamento separado dos diferentes meses amostrados no rio Madeira e lagos e canais, o que não foi observado para os tributários.
- Embora não tenha sido registrada uma redução no número de espécies, o aumento das densidades das espécies *Salvinia minima* e *Pistia stratiotes* e da biomassa das espécies *Pontederia sp* e *Eichhornia crassipes* pode ser um alerta para a possibilidade de crescimento excessivo de algumas populações de macrófitas. Essa alteração foi prevista como impacto da construção da usina, uma vez que o nível d'água é um dos fatores que mais influenciam na dinâmica da comunidade de macrófitas aquáticas. Este monitoramento está sendo realizado de modo a subsidiar intervenções ainda na fase inicial da proliferação.
- Considerando as variáveis analisadas durante as coletas realizadas durante o período de estabilização, o espectro de variação encontrado durante essa fase do empreendimento foi semelhante ao registrado na fase de pré-enchimento. As alterações na composição química do sedimento e nos parâmetros das comunidades bentônicas foram de caráter transitório. De forma geral, os sistemas são principalmente determinados pelas variações naturais do pulso hidrológico e clima, sem uma evidência clara dos efeitos do enchimento do reservatório durante o período de estabilização.

### 3 - OBJETIVOS

Os Programas de Monitoramento Limnológico e de Macrófitas Aquáticas têm como objetivo geral mensurar as condições de enchimento, estabilização e operação do reservatório, e prognosticar as modificações na dinâmica limnológica, incluindo a comunidade de macrófitas, advindas das transformações do ambiente, decorrentes da instalação do empreendimento, e subsidiar a adoção de medidas de controle, caso sejam identificados problemas de qualidade de água ou proliferação excessiva de macrófitas.

Os objetivos específicos do Programa de Monitoramento Limnológico e de Macrófitas Aquáticas da fase de operação da UHE Santo Antônio são:

- Identificar as alterações limnológicas e caracterizar a comunidade de macrófitas aquáticas no rio Madeira, seus principais tributários e no lago Cuniã, na área de influência do empreendimento;
- Avaliar a ocorrência de gradientes espaciais e temporais das variáveis limnológicas e da comunidade de macrófitas aquáticas, ao longo do rio Madeira, seus principais tributários e lago Cuniã, na área de influência do empreendimento, relacionando-os aos ciclos sazonais causados pelos pulsos de inundação;
- Determinar o perfil vertical de variáveis limnológicas, na área de influência do empreendimento;
- Avaliar em tempo real as alterações da qualidade da água, a montante e a jusante do local estabelecido para a construção do eixo da barragem;
- Averiguar a compatibilidade da condição de qualidade da água para os usos previstos no enquadramento do corpo hídrico, na área de influência do empreendimento;
- Avaliar a qualidade da água bruta nos pontos de captação para abastecimento público;
- Classificar a qualidade da água na área de influência do empreendimento;
- Fornecer informações precisas para subsidiar a gestão da qualidade da água do reservatório e adoção de medidas mitigadoras quando necessário;
- Identificar as regiões com maior probabilidade de ocorrência de proliferação de macrófitas, na área de influência do empreendimento;
- Propor ações de controle do crescimento excessivo das espécies de macrófitas aquáticas indesejáveis na área de influência do empreendimento;
- Promover interface com os Programas de Monitoramento Hidrobiogeoquímico, Monitoramento e Controle de Macrófitas Aquáticas, Monitoramento e Conservação da Ictiofauna, Saúde Pública, Comunicação Social e Educação Ambiental.

## 4 - METAS

Para atingir os objetivos serão seguidas as seguintes metas:

- Realizar análises trimestrais de 58 variáveis abióticas e 7 variáveis bióticas, incluindo as comunidades fitoplanctônica e zooplanctônica, na coluna d'água; e 21 variáveis na comunidade de macrófitas de 8 estações no rio Madeira, 10 em tributários e 1 no lago Cuniã;
- Realizar análises trimestrais de 25 variáveis abióticas e 1 biótica (invertebrados bentônicos) no sedimento, em 10 estações amostrais, sendo 4 no rio Madeira e 6 em tributários;
- Realizar análises semestrais das variáveis indicadas pela Resolução CONAMA nº 357/2005 e mensais para contagem de cianobactérias, nos pontos de captação de água para abastecimento público da CAERD (Companhia de Águas e Esgotos do Estado de Rondônia), localizados no igarapé Bate-Estacas e no rio Madeira;
- Realizar análises trimestrais de coliformes totais e termotolerantes (*E. coli*) na Praia de Jaci-Paraná e na Praia de Teotônio, situadas no rio Jaci-Paraná e no rio Madeira, respectivamente;
- Realizar levantamento da cobertura, composição, biomassa, dominância, riqueza e estrutura da comunidade de macrófitas aquáticas, em todas as estações de amostragem do rio Madeira, tributários e lago Cuniã, buscando identificar padrões espaço-temporais;
- Realizar análises numéricas e qualitativas dos resultados limnológicos obtidos para caracterização das variações temporais e espaciais;
- Relacionar resultados limnológicos obtidos às alterações sazonais características dos períodos de enchente, águas altas, vazante e águas baixas, na área de influência do empreendimento, durante a fase de operação do reservatório;
- Realizar monitoramento em tempo real da temperatura da água, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido, potencial hidrogeniônico (pH) e turbidez em local em duas estações, sendo uma a montante e outra a jusante da barragem;

- Comparar os resultados limnológicos obtidos aos padrões de qualidade de água estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para águas doce de classe 2;
- Calcular o IQA (índice de qualidade da água) e o IET (índice do estado trófico) a partir dos resultados obtidos, em todas as campanhas de campo;
- Mensurar possíveis modificações na dinâmica limnológica advindas das transformações do ambiente, decorrentes da descarga sólida do vertedouro da UHE Santo Antônio, e subsidiar a adoção de medidas de controle, caso sejam identificados problemas de qualidade de água;
- Elaborar e indicar a necessidade de ações de controle de macrófitas aquáticas, quando forem identificados problemas de proliferação excessiva na área de influência do empreendimento;
- Fornecer informações sobre aspectos limnológicos e comunidade de macrófitas aquáticas para os Programas de Monitoramento Hidrobiogeoquímico, Monitoramento e Conservação da Ictiofauna, Saúde Pública, Comunicação Social e Educação Ambiental.

## 5 - METODOLOGIA

### 5.1 - FREQUÊNCIA E MALHA AMOSTRAL

As amostragens caracterizarão os períodos de águas altas, vazante, águas baixas e enchente, totalizando 4 amostragens anuais.

Foram estabelecidas 19 estações de coleta, sendo 8 estações distribuídas ao longo do rio Madeira, 10 nos tributários e 1 no lago Cuniã (Quadro 5-1).

Adicionalmente, serão avaliadas as densidades de cianobactérias nos pontos de captação de água para abastecimento público e, semestralmente, serão analisadas todas as variáveis indicadas pela Resolução CONAMA 357/2005 nessas estações. Será feito, também, o monitoramento dos coliformes totais e termotolerantes (*E. coli*) nas praias de Jaci-Paraná e Teotônio. A descrição das estações dos pontos de captação e das praias é apresentada no Quadro 5-2.

Quadro 5-1 - Descrição das estações de coleta, com os códigos de identificação e as coordenadas geográficas. As estações estão ordenadas de montante a jusante.

Estações	Descrição	Coordenadas Geográficas	
		Datum SAD 69	
MON.05	Rio Madeira, cerca de 20 km a jusante da cachoeira Jirau	321899.17	8981428.58
CAR	Rio Caripuna, cerca de 1 km a montante de sua foz	321606.33	8983199.06
MON.04	Rio Madeira, cerca de 10 km a montante da foz do rio Jaci-Paraná	337644.21	8985604.16
JAC.01	Rio Jaci-Paraná, cerca de 4 km a montante de sua foz	347854.51	8979745.40
JAC.02	Rio Jaci-Paraná, cerca de 15 km a montante de sua foz	346436.81	8972899.74
CRC	Rio Caracol, cerca de 1 km a montante de sua foz	348959.07	8983085.52
MON.03	Rio Madeira, 24 km a jusante da desembocadura do rio Jaci-Paraná	359428.14	9001851.72
CEA.01	Igarapé Ceará, a 4 km de sua foz.	353334.00	8995132.00
MON.02	Rio Madeira, cerca de 10 km a montante da Cachoeira de Santo Antônio	380990.09	9013074.41
JAT I.01	Igarapé Jatuarana I, a montante da estação JAT I	385789.41	9031461.30
TEO.01	Igarapé Teotônio, a montante da estação TEO	385124.41	9019646.30
MON.01	Rio Madeira, cerca de 8,5 km a montante da Cachoeira de Santo Antônio	390573.73	9022457.14
JUS.01	Rio Madeira, cerca de 3 km a jusante da Cachoeira de Santo Antônio	397542.39	9028433.71
JAT II	Igarapé Jatuarana II, cerca de 500 m a montante de sua foz	398887.20	9044080.57
BEL	Igarapé Belmont, cerca de 200 m a montante de sua foz	404580.13	9045164.89
JUS.02	Rio Madeira, cerca de 25 km a jusante da Cachoeira de Santo Antônio	406449.74	9044504.15
JAM	Rio Jamari, 10 km a montante de sua desembocadura no rio Madeira	411313.27	9049368.89
JUS.03	Rio Madeira, cerca de 20 km a jusante da desembocadura do rio Jamari	456786.59	9081491.73
LC.01	Lago do Cuniã, cerca de 2,5 km a montante de CC.02	444637.18	9080041.07

Quadro 5-2 - Descrição dos pontos de captação de água e das praias, com os códigos de identificação e as coordenadas geográficas.

Estações	Descrição	Coordenadas Geográficas	
		Datum SAD 69	
PJAC	Praia de Jaci	345529.69	8975747.60
PTEO	Praia do Teotônio	384383.00	9019532.00
PCM*	Rio Madeira, no ponto de captação da CAERD	327124.26	8966278.02
PCT*	Igarapé Bate Estacas, no ponto de captação da CAERD	333295.64	8971589.24

\* monitoramento mensal de cianobactérias.

## Rio Madeira

Estação Montante 05 (MON.05) - localizada no rio Madeira, a jusante da cachoeira Jirau, sendo este o ponto mais a montante na área de influência do futuro reservatório da UHE de Santo Antônio. A qualidade hídrica desse ponto será considerada a matriz limnológica para a avaliação das modificações hidroquímicas advindas da construção da hidrelétrica de Santo Antônio.

Estação Montante 04 (MON.04) - localizada no rio Madeira, cerca de 10 km a montante da foz do rio Jaci-Paraná. Os dados obtidos nesse ponto comporão parte da informação para a avaliação da influência do rio Jaci-Paraná sobre as águas do Madeira e do futuro reservatório da hidrelétrica de Santo Antônio.

Estação Montante 03 (MON.03) - localizada no rio Madeira, cerca de 24 km a jusante da desembocadura do rio Jaci-Paraná e 30 km a montante da estação MON.02. Pretende-se nesse ponto detectar as possíveis interferências na qualidade da água do rio Madeira pelas águas do rio Jaci-Paraná e Caracol, afluentes sob forte influência da colonização agropecuária na região.

Estação Montante 02 (MON.02) - localizada no rio Madeira, cerca de 10 km a montante do eixo da barragem da UHE Santo Antônio.

Estação Montante 01 (MON.01) - localizada no rio Madeira, cerca de 8,5 km a montante do eixo da barragem da UHE Santo Antônio. Nesse ponto pretende-se avaliar toda a contribuição hidroquímica a montante dessa cachoeira e do futuro reservatório da UHE de Santo Antônio. É um ponto onde certamente todo o volume de água do rio Madeira encontra-se sob forte mistura, em consequência não apenas do grande desnível do leito do rio até este local, mas também pela vigorosa influência da cachoeira de Santo Antônio, a maior em todo o percurso do rio Madeira.

Estação Jusante 01 (JUS.01) - localizada no rio Madeira, cerca de 3 km a jusante do eixo da barragem da UHE Santo Antônio. Nesse ponto será realizada a avaliação limnológica de toda a água vertida do reservatório da hidrelétrica. É também um ponto de forte mistura da coluna de água, totalizando da estação MON.05 até aqui, cerca de 18 m de desnível.

Estação Jusante 02 (JUS.02) - localizada no rio Madeira, cerca de 25 km a jusante do eixo da barragem da UHE Santo Antônio. É o início do baixo rio Madeira, trecho característico de um rio de planície.

Estação Jusante 03 (JUS.03) - localizada no rio Madeira, cerca de 20 km a jusante da foz do rio Jamarí e 113 km a jusante do eixo da barragem da UHE Santo Antônio.

## Tributários

Estação Caripuna (CAR) - localizada no rio Caripuna, cerca de 1 km a montante da desembocadura desse rio na margem esquerda do rio Madeira. A foz desse rio está cerca de 27 km a jusante da cachoeira Jirau.

Estação Jaci-Paraná 01 (JAC.01) - localizada no rio Jaci-Paraná, cerca de 4 km acima de sua desembocadura na margem direita do rio Madeira. A foz desse afluyente está cerca de 81 km a montante da cachoeira de Santo Antônio.

Estação Jaci-Paraná 02 (JAC.02) - localizada no rio Jaci-Paraná, cerca de 15 km a montante de sua foz. A avaliação limnológica desse ponto pretende investigar a influência do represamento das águas desse rio em consequência da barragem na cachoeira de Santo Antônio.

Estação Caracol (CRC) - localizada no rio Caracol, cerca de 1 km a montante de sua foz. A sua desembocadura, na margem direita do rio Madeira, está a cerca de 2 km a jusante de confluência do rio Jaci-Paraná.

Estação Teotônio (TEO.01) - localizada no igarapé Teotônio, a montante da estação TEO. Início do monitoramento a partir da 1ª etapa do enchimento do reservatório.

Estação Jatuarana I 01 (JAT I.01) - localizada no igarapé Jaturana I, cerca de 1,5 km a montante de sua foz. Início do monitoramento a partir da 1ª etapa do enchimento do reservatório.

Estação Jatuarana II (JAT II) - localizada no igarapé Jaturana II, cerca de 500 m a montante de sua desembocadura na margem esquerda do rio Madeira. A foz desse igarapé está cerca de 5,5 km a montante da Estação Jusante 02 (JUS.02).

Estação Belmont (BEL) - localizada no igarapé Belmont, cerca de 200 m a montante de sua foz. A foz desse igarapé está a cerca de 27 km a jusante da cachoeira de Santo Antônio e 2 km abaixo da Estação Jusante 02 na margem direita do rio Madeira.

Estação Jamari (JAM) - localizada no rio Jamari, cerca de 10 km a montante de sua desembocadura no rio Madeira. O Jamari desemboca na margem direita do rio Madeira, cerca de 93 km a jusante da cachoeira de Santo Antônio.

## Lagos

Estação Lago do Cuniã 01 (LC.01) - localizada na região mais profunda do principal lago-abastecedor do Cuniã, nas proximidades da comunidade do Cuniã.

## Captação de Água e Praias

Ponto de Captação CAERD rio Madeira (PCM) - localizada na margem direita do rio Madeira, cerca de 3 km a jusante do eixo da barragem da UHE Santo Antônio.

Ponto de Captação CAERD igarapé Bate Estacas (PCT) - localizada no igarapé Bate Estacas, afluente da margem direita do rio Madeira.

Praia de Jaci-Paraná (PJAC) - praia de água doce situada no rio Jaci-Paraná, perto da ponte da BR-364 sobre este rio.

Praia de Teotônio (PTEO) - praia de água doce situada no rio Madeira, perto da Vila Nova de Teotônio.

A compatibilidade da condição da qualidade da água para os usos previstos no enquadramento do corpo hídrico durante as etapas de operação será diagnosticada através do monitoramento. A compatibilidade da condição da qualidade da água e do sedimento será correlacionada com os limites preconizados pelas Resoluções CONAMA nº 357/2005 e CONAMA 454/2012. No caso do monitoramento dos pontos de captação de água da CAERD, será considerado o artigo 19 da Portaria nº 518/2004 do Ministério da Saúde, como referências para execução das amostragens.

## 5.2 - VARIÁVEIS LIMNOLÓGICAS DA COLUNA D'ÁGUA

Na coluna d'água, todas as estações serão amostradas trimestralmente para todas as variáveis, totalizando quatro coletas anuais (Quadro 5-3), com exceção dos hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs) e bifenilas policloradas (PCBs), que terão frequência anual e que serão coletados somente nas 10 estações onde será coletado sedimento.

As técnicas de análise das amostras seguirão protocolos padronizados internacionalmente reconhecidos, preferencialmente as determinações contidas no "STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER" da APHA (1998) 21ª edição. As técnicas analíticas terão por base as recomendações do programa biológico internacional para ambientes aquáticos (Golterman *et al.* 1978). Serão considerados, entre outros, os fundamentos técnicos descritos por

Strickland & Parsons (1972), Rodier (1978), Mackereth et al. (1978), e Wetzel & Likens (2000). O Quadro 5-3 apresenta uma síntese dos métodos e respectivos equipamentos necessários para realização das análises, assim como a unidade de medida e limite de detecção do método para cada variável a ser analisada. Metodologias similares, com reconhecidas eficiências analíticas, poderão ser utilizadas como alternativas caso necessário.

Quadro 5-3 - Variáveis limnológicas a serem monitoradas, unidade de medida, metodologia e limite de detecção do método.

Coluna d'água - Abióticas	Unidade	Método/Equipamento	Detecção	Nº de medições
Temperatura do ar	°C	termômetro digital	0,1	1 (atmosfera)
Profundidade	m	Ecobatímetro	0,1	1
Zona eufótica	m	disco de Secchi	0,05	1
Cor	mg Pt/L	Colorímetro	0,1	1 (sup.)
Velocidade de corrente	m/s	Fluxômetro	0,1	1 (sup.)
Temperatura da água	°C	sonda YSI 6600	0,1	perfil vertical
Turbidez	NTU	turbidímetro - sonda YSI 6600	0,01	perfil vertical
Sólidos em suspensão	mg/L	Gravimétrico	0,1	2 (sup. e fundo)*
Sólidos totais dissolvidos	mg/L	Gravimétrico	0,1	2 (sup. e fundo)*
Sólidos totais	mg/L	Calculado	0,1	2 (sup. e fundo)*
Condutividade elétrica	µS/cm	potenciométrico - sonda YSI 6600	0,1	perfil vertical
Potencial hidrogeniônico (pH)		potenciométrico - sonda YSI 6600	0,001	perfil vertical
Oxigênio -percentagem de saturação	%	oxímetro - sonda YSI 6600	0,1	perfil vertical
Oxigênio -concentração	mg/L	oxímetro - sonda YSI 6600	0,01	perfil vertical
Demanda bioquímica de oxigênio -DBO	mg/L	incubação por 5 dias	0,1	2 (sup. e fundo)*
Demanda Química de oxigênio - DQO	mg/L	Espectrofotometria	0,1	2 (sup. e fundo)*
Carbono inorgânico	mg/L	analisador de carbono	0,05	2 (sup. e fundo)*
Carbono orgânico total	mg/L	analisador de carbono	0,05	2 (sup. e fundo)*
Carbono total	mg/L	analisador de carbono	0,05	2 (sup. e fundo)*
Carbono orgânico dissolvido	mg/L	analisador de carbono	0,05	2 (sup. e fundo)*
Alcalinidade	mg/L	titulação potenciométrica	0,1	2 (sup. e fundo)*
Dureza total	mg/L	calculado a partir do Ca e Mg	0,05	2 (sup. e fundo)*
Dureza devido ao Ca e Mg	mg/L	calculado a partir do Ca e Mg	0,05	2 (sup. e fundo)*
Na <sup>+</sup> , K <sup>+</sup> , Ca <sup>2+</sup> , Mg <sup>2+</sup>	mg/L	espectroscopia/absorção atômica	0,01	2 (sup. e fundo)*

Coluna d'água - Abióticas	Unidade	Método/Equipamento	Deteção	Nº de medições
Cl <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> , HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/L	espectroscopia/absorção atômica	0,01	2 (sup. e fundo)*
Nitrogênio amoniacal	µg/L	espectrofotometria	1	2 (sup. e fundo)***
Nitrito	µg/L	espectrofotometria	1	2 (sup. e fundo)***
Nitrato	µg/L	espectrofotometria	1	2 (sup. e fundo)***
Nitrogênio total	µg/L	espectrofotometria	1	2 (sup. e fundo)***
Nitrogênio orgânico total	µg/L	espectrofotometria	1	2 (sup. e fundo)***
Ortofosfato	µg/L	espectrofotometria	1	2 (sup. e fundo)***
Fósforo total dissolvido	µg/L	espectrofotometria	1	2 (sup. e fundo)***
Fósforo total	µg/L	espectrofotometria	1	2 (sup. e fundo)***
Fósforo particulado	µg/L	espectrofotometria	1	2 (sup. e fundo)***
Silicatos reativos	mg/L	espectrofotometria	0,001	2 (sup. e fundo)***
Ferro dissolvido	µg/L	espectrometria de massa	0,5	2 (sup. e fundo)*
Ferro total	µg/L	espectrometria de massa	1	2 (sup. e fundo)*
Al e Cu dissolvidos	µg/L	espectrometria de massa	0,0001	2 (sup. e fundo)*
Óleos e graxas	mg/L	gravimétrico	1	1 (sup.)
Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos - HPA	µg/L	cromatografia gasosa	0,05	1 (sup.)
Bifenilas policloradas - PCB	µg/L	cromatografia gasosa	0,001	1 (sup.)
Ba, Cd, Co, Cr, Hg, Mn, Ni, Pb, Si, Sn, Zn totais	µg/L	espectrometria de massa	0,0001	2 (sup. e fundo)*
<b>Coluna d'água - Bióticas</b>				
Clorofila a	µg/L	espectrofotometria	0,1	2 (sup. e fundo)***
Pigmentos totais	µg/L	espectrofotometria	0,1	2 (sup. e fundo)***
Coliformes totais	NMP/100 mL	colimétrico colilert	1	1 (sup.)
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 mL	colimétrico colilert	1	1 (sup.)
Cianotoxinas	µg/L	cromatografia	0,001	1 (sup.)

\*será analisada na subsuperfície e na profundidade máxima das estações na calha central do rio Madeira e somente na subsuperfície das estações dos tributários e do lago Cuniã.

\*\* será analisada na subsuperfície e na profundidade máxima das estações dos tributários e do lago Cuniã e somente na subsuperfície das estações na calha central do rio Madeira.

\*\*\* será analisada na superfície e na profundidade máxima das estações na calha central do rio Madeira em todas as coletas; nos tributários e no lago Cuniã a amostragem na profundidade máxima só será realizada quando esta for superior a 2 metros.

### 5.2.1 - Monitoramento de praias e pontos de captação de água

Serão avaliadas as densidades de cianobactérias nos pontos de captação de água (PCM e PCT) para abastecimento público e, semestralmente, serão analisadas todas as variáveis indicadas pela Resolução CONAMA 357/2005 nessas estações. Para monitorar a qualidade da água bruta nos pontos de captação, será considerado o Artigo 19 da Portaria nº 518/2004 do Ministério da Saúde, que estabelece o monitoramento semestral das variáveis indicadas pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para águas doces de classe 2; mensal para as cianobactérias, quando a densidade não exceder 10.000 cel/mL; e semanal, quando o número de cianobactérias exceder este valor. Será feito, também, o monitoramento dos coliformes totais e termotolerantes (*E. coli*) nas praias de Jaci-Paraná (PJAC) e Teotônio (PTEO).

### 5.3 - VARIÁVEIS LIMNOLÓGICAS DO SEDIMENTO

Os sedimentos superficiais serão coletados em 10 estações de amostragem: Caripuna (CAR), Jaci-Paraná 01 (JAC.01), Caracol (CRC), Ceará (CEA.01), Teotônio (TEO), Montante 03 (MON.03), Jatuarana I (JAT I), Montante 01 (MON.01), Jusante 01 (JUS.01) e Jusante 02 (JUS.02). As amostras de sedimentos superficiais serão coletadas com amostrador de Van Veen modificado, com área de 0,37 m<sup>2</sup>. Após a coleta, o material será acondicionado em frascos com septo ou sacos de polietileno e mantido resfriado até o momento de preparação e análise das amostras em laboratório. As variáveis a serem analisadas, as unidades de medida, o método e o limite de detecção são apresentados no Quadro 5-4. Todas as variáveis serão analisadas trimestralmente, totalizando quatro coletas anuais.

Os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs) e bifenilas policloradas (PCBs) serão amostrados sazonalmente por somente mais 1 ano (até janeiro de 2014), conforme recomendação do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) no Parecer 282/2013, datado de 30 de janeiro de 2013.

Quadro 5-4 - Variáveis analisadas em sedimentos superficiais, unidades de medida, equipamentos utilizados e limites de detecção.

VARIÁVEIS	Unidade	Método / Equipamento	Deteção
<b>Sedimentos Superficiais</b>			
Granulometria (areia grossa, areia fina, silte, argila)	g/kg	difração a laser	0,01
Cinzas	% p/p	calcinação / gravimétrico	0,05
Matéria orgânica	% p/p	digestão / calcinação	0,05
Carbono orgânico	% p/p	combustão em forno	0,05
Nitrogênio	mg/kg	digestão / absorção atômica	0,5
Fósforo	mg/kg	digestão / absorção atômica	0,5
Sódio	mg/kg	digestão / absorção atômica	0,5
Potássio	mg/kg	digestão / absorção atômica	0,5
Cálcio	mg/kg	digestão / absorção atômica	0,5
Magnésio	mg/kg	digestão / absorção atômica	0,5
Al, Ba, Si, Sn	mg/kg	espectrometria massa	0,5
Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Pb, Fe e Zn	mg/kg	espectrometria de absorção atômica por chama	0,5
Hg	mg/kg	espectrofotometria de absorção atômica com gerador de vapor frio	0,004
HPAs e PCBs	µg/kg	cromatografia gasosa/espectrometria de massa	0,5

## 5.4 - COMUNIDADES AQUÁTICAS

### 5.4.1 - Fitoplâncton

A estrutura da comunidade fitoplanctônica será avaliada a partir da composição, abundância e biovolume, através de amostras quantitativas e qualitativas obtidas coletadas na subsuperfície da coluna d'água. Para análises quantitativas as amostras serão coletadas por passagem do frasco diretamente na subsuperfície do rio Madeira e tributários. As profundidades máximas serão amostradas somente nos tributários e lago Cuniã por meio de garrafa de VanDorn quando a profundidade for superior a 2 metros. A não filtração possibilita a análise integral da fração fitoplanctônica, não sendo eliminada qualquer fração menor que um tamanho estabelecido de malha de rede de coleta. Para análises qualitativas as amostras serão coletadas por meio de rede de plâncton de 20 µm. As amostras serão preservadas em solução transeau e solução de lugol para as análises qualitativas e quantitativas, respectivamente. A quantificação das populações será feita pelo método de sedimentação de Uthermöl (1958) com aumento de 400x ou 1000x em microscópio invertido. A identificação sistemática será feita sempre que possível em nível de espécie, por análise comparativa com a literatura especializada e atualizada, com base nas características morfológicas e morfométricas das vidas vegetativa e reprodutiva. Com relação ao

sistema de classificação das classes, será adotado aquele estabelecido por Hoek (1997), exceto para diatomáceas (Round, 1990) e cianobactérias (Komárek e Anagnostidis, 1998).

Amostras qualitativas serão examinadas em microscópio Olympus BH2 equipado com câmera digital para captura de imagem (Image Pro Plus) a fim de observar características morfológicas necessárias à identificação das espécies e de documentar os táxons mais importantes. Com a finalidade de obter uma lista mais detalhada da biodiversidade fitoplanctônica, sobretudo das algas maiores, geralmente mais raras, as amostras qualitativas serão observadas em câmaras de sedimentação de 2 mL em microscópio invertido em dois transectos (longitudinal e transversal) em um aumento de 200x. As identificações serão feitas sempre que possível em nível de espécie, com base nas características morfológicas e morfométricas das vidas vegetativa e reprodutiva das populações, utilizando-se bibliografia atualizada e específica.

Os grandes grupos taxonômicos (cianobactérias = Cyanobacteria; criptofíceas = Cryptophyceae; dinoflagelados = Dinophyceae, diatomáceas = Bacillariophyceae, crisofíceas = Chrysophyceae; xantofíceas = Xanthophyceae; rafidofíceas = Raphidophyceae; euglenóides = Euglenophyceae; clorofíceas = Chlorophyceae; zignematofíceas = Zygnematophyceae e Oedogonifíceas = Oedogoniophyceae) serão identificados de acordo com os critérios estabelecidos por Hoek 1993, exceto para cianobactérias (Komárek & Anagnostidis 1999) e diatomáceas (Round et al. 1993).

#### 5.4.1.1 - Densidade fitoplanctônica (ind.mL<sup>-1</sup>)

Para determinação da abundância das populações fitoplanctônicas (ind mL<sup>-1</sup>) as amostras serão colocadas em câmaras de sedimentação de 2 ou 10 mL, dependendo das concentrações de abioseston em relação às algas. O tempo de sedimentação será de pelo menos três horas para cada centímetro de altura da câmara (Margalef, 1983). A enumeração dos organismos (células, colônias, filamentos) será feita em campos aleatórios (Uhelinger, 1964) em microscópio invertido, marca Zeiss Oberkochen, modelo Axiovert. Os organismos serão enumerados, sempre que possível, em número suficiente para alcançar 100 indivíduos da espécie mais frequente, sendo o erro inferior a 20% ( $p < 0,05$ ; Lund et al. 1958). Quando não for possível utilizar esse critério (amostras com algas escassas e detrito abundante), serão enumerados indivíduos em tantos campos aleatórios quantos os necessários para que se estabilizasse o número de espécies adicionadas por campo (método da área mínima), a fim de garantir uma representatividade qualitativa mínima das espécies.

#### 5.4.1.2 - Biomassa fitoplanctônica ( $\text{mm}^3 \cdot \text{L}^{-1}$ )

A biomassa pode ser considerada uma medida mais eficiente de abundância, uma vez que existe uma grande variação de tamanho entre os organismos fitoplanctônicos e muitas vezes amostras com grande densidade de algas de pequenas dimensões apresentam menor biomassa que amostras com reduzidas densidades de grandes algas. Além disso, ao contrário da análise de concentração de clorofila-a (estimativa de biomassa fitoplanctônica) a utilização do biovolume permite identificar as espécies ou grupos taxonômicos mais importantes em termos de biomassa.

A biomassa fitoplanctônica será estimada através do cálculo do biovolume, multiplicando-se as densidades de cada espécie pelo volume das algas, considerando-se as dimensões médias das espécies abundantes. O volume de cada célula será calculado a partir de modelos geométricos aproximados à forma dos indivíduos, como esferas, cilindros, cones, paralelepípedos, pirâmides, elipsóides e outros (WETZEL & LINKENS, 1991). Considerando a equivalência entre biovolume e biomassa, no presente relatório os resultados estão expressos em biovolume.

#### 5.4.1.3 - Análise de cianotoxinas

O monitoramento de cianotoxinas deverá ocorrer quando a densidade de cianobactérias for superior a 20.000 células/ml nos pontos de captação de água para abastecimento doméstico e 50.000 células/ml nas áreas de recreação de contato primário e dessedentação de animais. As amostras serão armazenadas em frascos âmbar e mantidas refrigeradas. As microcistinas, cilindrospermopsinas e saxitoxinas serão analisadas de acordo com protocolos internacionalmente reconhecidos. Cilindrospermopsinas por HPLC, microcistinas por método imunoenzimático (ELISA) Kit Microcistinas Beacon Analytical Systems e saxitoxinas por cromatografia, de acordo com OSHIMA, Y., 1995.

#### 5.4.1.4 - Medidas de controle

O controle de cianobactérias e cianotoxinas da água bruta, destinada ao abastecimento público, deve estar relacionada ao controle dessas algas no ambiente. Existem diversas alternativas, como o controle químico, biológico e físico.

**Controle químico** - O controle químico de cianobactérias nas águas está muitas vezes relacionado ao tratamento com algicidas, principalmente o sulfato de cobre. Porém, o uso deste composto pode levar à lise celular, liberando as toxinas produzidas na água. A Portaria n° 518/2004 do Ministério da Saúde veda o uso de algicidas em águas para abastecimento, quando a densidade celular for superior a 20.000 céls/mL.

**Controle biológico** - A manipulação biológica inclui uma série de abordagens para mudanças na cadeia alimentar aquática, para aumentar a pressão de predação sobre as cianobactérias ou para reduzir a reciclagem de nutrientes (PAERL et al., 2001). Entretanto, este método não é viável de ser aplicado no reservatório da UHE Santo Antônio, uma vez que pode mudar as relações tróficas do sistema. Este controle, em muitos casos, está associado com a inserção de espécies exóticas ao ambiente. Além disso, existem muitas espécies de cianobactérias não palatáveis ao zooplâncton.

**Controle físico** - os métodos físicos de controle são bastante utilizados, uma vez que se mostram eficientes, elevando as concentrações de oxigênio e reduzindo a biomassa algal. Nestes, é muito comum a proposição da aeração de toda a coluna d'água (Circulação artificial) ou do hipolímnio (Aeração do hipolímnio).

Na circulação artificial usam-se tubos de aeração, tendo o objetivo de promover a mistura de todas as camadas, desde a superfície até o fundo. Desse modo, a estratificação é destruída, impedindo a formação de gradientes térmicos, assim oxigenando toda a coluna e aumentando a profundidade da camada epilimnética. A maior profundidade reduz substancialmente a entrada de luz e conseqüentemente, a biomassa de cianobactérias. Entretanto, para que seja eficaz, pelo menos 80% do volume de água deve ser misturado, a taxa de mistura artificial deve ser maior que a taxa de deslocamento vertical das colônias de cianobactérias e a maior parte do corpo d'água deve ser suficientemente profunda.

A aeração do hipolímnio aumenta a oxigenação da camada do hipolímnio, destruindo estados de anaerobiose. De acordo com COOKE et al. (1986) existem três categorias de aeração do hipolímnio: mecânica, quando as águas do hipolímnio são removidas, oxigenadas e retornam; injeção de oxigênio puro, de tanques de oxigênio líquido armazenados nas margens e injeção de ar, através de compressores ou dispositivo de injeção. Vários modelos comerciais são disponíveis.

Devido à forte influência reguladora da estratificação térmica, teoricamente, a desestratificação artificial tem potencial como uma estratégia reguladora para cianobactérias tóxicas nos reservatórios de zonas tropicais. Porém, as alternativas de circulação artificial e aeração do hipolímnio não se aplicam ao rio Madeira, uma vez que estratificação térmica não ocorre neste ambiente. Além disso, a alta turbidez ( $315 \pm 216$  NTU, média  $\pm$  DP) e reduzida zona eufótica ( $0,31 \pm 0,16$  m, média  $\pm$  DP) impedem o crescimento de grandes densidades fitoplanctônicas.

O reservatório da UHE Santo Antônio foi construído de forma a manter as vazões do rio próximas às características naturais, de modo que as turbinas instaladas (tipo bulbo) irão atuar reduzindo a sedimentação do reservatório. Até o momento, não foi observada a ocorrência de florações nas águas do reservatório.

A proposição de critérios para controle de cianobactérias estão em processo de revisão e serão entregues ao IBAMA para avaliação.

#### 5.4.1.5 - Florações de cianobactérias nos braços do reservatório

Os braços do reservatório, situados nos tributários Jatuarana I, Jaci-Paraná e Teotônio possuem um tempo de residência da água mais longo. Essa característica, somada ao enriquecimento destes sistemas por material autóctone e aloctone, pode ser favorável a ocorrência de florações ocasionalmente, embora até o momento não tenha sido constatada nenhuma ocorrência. Portanto, não é descartada a possibilidade de ocorrência de cianobactérias em densidades superiores a 50.000 céls/mL nestes braços em situações específicas. Entretanto, devido à capacidade de turbilhonamento em função das elevadas vazões e velocidade de corrente do rio Madeira, a diluição imediata dos possíveis inóculos oriundos dos braços é esperada. Ainda assim, caso ocorra floração de cianobactérias nos braços supracitados, serão adotadas como medidas:

- Amostragem sazonal para contagem de cianobactérias e determinação das espécies dominantes;
- Caso seja comprovada a ocorrência de espécies potencialmente tóxicas acima de 50.000 céls/mL, será feita a análise de cianotoxinas (microcistinas, saxitoxinas e cilindrospermopsinas);

- Caso seja comprovada a ocorrência de concentrações acima de 1 µg/L para microcistinas, 3 µg/L para saxitoxinas e 15 µg/L para cilindrospermopsinas, o empreendedor deverá comunicar e apresentar os laudos técnicos à Secretaria de Saúde Municipal para que sejam tomadas as providências cabíveis;

Caso haja permanência dessa condição por mais de um ciclo sazonal completo, serão implementadas intervenções físicas na localidade de ocorrência para promoção da desestabilização e mistura da coluna d'água, visando à redução da densidade de cianobactérias a níveis inferiores a 50.000 céls/mL.

A SAE já realiza, no âmbito do Programa de Educação Ambiental, ações ligadas ao saneamento, especialmente nas comunidades situadas a jusante da barragem da UHE Santo Antônio. Ações referentes à potabilidade da água de abastecimento público serão desenvolvidas pela SAE em parceria com a Companhia de Água e Esgoto do Estado de Rondônia (CAERD).

#### 5.4.2 - Zooplâncton

Para a análise da comunidade zooplanctônica as amostras serão obtidas com o auxílio de uma bomba elétrica, coletados na subsuperfície e nas profundidades máximas dos tributários e lago Cuniã quando estas forem superiores a 2 metros. Os organismos serão filtrados em uma rede de plâncton de 68 mm de abertura de malha. O material coletado será mantido em frascos de polietileno e fixado em solução de formaldeído a 4%, tamponada com carbonato de cálcio. A composição zooplanctônica será avaliada utilizando-se lâminas e lamínulas comuns, microscópio estereoscópico e microscópio óptico. As densidades das espécies serão estimadas (em indivíduos por m<sup>-3</sup>) através da contagem, em câmaras de Sedgwick-Rafter, de alíquotas de 1 ml, obtidas com pipeta do tipo Hensen-Stempel. Uma vez que o método de alíquotas não é suficiente para fornecer resultados satisfatórios de riqueza de espécies (apesar de fornecer uma estimativa satisfatória da densidade total, as espécies pouco abundantes podem não ocorrer nas alíquotas), após as contagens das alíquotas, será realizada uma análise qualitativa das mesmas. Assim, em cada amostra, sub-amostras serão analisadas até que nenhuma nova espécie seja encontrada. A riqueza de espécies será dada pelo número de espécies presentes em cada amostra.

### 5.4.2.1 - Biomassa zooplanctônica

A biomassa zooplanctônica será determinada a partir das equações de relação peso-comprimento dos indivíduos de acordo com as fórmulas amplamente utilizadas na literatura para cada grupo planctônico (Dumont et al., 1975; Bottrell et al., 1976; McCauley, 1984; Bird e Praire, 1985; Martín e Cláudia, 2006). O peso seco é obtido mediante a pesagem de grupos de indivíduos, previamente medidos, em uma microbalança. Quando não houver fórmulas disponíveis para os táxons identificados, as relações peso/comprimento serão determinadas mediante a pesagem em uma microbalança de grupos de indivíduos previamente medidos em microscópio ótico.

A biomassa (B) é uma estimativa que surge ao combinar o número de indivíduos (N) de uma classe de tamanho ou corte e sua massa média ( $\bar{M}$ ) (Winberg e Duncan, 1971):

$$B = N \cdot \bar{M}$$

As equações da relação peso seco-comprimento são elaboradas a partir das transformações dos valores do comprimento (variável independente) e peso (variável dependente), em logaritmo natural, expressas a partir da seguinte equação (McCauley, 1984):

$$\ln w = \ln a + b \cdot \ln L$$

Onde:

$\ln w$  = logaritmo natural do peso seco ( $\mu\text{g}$ ),  $\ln a$  = estimativa da intercepção,  $b$  = estimativa da inclinação da reta,  $\ln L$  = comprimento médio dos indivíduos da amostra

$\ln L$  é calculado como a média das medidas do comprimento, transformado a logaritmo (L em mm).

Para estimar a precisão do calculado da biomassa de uma população é necessário calcular o coeficiente de variação. Como a biomassa (B) é estimada a partir das duas variáveis, número de indivíduos (N) e a massa média ( $\bar{M}$ ), esta precisão pode ser estimada pelo coeficiente de variação ( $CVB = S/B$ ), onde S: desvio padrão e  $\bar{B}$ : biomassa média, a partir da seguinte equação:

$$CVB = (CVN \times 2 + CVM \times 2) \times 0,5$$

Onde:

CVN e CVM = os respectivos coeficientes de variação (Colquhoun, 1971 cit. em Mc Cauley, 1984) de N (número de indivíduos) e  $\bar{M}$  (massa média).

É importante trabalhar com réplicas suficientes a fim de obter um CVB de 0,15 quando possível (Mc Cauley, 1984). Dessa maneira, é possível ainda usar esta equação para discutir e decidir sobre os relativos méritos das diferentes técnicas de pesagem e contagem de organismos, de acordo com o CVN e CVM de cada técnica é possível decidir qual destas técnicas usar para um CVB pretendido.

### 5.4.3 - Invertebrados bentônicos

Para caracterização dos invertebrados bentônicos serão analisadas as amostras sedimentos coletadas, em triplicata, em 10 estações: Caripuna (CAR), Jaciparanã 01 (JAC.01), Caracol (CRC), Ceará (CEA.01) Teotônio (TEO), Montante 03 (MON.03), Jatuarana I (JAT I), Montante 01 (MON.01), Jusante 01 (JUS.01) e Jusante 02 (JUS.02).

As amostras serão fixadas com formaldeído, com concentração final de 4%. As amostras serão processadas com o auxílio de peneiras (abertura de malha 2 e 0,2 mm) e o material retido na menor malha será novamente fixado em formol 4%, tamponado com carbonato de cálcio, para posterior triagem, contagem e identificação sob microscópio estereoscópico. Após a identificação, que priorizará as famílias de Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera, Heteroptera e Odonata, cada táxon será contado em cada amostra. As densidades dos táxons ( $\text{ind.m}^{-2}$ ) serão calculadas de acordo com a área coletada pelo amostrador e expressa em número de organismos/ $\text{m}^2$ .

Os organismos das comunidades de Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera (EPT) e Odonata serão identificados em nível de gênero, sempre que possível. Os indivíduos coletados e identificados serão classificados de acordo com o grupo de alimentação funcional (GAF) e hábitos de vida baseando-se em Resh & Rosenberg (1984), Merritt & Cummins (1988), Hauer & Lamberti (1996), Baptista et al. (1998), Callisto et al. (2000) e Baptista et al. (2001). Os Grupos de alimentação funcional e hábitos dos organismos (GAF) a serem considerados serão: predador (perfurador ou engolfador), coletor (filtrador ou reunidor), triturador e raspador. Os hábitos são: escavador (vive em tocas ou semi-enterrado), agarrador (aderido a folhas ou rochas), nadador (organismos nécto-bentônicos) e caminhador (percorre o sedimento ou as rochas sem escavá-las).

Quanto ao uso potencial dos invertebrados bentônicos como bioindicadores, segundo Barbosa e colaboradores (2001), esses organismos podem ser classificados em três grupos: sensíveis (altamente suscetíveis a qualquer tipo de impacto); tolerantes (suportam impactos em níveis não tão altos, são capazes de se adaptarem às novas condições e refletem a resiliência do ecossistema) e resistentes (suportam grandes impactos).

#### 5.4.4 - Macrófitas aquáticas

A análise da composição e estrutura da comunidade de macrófitas será feita através do rastreamento em campo dos estandes nas localidades próximas às estabelecidas pelo Programa de Monitoramento Limnológico. Uma vez detectada a ocorrência dos estandes, será determinada a área ocupada pelas macrófitas por meio de telêmetro e estimativa visual. As amostras quantitativas de macrófitas aquáticas serão coletadas em triplicata através de um quadrado de 1 m<sup>2</sup> de área (1 m x 1 m). Serão coletadas amostras qualitativas para identificação e herborização, além de alíquotas para a determinação da composição e de elementos traço. No laboratório as amostras quantitativas serão secas em estufa para a determinação do peso seco.

Para execução do monitoramento da macrófitas aquáticas serão mensuradas: a composição das comunidades de macrófitas (lista de espécies por estande); a frequência de ocorrência de cada espécie na comunidade (% de parcelas em que cada espécie ocorreu); a biomassa de cada espécie presente na comunidade e sua dominância.

O Quadro 5-5 apresenta uma síntese dos métodos e respectivos equipamentos necessários para realização das análises em macrófitas aquáticas, assim como a unidade de medida e limite de detecção do método para cada variável analisada.

Quadro 5-5 - Variáveis analisadas em macrófitas aquáticas, unidades de medida, equipamentos utilizados e limites de detecção

VARIÁVEIS	Unidade	Método/Equipamento	Deteção
<b>Macrófitas Aquáticas</b>			
Identificação	sp	chaves	1
Cinzas	% p/p	calcinação	0,05
Matéria orgânica	% p/p	digestão / calcinação	0,05
Carbono orgânico	% p/p	combustão em forno _ IAC	0,05
Sódio	mg/kg	digestão / espectrometria massa	0,5
Potássio	mg/kg	digestão / espectrometria massa	0,5
Cálcio	mg/kg	digestão / espectrometria massa	0,5
Magnésio	mg/kg	digestão / espectrometria massa	0,5
Al, Ba, Si, Sn	mg/kg	digestão/Espectrometria de massa	0,5
Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Zn	mg/kg	digestão / absorção atômica por chama	0,5
Hg	mg/kg	digestão/absorção atômica com gerador vapor frio	0,5

A escala de abundância de Domin-Krajina será utilizada para estimativa de cobertura de macrófitas (1=<20; 2= 21-40; 3=31-60; 4=61-80; 5=81-100% cobertura). A riqueza de espécies de macrófitas aquáticas será estimada através dos índices não-paramétricos Jackknife e Chao 2 por meio do programa Stimates (Colwell 1997). Estes índices levam em consideração a ausência/presença das espécies e o número de espécies observado nos sítios de amostragem.

As equações a serem utilizadas estão descritas a seguir:

#### Estimador Jackknife de primeira ordem

$$S_{jack1} = S_{obs} + Q1 \left( \frac{m-1}{m} \right)$$

Onde:

Sobs = número de espécies observado em todos os sítios de amostragem;

Q1 = número de espécies amostrado em apenas um sítio de amostragem (espécies raras)

m = número total de sítios de amostragem.

#### Estimador Chao2

$$S_{chao2} = S_{obs} + \left( \frac{Q1^2}{2Q2} \right)$$

Onde:

Q2 = número de espécies amostradas em dois pontos.

A análise multivariada das variáveis físicas e químicas mais importantes na distribuição das famílias de macrófitas, além da composição e elementos traço será feita através Análise de Correspondência Canônica (CCA) e similaridade (Cluster).

#### 5.4.4.1 - Imagens de satélite dos estandes de macrófitas

Serão adquiridas imagens de satélites dos meses correspondentes e dos locais onde for diagnosticada presença de banco de macrófitas flutuantes superiores a 100 m<sup>2</sup>. Adverte-se que imagens de satélite de boa qualidade só podem ser adquiridas durante os meses com baixa nebulosidade, que se estende de maio a outubro. Além disso, a observação de estandes de macrófitas aquáticas flutuantes em um ambiente turbulento, como o do rio Madeira, é um evento raro.

Para execução do mapeamento dos estandes de macrófitas serão obtidas imagens de alta definição (1 m colorida) de satélite (IKONOS ou QUICKBIRD), modo Multiespectral (4 bandas), centradas nas coordenadas geográficas correspondentes à estação de coleta limnológica, numa faixa de 1 km a 500 m a montante e 500 m a jusante da estação, com área mínima de 100 km<sup>2</sup>. A partir destas imagens será estimada a cobertura de estandes de macrófitas na zona litoral de cada margem, fornecendo subsídios para refinar o delineamento da amostragem em campo.

#### 5.4.4.2 - Medidas de controle

As macrófitas aquáticas são componentes importantes dos ecossistemas aquáticos, uma vez que proporcionam locais para reprodução, alimentação e proteção para diversos organismos e auxiliam na proteção e estabilização das margens. Contudo, em determinadas situações, as macrófitas podem se tornar um problema. O crescimento excessivo e desordenado pode afetar negativamente os usos da água, podendo deteriorar a qualidade da água. Segundo Esteves (1988), o acréscimo excessivo de indivíduos de uma população de macrófitas deve-se, geralmente, a dois fatores principais: à falta de herbívoros e ao nível elevado de eutrofização.

Em reservatórios de usinas hidrelétricas, é comum que aconteça a proliferação excessiva de macrófitas após o barramento do rio, uma vez que há a transformação de um ambiente lótico em um ambiente lêntico, mais propício ao crescimento desses vegetais. Nesses ambientes, dentre os principais problemas da proliferação excessiva de macrófitas, destacam-se os prejuízos relacionados à geração de energia e à qualidade da água.

Com a formação do reservatório da UHE Santo Antônio, é possível que existam áreas suscetíveis à proliferação de macrófitas aquáticas. Como esses vegetais desenvolvem-se, em geral, em ambientes com água mais parada, é possível que os locais propícios à proliferação de macrófitas aquáticas situem-se nos braços do reservatório, notadamente nos tributários Jatuarana I, Jaci-Paraná e Teotônio, onde o tempo de residência da água é maior. Embora até o momento não tenham sido observadas proliferações excessivas dessas plantas, isso pode acontecer ocasionalmente.

Com base nos resultados do Programa de Monitoramento de Macrófitas Aquáticas da UHE Santo Antônio no rio Madeira, obtidos durante a fase de implantação, foi identificado que as espécies com potencial de causarem problemas são *Eichhornia crassipes*, *Pistia stratiotes*, *Salvinia auriculata* e *Salvinia minima*, pois são frequentes e abundantes. Mesmo que estas espécies

atualmente não ocorram em todos os tributários ou não tenham ainda sido registradas em algumas localidades, elas poderão futuramente colonizar estes braços do reservatório e se desenvolverem, porque podem ser carregadas pela correnteza e impulsionadas pelo vento.

Apesar de abundantes e frequentes, as espécies *Paspalum repens* e *Echinochloa polystachia* são plantas enraizadas, o que limita sua distribuição a pequenas profundidades e, por esta razão, serão pouco favorecidas quando da formação do reservatório. A ocorrência dessas duas espécies ficará provavelmente limitada à confluência dos rios e áreas rasas.

Naturalmente, outras espécies poderiam ainda se desenvolver, como as espécies do gênero *Azolla*, *Lemna* e *Wolffia*, mas com menor probabilidade de causarem problemas relacionados à proliferação excessiva.

Segundo De Filippo (2003), o aumento das assembleias de plantas aquáticas flutuantes na etapa de enchimento e/ou durante os primeiros anos de operação das usinas hidrelétricas se torna frequente na grande maioria dos reservatórios já construídos em todo o mundo. Entretanto, a dimensão do fato é incerta, pois trata-se de uma resposta ambiental a um conjunto de fatores interdependentes.

É notório que a disponibilidade de nutrientes nos períodos de pré-enchimento e enchimento se torna o principal fator que impulsiona a formação das assembleias. A morfologia do espelho d'água, morfometria e a densidade da vegetação parcialmente inundada são características que colaboram tanto para o aumento quanto para a restrição de sua ocupação (Thomaz & Bini, 2003).

O controle e manejo de macrófitas aquáticas no reservatório da UHE Santo Antônio será de caráter preventivo e corretivo, de forma que serão elaboradas estratégias e técnicas que objetivem o controle da proliferação das espécies potenciais que possam causar possíveis problemas ambientais. Dentre as medidas de manejo de plantas aquáticas, podem ser citados (Thomaz & Bini, 2003):

- Controle manual e mecanizado, com corte e remoção - Embora mais trabalhoso, pode ser um processo contínuo e não apresenta os inconvenientes do uso de agentes químicos e biológicos, além da remoção da vegetação se constituir em uma ferramenta para a remoção de nutrientes e melhorias na qualidade da água.
- Controle químico, com utilização de herbicidas - Esse método se torna praticamente inviável para grandes reservatórios devido ao seu elevado custo nestes ambientes, além de sua ação ser limitada ao ano de aplicação, podendo comprometer a qualidade da água para alguns usos (abastecimento humano e de animais, recreação, irrigação, pesca, etc.).
- Controle biológico - Vem sendo utilizado em pequenos corpos d'água, embora sua empregabilidade seja bastante discutida tendo em vista a utilização de espécies exóticas. Seu uso em grandes reservatórios pode ser de baixa eficácia, implicando em riscos para a fauna nativa, pela possibilidade de introdução de doenças, competição, predação ou alterações descontroladas nos habitats.

Para o controle da possível proliferação de macrófitas no reservatório da UHE Santo Antônio, será proposto o controle preventivo por remoção manual, que se torna bastante eficiente para assembleias reduzidas (Thomaz et al, 2003). Essa remoção pode ser realizada com pás e facas, de maneira semelhante ao trabalho de poda (Pompêo, 2008). Serão selecionados locais de observação nos braços do reservatório susceptíveis à maior proliferação de macrófitas e nos trechos do reservatório próximos aos reassentamentos Novo Engenho Velho, Riacho Azul, São Domingos, Santa Rita, Morrinhos, Vila Nova de Teotônio e Parque dos Buritis, sendo proposto acompanhamento mensal, por meio de observação visual. Os braços considerados suscetíveis à proliferação de macrófitas serão os mesmos que foram objeto de estudo do modelo matemático de prognóstico da qualidade da água: Jaci-Paraná, Teotônio e Jatuarana I. Todos os trechos contemplados no plano de controle de macrófitas aquáticas estão apresentados no Anexo 1- Mapa de localização das áreas de monitoramento de limnologia e qualidade da água na área de influência da UHE Santo Antônio.

As etapas de manejo seguirão os seguintes procedimentos:

- Acompanhamento mensal nos braços dos tributários selecionados e reassentamentos, com utilização de embarcação apropriada.

Um técnico deverá ser treinado para reconhecer, de forma visual, as espécies *Eichhornia crassipes*, *Pistia stratiotes*, *Salvinia auriculata* e *Salvinia mínima*. Esse profissional percorrerá de barco toda a extensão dos braços dos tributários, realizando busca ativa de estandes das espécies supracitadas. Dentro da embarcação estará disponível uma ficha com descrição e fotos das diferentes fases do desenvolvimento das espécies.

- Localização e dimensionamento dos tamanhos dos estandes de macrófitas.

Estandes de macrófitas com área superior a 100 m<sup>2</sup> e com dominância de 70% das espécies citadas no item anterior serão removidos manualmente pelo técnico.

A remoção mecanizada, quando necessária, será realizada com equipamentos adequados e uma estrutura de apoio que maximize o rendimento operacional dos equipamentos (Thomaz & Bini, 2003).

O levantamento periódico da possível presença de assembleias de macrófitas será realizado de forma visual com periodicidade mensal e a avaliação da evolução desta ocorrência será realizada de forma integrada com o monitoramento limnológico. Isso permitirá acompanhar as variações analisando suas causas, o que possibilitará a delimitação de intervalos de observação visual e remoção do excesso de vegetação com maior ou menor frequência, de acordo com os dados empíricos. A frequência e os trechos para acompanhamento visual, e consequente remoção, deverão ser revistos ao longo do desenvolvimento da atividade, em função da ocorrência dos estandes de macrófitas. Caso seja observada a ocorrência de estandes superiores a 500 m<sup>2</sup>, será adotada a remoção mecanizada. A escolha dos equipamentos a serem utilizados depende da localização dos estandes e das espécies presentes, para que a magnitude do problema seja conhecida e o empreendedor proceda à aquisição dos equipamentos adequados.

A proposição de critérios para remoção de macrófitas está em processo de revisão e deverá ser validada pelo órgão ambiental previamente a sua implementação.

### 5.4.4.3 - Descarte da vegetação removida

A destinação final da vegetação recolhida é um ponto a ser levado em consideração, devendo este material ser descartado em locais adequados ou seu uso para diversas finalidades estarem de acordo com a legislação vigente (Pompêo, 2008).

O material removido deverá ser disposto em aterro sanitário, regulado pela Resolução CONAMA nº 308/2002. Segundo Pompêo (2008), não é necessário construir aterros específicos, podendo ser utilizados para o descarte de macrófitas aterros pré-existentes.

O aproveitamento da biomassa como adubo orgânico ou sua utilização como complemento da dieta alimentar de animais também poderão ser empregados, dependendo da viabilidade de execução dessas medidas. Contudo, para que essas medidas sejam tomadas, a composição química das macrófitas deverá ser determinada, a fim de averiguar as concentrações de elementos tóxicos aos seres vivos.

## 5.5 - COLETA, ARMAZENAMENTO E PRESERVAÇÃO DAS AMOSTRAS

Os procedimentos de coleta, armazenamento e preservação das amostras encontram-se sumarizados no Quadro 5-6, que foi elaborado com base nas orientações da APHA (1998), do “Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras: Água, Sedimento, Comunidades Aquáticas e Efluentes Líquidos”, publicado pela Agência Nacional de Águas (ANA) em 2011, e de Wetzel & Likens (2000).

Quadro 5-6 - Procedimentos de preservação, armazenamento e tempo de estocagem de amostras para as análises das variáveis limnológicas.

Variável	Recipiente	Quantidade de Amostra	Preservação	Armazenamento	Prazo de Validade
Alcalinidade	P,V	250 mL	Resfriamento (em gelo)	Refrigeração a 4±2°C	24h
Bifenilas policloradas - PCB	VA	1L	Resfriamento (em gelo)	Refrigeração a 4±2°C	14 dias
Carbono inorgânico	V	300 mL	Resfriamento (em gelo)	Refrigeração a 4±2°C	7 a 28 dias
Carbono orgânico total e orgânico dissolvido	P,V	300 mL	1 gota de H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	Refrigeração a 4±2°C	7 a 28 dias
Cianotoxinas	VA	1L	Resfriamento (em gelo)	Refrigeração entre 4 e 8°C e proteger da luz	48h

Variável	Recipiente	Quantidade de Amostra	Preservação	Armazenamento	Prazo de Validade
Cl <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	P,V	100 mL	Resfriamento (em gelo)	Refrigeração a 4±2°C	N.R.
Clorofila a, pigmentos totais	VA	1L	Resfriamento (em gelo) e proteger da luz	Refrigeração entre 4 e 10°C e proteger da luz	28 dias
Coliformes	P,V,SP	100 mL	Resfriamento (em gelo)	Refrigeração entre 2 e 8°C e proteger da luz; não congelar	8 a 24 horas
Condutividade elétrica	-	-	-	-	Imediatamente
Cor	P,V	250 mL	Resfriamento (em gelo)	Refrigeração a 4±2°C	48h
Demanda bioquímica de oxigênio -DBO	P,V	2 frascos de 1L	Resfriamento (em gelo)	Refrigeração a 4±2°C	14 dias
Fitoplâncton	P,V	100 mL	Lugol	Manter ao abrigo da luz	3 meses
Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos - HPA	VA	1L	Resfriamento (em gelo)	Refrigeração a 4±2°C	14 dias
Metais e semimetais	P,V	250 mL	HNO <sub>3</sub> até pH<2; resfriamento (em gelo)	Refrigeração a 4±2°C	6 meses; mercúrio: 28 dias
Na <sup>+</sup> , K <sup>+</sup> , Ca <sup>2+</sup> , Mg <sup>2+</sup>	P,V	100 mL	Resfriamento (em gelo)	Refrigeração a 4±2°C	N.R.
Nitrogênio amoniacal, nitrito, nitrato, nitrogênio orgânico total e nitrogênio total	P,V	250 mL	Resfriamento (em gelo)	Refrigeração a 4±2°C	7 dias
Óleos e graxas	VA boca larga	1L	HCl até pH<2; resfriamento (em gelo)	Refrigeração a 4±2°C	28 dias
Ortofosfato, fósforo total dissolvido e fósforo total	P,V	250 mL	Resfriamento (em gelo)	Refrigeração a 4±2°C	28 dias
Oxigênio -concentração	-	-	-	-	Imediatamente
Oxigênio -percentagem de saturação	-	-	-	-	Imediatamente
Potencial hidrogeniônico (pH)	-	-	-	-	Imediatamente
Profundidade	-	-	-	-	Imediatamente
Silicatos reativos	P,V	250 mL	Resfriamento (em gelo)	Refrigeração a 4±2°C	28 dias
Sólidos totais, dissolvidos e em suspensão	P,V	500 mL	Resfriamento (em gelo)	Refrigeração a 4±2°C	7 dias
Temperatura da água	-	-	-	-	Imediatamente

Variável	Recipiente	Quantidade de Amostra	Preservação	Armazenamento	Prazo de Validade
Turbidez	-	-	-	-	Imediatamente
Velocidade de corrente	-	-	-	-	Imediatamente
Zona eufótica	-	-	-	-	Imediatamente
Zooplâncton	P,V (250 mL)	Filtração de 100L de amostra	Formol	Manter ao abrigo da luz	Indeterminado

Legenda: P = Plástico; VA = vidro ambar; V = vidro; SP = saco plástico; N.R. = não referenciada

## 5.6 - ANÁLISES DOS DADOS

Os resultados de todos os parâmetros físicos, químicos e biológicos analisados serão apresentados na forma de gráficos, textos e tabelas. Serão feitas discussões sobre a variação espaço-temporal das estações do rio Madeira, dos tributários e do lago Cuniã. Além disso, serão feitas análises estatísticas descritivas, como média, mediana e desvio padrão, sempre que cabível para cada variável nessas três categorias de ambientes. Sempre que for pertinente, os resultados obtidos serão comparados aos seus respectivos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005, para água doce de Classe 2, destacando as estações que apresentarem valores fora dos valores previstos nesta resolução. Para a classificação do sedimento, na ausência de uma resolução específica, será utilizada como referência a Resolução CONAMA 454/2012, que estabelece diretrizes gerais para o gerenciamento do material a ser dragado em águas jurisdicionais brasileiras.

Para classificação da qualidade da água das estações amostradas será utilizado o Índice de Qualidade da Água (IQA), desenvolvido pela *American National Sanitation Foundation* e adaptado pela CETESB. O IQA é determinado pelo produto ponderado das qualidades de água correspondentes aos seguintes parâmetros: oxigênio dissolvido, coliformes fecais, pH, turbidez, sólidos totais, nitrogênio total, fósforo total, demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e temperatura. Vale destacar que, para efeito de cálculo do IQA para as estações amostradas, os coliformes fecais da fórmula serão substituídos pelos dados de *Escherichia coli*. Cada parâmetro possui um peso e um valor de qualidade correspondente, definido a partir de uma curva média de variação de qualidade. Os cálculos usados para calcular o IQA estão explicitados a seguir:

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

Onde:

- qi qualidade do i-ésimo parâmetro, um número entre 0 e 100, obtido da curva média de variação de qualidade, em função de sua concentração ou medida;
- wi peso correspondente ao i-ésimo parâmetro, um número entre 0 e 1, atribuído em função da sua importância para a conformação global de qualidade, sendo que o somatório de todos os wi é igual a 1.

O IQA varia em uma escala de 0 a 100, como é mostrado a seguir:

- Ótima ..... 79 < IQA ≤ 100
- Boa ..... 51 < IQA ≤ 79
- Regular ..... 36 < IQA ≤ 51
- Ruim ..... 19 < IQA ≤ 36
- Péssima ..... IQA ≤ 19

## 5.6.1 - Análises biológicas

Todos os organismos das comunidades aquáticas (fitoplâncton, zooplâncton, invertebrados bentônicos e macrófitas aquáticas) serão objeto das análises descritas a seguir.

### 5.6.1.1 - Riqueza de espécies

Será considerada a riqueza simples (S), ou seja, o número de taxa por campanha por estação de coleta.

### 5.6.1.2 - Densidade de organismos

As densidades de organismos foram calculadas em relação ao volume (fitoplâncton - ind/mL; zooplâncton - ind/L) ou área (invertebrados bentônicos e macrófitas - ind/m<sup>2</sup>) nas estações de coleta.

### 5.6.1.3 - Índice de diversidade específica e equidade

Diversidade de espécies é uma função do número de espécies de uma amostra, coleção ou comunidade (riqueza) e da distribuição dos indivíduos entre essas espécies (equidade, equitabilidade ou evenness). O índice utilizado para calcular a diversidade de espécies será o de Shannon (Shannon & Weaver, 1949) através da fórmula:

$$H' = -\sum p_i \log^2 p_i$$

Onde:  
 $p_i = n_i / N$   
 $n_i =$  nº total de indivíduos por espécie  
 $N =$  nº total de indivíduos

O resultado é dado em bit/ind, considerando:

Diversidade alta .....  $H > 3,0$

Diversidade média .....  $2,0 < H \leq 3,0$

Diversidade baixa .....  $1,0 < H \leq 2,0$

Diversidade muito baixa .....  $H \leq 1,0$

A equidade será calculada através da fórmula:

$$E = \frac{H'}{\ln S}$$

Onde:  
 $H' =$  índice de Shannon  
 $S =$  número total de espécies

O resultado varia entre 0 e 1, sendo os valores  $>0,5$  aqueles em que indivíduos estão bem distribuídos nas espécies.

### 5.6.1.4 - Diversidade alfa, beta e gama

Para avaliar as diversidades alfa, beta e gama serão consideradas somente as amostras quantitativas, devido à comparabilidade metodológica no esforço de quantificação e identificação das comunidades. Para diversidade beta será apresentada análise espacial em todos os relatórios, análise sazonal nos relatórios consolidados e interanual após o segundo ano de monitoramento. A diversidade regional (gama diversidade) será avaliada através da composição

(total de táxons presentes em todas as amostras). A diversidade local (alfa diversidade) será estimada através: da riqueza específica em cada estação, da diversidade específica e da equitabilidade.

A diversidade beta, que informa quão heterogêneo é o grupo de estações amostradas em relação à riqueza de espécies, será estimada a partir do índice  $\beta-1$  de Harrinson *et al.* (1982) conforme expresso a seguir:

$$\beta - 1 = \left[ \frac{\left( \frac{Y}{\alpha_{med}} \right) - 1}{N - 1} \right] \times 100$$

Onde:

- $\beta-1$  = taxa de intercâmbio de espécies
- $\gamma$  = gama diversidade
- $\alpha_{med}$  = riqueza de espécies média entre os sistemas
- $N$  = número de sistemas

## 5.7 - ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados abióticos e bióticos serão ponderados por meio de testes estatísticos com análises multivariadas. As variáveis abióticas de todas as estações e períodos do ciclo hidrológico amostrados serão submetidos à Análise de Componentes Principais (ACP). A ocorrência de organismos fitoplanctônicos também será avaliada por ACP, considerando o biovolume total do fitoplâncton no rio Madeira, tributários e lago Cuniã em relação às variáveis ambientais medidas na água, para todas as amostras. A análise de ACP será realizada de acordo com Pearson (1901) no software Canoco, versão 4.5.

As comunidades de zooplâncton, invertebrados bentônicos e macrófitas aquáticas serão submetidas a testes estatísticos de Análise de Correspondência Canônica (CCA). O zooplâncton será analisado em relação às variáveis ambientais medidas na água, em todas as estações e período do ciclo hidrológico amostrados; os invertebrados bentônicos com as variáveis medidas no sedimento e as macrófitas com as variáveis limnológicas medidas na água e os metais quantificados nas plantas.

## 5.8 - MONITORAMENTO EM TEMPO REAL

Para execução do monitoramento em tempo real foram instaladas duas estações de monitoramento da qualidade da água em tempo real no rio Madeira, a montante e a jusante do eixo da barragem da UHE Santo Antônio. A estação de montante está baseada em uma plataforma localizada próxima a margem direita, no limite do canteiro de obras (SAD69 63<sup>o</sup> 58' 5,06" w 8<sup>o</sup> 49' 52,49" S), e a de jusante na plataforma de captação de estação de tratamento de água do canteiro próximo à margem esquerda (SAD69 63<sup>o</sup> 55' 37,57" W 8<sup>o</sup> 46' 49,98" S).

As variáveis analisadas na subsuperfície são temperatura, condutividade, pH, oxigênio dissolvido e turbidez. Os resultados obtidos a cada 30 minutos serão armazenados em “datalogger” e acessados por telefonia celular a partir de um computador portátil. Tal frequência amostral permitirá o registro de séries de dados em curtos intervalos de tempo acumulados em longas séries históricas. Com o acúmulo das informações ao longo dos dias, meses e anos de monitoramento, será possível identificar no sistema as variações nictemerais, mensais e sazonais.

Serão utilizadas alternadamente quatro sondas multiparâmetros nas estações de montante e jusante, sendo duas utilizadas no monitoramento e duas em manutenção e calibração. Os modelos utilizados são DS5X, YSI 6820 v2 e YSI 6920 v2 com sensor óptico de oxigênio dissolvido e YSI 6820 v1 e YSI 6600 com sensor de oxigênio polarográfico de pulso rápido. As aferições e calibrações serão feitas em média com frequência quinzenal.

Os ruídos das leituras (“outliers”) de condutividade, oxigênio, pH e turbidez serão suprimidos com base no critério de variação de 4 vezes superior ao desvio padrão. Para as variáveis que, após a remoção dos “outliers”, continuarem apresentando ruído elevado durante alguns períodos será utilizado filtro da média móvel de 2 horas para supressão dos sinais não relacionados às leituras reais.

O sistema de monitoramento em tempo real poderá ser utilizado como um mecanismo de aviso prévio, permitindo ações preventivas, aos primeiros sinais de alterações da qualidade da água, antes que um eventual problema aconteça. As informações poderão ser transmitidas em tempo real pela internet, para que tomadores de decisão possam adotar providências no caso de alteração abrupta de algum parâmetro.

### 5.8.1 - Balsa-laboratório

A balsa-laboratório servirá de apoio logístico às campanhas de campo. Para construção da balsa-laboratório, foi contatado um fabricante de balsas no município de Porto Velho-RO. A balsa, de aproximadamente 144 m<sup>2</sup>, foi planejada e construída de forma a suportar a instalação de todos os equipamentos necessários para processamento e armazenamento de amostras, além da análise das variáveis prioritárias como coliformes e DBO. A balsa está ancorada a montante da barragem, tendo entrado em funcionamento em agosto de 2011.

### 5.8.2 - Relatórios

#### Relatórios Trimestrais Operação

Durante a fase de operação do reservatório, serão elaborados relatórios técnicos trimestrais apresentando descrição dos resultados obtidos, em cópia digital e impressa.

#### Relatório Consolidado Operação

Ao final de um ciclo hidrológico completo da fase de operação, será elaborado relatório técnico consolidado, apresentando introdução, objetivos, material e métodos, resultados, análises estatísticas, discussão, conclusões e recomendações, em cópia digital e impressa dos resultados obtidos em cada campanha. A finalização dos relatórios consolidados será de no mínimo 90 dias após a conclusão da última coleta de campo correspondente à fase em análise. Muitas variáveis analisadas demandam um longo prazo para conclusão do procedimento analítico. A identificação e contagem de mais de 30 amostras por campanha de organismos fitoplanctônicos, zooplanctônicos, bentônicos e de macrófitas aquáticas, requerem no mínimo 45 dias de trabalho intenso, pois cada amostra biológica gasta cerca de 4 horas para análise completa e deve ser preferencialmente desenvolvida sempre pelo mesmo grupo de analistas. Após este período, os dados levantados são minuciosamente conferidos, para posterior tratamento estatístico e elaboração dos gráficos. Dessa forma, para concluir todas essas etapas de análise e consolidação dos relatórios são necessários três meses após a última coleta.

## 6 - CRONOGRAMA

Ano	2012						2013												2014											
Programa de Monitoramento Limnológico e de Macrófitas Aquáticas	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Campanha de Campo - Coleta Sazonal																														
Monitoramento em Tempo Real																														
Relatórios Trimestrais Operação																														
Relatórios Consolidado Operação																														

## 7 - BASE LEGAL

O presente programa considera os objetivos e as diretrizes gerais estabelecidas pela Lei nº 9433/1997, da Política Nacional de Recursos Hídricos. Para fins de comparação da condição de qualidade da água serão utilizados os padrões definidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005. Para critérios de balneabilidade será utilizada a Resolução CONAMA nº 274/2000. Para análise de sedimentos será considerado o disposto na Resolução CONAMA nº 344/2004. Em pontos de captação de água para consumo humano será seguido o estabelecidos pela Portaria MS nº 518/2004. Este programa também considera o atendimento à Licença Prévia nº 251/2007, a Licença de Instalação nº 540/2008 e a Licença de Operação nº 1044/2011.

## 8 - EQUIPE TÉCNICA

A equipe técnica envolvida na execução do Monitoramento Limnológico e de Macrófitas Aquáticas da UHE Santo Antônio contará com biólogos especialistas em características físico-químicas da água, fitoplancton, zooplâncton, invertebrados bentônicos e macrófitas. Também contará com a presença de um modelista e um especialista em sistema de monitoramento em tempo real. O acompanhamento do trabalho será feito por limnólogos pesquisadores, com reconhecimento nacional e internacional na área de atuação. A seguir é apresentado o quadro da equipe completa diretamente envolvida no desenvolvimento dos trabalhos.

Profissional	Formação	Função	Registro Geral/ CTF IBAMA
Gina Luísa Carvalho Boemer	Bióloga doutora em Engenharia Ambiental (USP)	Coordenação Geral	CRBio 35253/04-D IBAMA 590812
João Durval Arantes Junior	Biólogo, mestre em Engenharia Ambiental (USP) e doutorando em Ecologia (UFSCar)	Coordenação do monitoramento limnológico	CRBio 35214/01-D IBAMA 3942539
Michele Ferreira Lima	Bióloga, mestre em Ecologia (UFJF)	Coordenação do laboratório de campo e elaboração dos relatórios	CRBio 62141/04-D IBAMA 4905761
Anderson da Rocha Gripp	Biólogo, mestre em Ecologia (UFRJ)	Elaboração dos relatórios	IBAMA 2444648
Luiz Evaristo	Engenheiro Florestal (FARO - RO)	Coordenação dos trabalhos de campo e manutenção dos sistemas de monitoramento em tempo real	IBAMA 4123523
Alcídio Culósio Filho	Técnico do Lab. de Limnologia (UFSCar)	Segurança nos trabalhos de campo e Coleta de macrófitas e organismos bentônicos	IBAMA 2344523
Fabio Roland	Biólogo, doutor e professor (UFJF)	Coordenação das análises químicas e físicas	CRBio 13718/04-D IBAMA 1522287
Nathan Oliveira Barros	Biólogo, mestre e doutorando (UFRJ)	Análise dos dados físicos e químicos	CRBio 57283/04-D IBAMA 1522257

Profissional	Formação	Função	Registro Geral/ CTF IBAMA
Raquel Fernandes Mendonça	Bióloga, mestre e doutoranda (UFRJ)	Análise dos dados físicos e químicos	CRBio 57282/04-D IBAMA 2604415
Rafael Marques Almeida	Biólogo, mestrando em Ecologia (UFJF)	Análise dos dados físicos e químicos	IBAMA 4785241
Vera Lúcia de Moraes Huszar	Bióloga, doutora e professorado Museu Nacional (UFRJ)	Coordenação dos estudos da comunidade fitoplanctônica	CRBio 000840 IBAMA 712191
Lucia Helena Sampaio da Silva	Bióloga, doutora e professora do Museu Nacional (UFRJ)	Análise da comunidade fitoplanctônica	CRBio 15314/02 IBAMA 504298
Eleonora Appel Nóbrega de Andrade	Bióloga, mestre em Botânica (UFRJ-MN)	Análise da comunidade fitoplanctônica	CRBio 44555/02 IBAMA 4956293
Odete Rocha	Bióloga, doutora e pesquisadora e docente (UFSCar)	Coordenação dos estudos das comunidades zooplanctônica, invertebrados bentônicos e macrófitas	
José Valdecir de Lucca	Biólogo doutor em Engenharia Ambiental (USP)	Análise da comunidade bentônica	CRBio 33913/01 IBAMA 2318023
Lidiane Cristina da Silva	Bióloga, mestranda em Ecologia (UFSCar)	Análise da comunidade zooplanctônica	-
Natália Felix Negreiros	Bióloga, mestre em Ecologia e Recursos Naturais (UFSCar)	Análise da comunidade zooplanctônica	-

Profissional	Formação	Função	Registro Geral/ CTF IBAMA
Renata Martins dos Santos	Bióloga, mestre em Ecologia e Recursos Naturais (UFSCar)	Análise da comunidade zooplanctônica	-
Wanderley Rodrigues Bastos	Biólogo, doutor, pesquisador e professor (UNIR)	Coordenação das análises de metais em sedimentos e macrófitas	CRBio 24432/02-D IBAMA 580668
Ronaldo de Almeida	Biólogo, doutorando (UFRJ)	Análises de metais em sedimentos e macrófitas	CRBio 52941/06-D IBAMA 660338
Roberta Carolina F. Galvão	Biólogo, mestranda (UNIR)	Análises de metais em sedimentos e macrófitas	CRBio 52934/06-D IBAMA 5001299
Dario Pires de Carvalho	Biólogo, mestre em Hidrobiogeoquímica (UNIR)	Análises de metais em sedimentos e macrófitas	CRBio 52942/06-D IBAMA 665014 >
Elisabete Lourdes do Nascimento	Biólogo, mestre e doutoranda (UFRJ)	Análises de metais em sedimentos e macrófitas	CRBio 52936/06-D IBAMA 3047056
Igor Bruno Barbosa de Holanda	Biólogo, mestrando (UNIR)	Análises de metais em sedimentos e macrófitas	CRBio 52935/06-D IBAMA 3042713
Marília Higino Mussy	Bióloga, mestrando (UNIR)	Análises de metais em sedimentos e macrófitas	CRBio 52944/06-D IBAMA 5001430

## 9 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AIDAR, E.; GAETA, S.A. *et al.* Ecosistema costeiro subtropical: nutrientes dissolvidos, fitoplâncton e clorofila-a e suas relações com as condições oceanográficas na região de Ubatuba, SP. Publicação Especial do Instituto Oceanográfico, 10: 9-43. 1993.

APHA. Standard methods for the examination of water and wastewater. 21 ed. American Public Health Association, Washington. 2005.

BIRD, D. F., PRAIRE, Y. T. Practical guidelines for the use of zooplankton length-weight regression equations. J. Plankton Res. 7: 955-960. 1985.

BOLTOVSKOY, D. Estimación de la cantidad de la agua filtrada. Em: Atlas del zooplâncton del Atlantico Sudoccidental. Boltovskoy, D. (Ed). INIDEP, 635: 87-93. 1981.

BONECKER, A.C.T., BONECKER, S.L.C. & BASSANI, C. Plâncton marinho. In: Pereira, R.C. & Soares-Gomes, A. Biologia Marinha. Rio de Janeiro: Interciência, p. 103-125. 2002.

BOTTRELL, H. H., DUNCAN, A., *et al.* A review of some problems in zooplankton production studies. Norw. J. Zool. 24: 419-456. 1976.

BRASIL. Governo Federal. Lei da Política Nacional de Recursos Hídricos n° 9433 de 1997.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria MS n° 518 de 2004.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional de Meio Ambiente, CONAMA. Resolução CONAMA n° 357 de 2005.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional de Meio Ambiente, CONAMA. Resolução CONAMA n° 274 de 2000.

DARWICH, A. J. Processos de decomposição de *Echinochloa polystachya* (H. B. K.) Hitchcock (Graminae = Poaceae), capim semi-aquático da várzea amazônica. Tese de Doutorado, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/Universidade Federal do Amazonas, Manaus, Amazonas. 327pp. 1995.

DE FILIPPO, R. Colonização e regressão da comunidade de macrófitas aquáticas no reservatório da UHE Serra da Mesa - Goiás. In: THOMAZ, S.M. & BINI.L. Ecologia e manejo de macrófitas aquáticas. Eduem - Maringá. 2005.

DEPAULA, F. C. F. Geoquímica de sedimentos do rio Madeira (RO) e de alguns afluentes da margem direita. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ, Brasil. 76p. 1990.

DUMONT, H. J., VAN DE VELDE, I., DUMONT, S. The dry weight estimate of biomass in a selection of cladocera, copepoda and rotifera from the plankton, periphyton and benthos of continental waters. *Oecologia (Berl.)* 19: 75-97. 1975.

GOLTERMAN, H. L. & F. A. KOUWE. Chemical budgets and nutrient pathways, pp. 85-140. In: Le Cren, E. D. & R. H. Lowe-McConnell (eds.) *The Functioning of Freshwater Ecosystems*, IBP 22. Cambridge University Press, London. 1980.

GOLTERMAN, H. L., CLYMO, R.S. & OHNSTAD, m.A. *Methods for Physical and Chemical Analysis of Fresh Waters*. 2nd ed. IBP Handbook nº 8. Blackwell Scientific Publications, Oxford. 214pp. 1978.

GRAHAM, L. & WILCOX, G. *Algae*. Upper Sadle River, Prentice Hall. 2000.

KOMÁREK, J., ANAGNOSTIDIS, K. *Cyanoprokariota*. Jena, Stuttgart: Süßwasserflora von Mitteleuropa, 548 p. 1998.

KREBS, C.J. *Ecological Methodology*. Second Edition. Benjamin Cumings Ed, New York. 620p. 1998.

LAMPARELLI, m. C. Graus de trófia em corpos d'água do estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento. Dissertação de Doutorado. São Paulo: Universidade de São Paulo. 235 p. 2004.

LEME ENGENHARIA, FURNAS CENTRAIS ELÉTRICAS, CONSTRUTORA NORBERTO ODEBRECHT S.A. "Aproveitamentos Hidrelétricos Santo Antônio e Jirau". Estudo de Impacto Ambiental- EIA. 2005.

LOURENÇO, S.O. *Cultivo de microalgas marinhas*. Princípios e aplicações. São Carlos, RiMa. 2006.

MACKERETH, F. J. H., J. HERON & J. F. TALLING. *Water Analysis: Some Revised Methods for Limnologists*. Freshwater Biological Association, Special Publication 36. 120pp. 1978.

MAGURRAN, A. E. *Measuring biological diversity*. Blackwell. 2004.

MANLY, B.F.J. The design and analysis of research studies. Cambridge: Cambridge University Press, 353 p. 1994.

NYBAKKEN, J. W. & BERTNESS, m. D. Marine biology. An ecological approach 6. San Francisco, Benjamin Cummings. 2005.

POMPÊO, m.L.M. As macrófitas aquáticas em reservatórios tropicais: aspectos ecológicos e propostas de monitoramento e manejo. In: Pompêo, m.L.M. (Ed) Perspectivas na Limnologia do Brasil. Gráfica e Editora União, São Luis, 105-119. 1999.

RODIER, J. L' analyse de l' eau. 6a ed. Paris, Bordas. 1136p. 1978.

ROUND, F.E.. In ROUND, F.E., CRAWFORD, R.M. & MANN, D.G. The Diatoms - Biology & Morphology of the genera, Cambridge University Press. 1990.

SASSI, R. & KUTNER, m.B.B. Variação sazonal do fitoplâncton da região do saco da Ribeira (Lat. 23° 30'S; Long. 45° 07'W), Ubatuba, Brasil. Boletim do Instituto Oceanográfico, 31 (2): 29-42. 1982.

SOBEK, S., TRANVIK, L., PRAIRIE, Y., KORTELAJINEN, P., COLE., J.J. Patterns and regulation of dissolved organic carbon: An analysis of 7500 widely distributed lakes. Limnology and Oceanography. 52(3) 1208-1219. 2007.

STRICKLAND, J. D. H. & PARSONS, T. R. A practical handbook of seawater analysis. 2<sup>nd</sup> ed. Bull. 167. Fish. Res. Bd. Canada, Ottawa. 310p. 1972.

THOMAZ, S.M. & BINI.L. Ecologia e manejo de macrófitas aquáticas. Eduem - Maringá. 2003.

UHELINGER, V. Étude statistique des méthodes de dénombrement planctonique. Arch. Sci., 17: 121-123. 1964.

UTERMÖHL, H. Zur vervollkommung der quantitativen phytoplankton methodik. Mitt. Int. ver. Theor. Angew. Limnol. 9: 1-38. 1958.

UTHERMOHL, H. Zur Vervollkomnung der quantitativen Phytoplankton - Methodik. Mitt. int. Ver. theor. Angew. Limnol., 9: 1-38. 1958.

WETZEL, R. G. & G. E., LIKENS. Limnological Analysis. W. B. Saunders Co. Philadelphia. 357pp. 2000.