

Não excluir esta página

UHE Santo Antônio do Rio Madeira

Plano de Trabalho para Monitoramento Limnológico de Macrófitas Aquáticas

Outubro de 2011



2382-00-PTR-RL-0001-04

Preencher os campos abaixo

Coordenador: Gina Boemer

Consultor:

Revisão Ortográfica por:

Data:

Formatado por: Solange Arruda

Data: 16 - maio - 2011

Última Gravação por:

Data: 04/10/2011
11:11

Obs: Impressão Frente e Verso

ÍNDICE

| | |
|-------------------------------------------------------|------------------------------|
| Apresentação..... | 1/78 |
| 1 - Introdução | 2/78 |
| 1.1 - Aproveitamentos hidrelétricos..... | 3/78 |
| 1.2 - Caracterização | 4/78 |
| 1.2.1 - Bacia..... | 4/78 |
| 1.2.2 - Área de influência direta e indireta | 7/78 |
| 1.2.3 - Climatologia | 8/78 |
| 1.2.4 - Pluviometria..... | 9/78 |
| 2 - Dados secundários..... | 10/78 |
| 2.1 - Histórico de estudos | 10/78 |
| 2.2 - Variáveis abióticas | 11/78 |
| 2.3 - Variáveis bióticas..... | 15/78 |
| 2.3.1 - Plâncton..... | 15/78 |
| 2.3.1.1 - Fitoplâncton..... | 15/78 |
| 2.3.1.2 - Zooplâncton | 22/78 |
| 2.3.2 - Invertebrados bentônicos..... | 24/78 |
| 2.3.3 - Macrófitas aquáticas | 26/78 |
| 3 - Objetivos | 28/78 |
| 4 - Metas | 30/78 |
| 5 - Metodologia..... | 32/78 |
| 5.1 - Frequência e malha amostral | 32/78 |
| 5.2 - Variáveis limnológicas | 39/78 |
| 5.3 - Coleta, conservação e análise das amostras..... | 46/78 |
| 5.3.1 - Variáveis abióticas..... | 48/78 |
| 5.3.1.1 - Elementos-traço | 50/78 |
| 5.3.1.2 - Biocidas | Errol Indicador não definido |

| | | |
|-------------|------------------------------------------------------|----------------------------------|
| 5.3.1.3 - | Sedimentos | 52/78 |
| 5.3.2 - | Variáveis bióticas | 53/78 |
| 5.3.2.1 - | Fitoplâncton..... | 54/78 |
| 5.3.2.2 - | Zooplâncton | 58/78 |
| 5.3.2.3 - | Isótopos | 60/78 |
| 5.3.2.4 - | Invertebrados bentônicos | 60/78 |
| 5.3.2.5 - | Macrófitas aquáticas | 61/78 |
| 5.3.2.5.1 - | Imagens de satélite dos estandes de macrófitas | 62/78 |
| 5.4 - | Análises dos dados | 66/78 |
| 5.4.1 - | Análises biológicas..... | 68/78 |
| 5.4.1.1 - | Riqueza de espécies..... | 68/78 |
| 5.4.1.2 - | Densidade de organismos..... | 68/78 |
| 5.4.1.3 - | Frequência de ocorrência | Erro! Indicador não definido./78 |
| 5.4.1.4 - | Abundância específica e abundância relativa | Erro! Indicador não definido./78 |
| 5.4.1.5 - | Índice de diversidade específica e equidade | 69/78 |
| 5.4.1.6 - | Diversidade alfa, beta e gama..... | 69/78 |
| 5.4.1.7 - | Dominância..... | 70/78 |
| 5.5 - | Análise estatística | 70/78 |
| 5.6 - | Monitoramento em tempo real | 71/78 |
| 5.6.1 - | Balsa-laboratório | 71/78 |
| 6 - | Cronograma | 74/78 |
| 7 - | Base legal | 75/78 |
| 8 - | Equipe técnica..... | 75/78 |
| 9 - | Referências bibliográficas..... | 78/78 |

Apresentação

Este Plano de Trabalho se propõe a realizar o monitoramento limnológico e de macrófitas aquáticas, durante as fases de enchimento e 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.

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, sendo os dois últimos destinados à análise da Licença de Operação (LO) nº 1044/2011.

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 canal e 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 são usuais e muito importantes em empreendimentos de geração de energia elétrica, como no caso das usinas hidrelétricas, pois permitem a identificação dos parâmetros biológicos 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, praticamente, o potencial de 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.

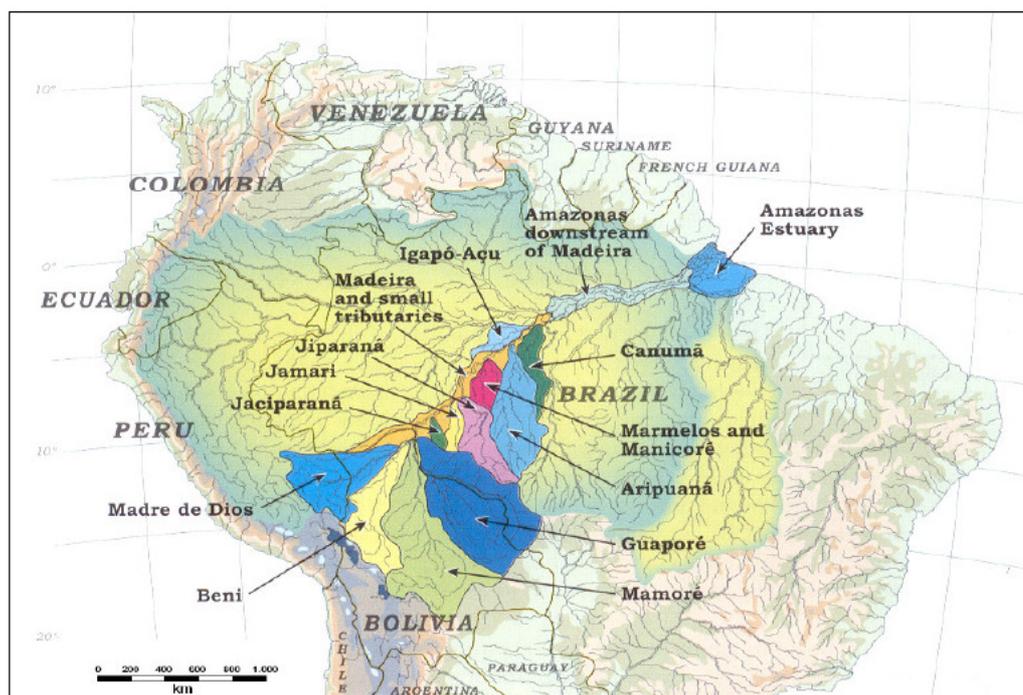
Dessa forma, deve-se, ainda, considerar que às potencialidades hidrelétricas dos Aproveitamentos de Jirau (3.300 MW) e Santo Antônio (3.150 MW) poderão agregar-se outros aproveitamentos hidrelétricos e todo um sistema hidroviário conjugado, que permitirá a integração sul-americana, em função da proximidade 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.

Essas considerações justificam o investimento dos consórcios nos estudos do rio Madeira, empresas detentoras do registro ativo concedido pela ANEEL em 2001 para o desenvolvimento dos estudos de Inventário e, posteriormente, dos estudos de Viabilidade, no trecho de 260 km localizado entre a Vila de Abunã, na divisa com a Bolívia, e a cachoeira de Santo Antônio, nas proximidades da cidade de Porto Velho, ambos no estado de Rondônia.

1.2 - CARACTERIZAÇÃO

1.2.1 - Bacia

A bacia hidrográfica do rio Madeira tem uma área total de aproximadamente 1,47 milhões de km², representa 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 ²) |
|---------------------------------|----------------------------------|
| 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, 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 m³/s, enquanto a vazão máxima diária registrada atingiu 48.570 m³/s em 14 de abril de 1984. A vazão mínima registrada ocorreu em setembro de 1995 atingindo cerca de 3.145 m³/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, na chamada cachoeira de 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 porte que nele deságua é o Jaci-Paraná, que drena uma área da ordem de 15.000 km², 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, desaguando o primeiro a cerca de 50 km a montante da cidade de Itacoatiara, e o segundo, que se liga ao rio Maués, desaguando a montante de Parintins (EIA-Tomo B 1/8, pgs. III-45,46).

1.2.2 - Área de influência direta e indireta

A Área de Influência Indireta abrange a totalidade das sub-bacias hidrográficas de contribuição lateral às áreas de inundação dos dois empreendimentos Hidrelétricos e também a área das sub-bacias de contribuição direta numa faixa de 12 km a jusante do barramento de Santo Antônio e 5 km do remanso de Jirau.

Os limites geográficos da All totalizam uma área aproximada de 23.520 km² cuja descrição é dada a seguir. Pela margem esquerda do rio Madeira, o limite inicia-se na travessia da balsa na cidade de Abunã, abrangendo toda a linha de cumeada das bacias hidrográficas que drenam para esta margem, ao longo da serra do Candomblé e da serra dos Três Irmãos, e que integra parte do limite interestadual de Rondônia e Amazonas. Já nas proximidades da cidade de Porto Velho, abaixo do eixo de Santo Antônio, o limite interestadual é substituído pelo limite da bacia de contribuição de um pequeno afluente que deságua nas proximidades do terminal portuário da PETROBRAS. A partir daí, já na margem direita do rio Madeira, segue pelo divisor de águas da bacia hidrográfica do rio Jamari até a serra dos Pacaás Novos, situado na porção sul da área. Segue então por essa serra, no sentido nordeste, até tomar novamente os divisores de água das bacias hidrográficas do rio Mutum-Paraná e dos afluentes diretos da margem direita do rio Madeira, situados a montante da travessia de balsa em Abunã, onde termina o perímetro da Área de Influência Indireta. Esta área engloba toda a bacia hidrográfica dos rios Castanho, Cotia/Mutum-Paraná, Jaci-Paraná e Caracol, pela margem direita, e dos rios São Lourenço e Caripunás pela margem esquerda do rio Madeira.

A Área de Influência Direta incorpora o espaço geográfico susceptível aos efeitos diretos da implantação da infraestrutura necessária à construção e operação dos empreendimentos: áreas previstas de inundação dos reservatórios em suas cotas máximas, os canteiros de obras, as áreas de empréstimo e botaforas, além das vias de acesso. Esses espaços incluem, também, as áreas destinadas à implantação das Áreas de Preservação Permanente (APP), que correspondem a uma faixa de 100 metros em projeção horizontal em toda a extensão dos dois reservatórios. A AID do UHE Santo Antônio corresponde a 26.922ha, com 16.531ha de calha do rio e lagoas marginais.

1.2.3 - 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).

1.2.4 - Pluviometria

A precipitação média anual é em torno de 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>).

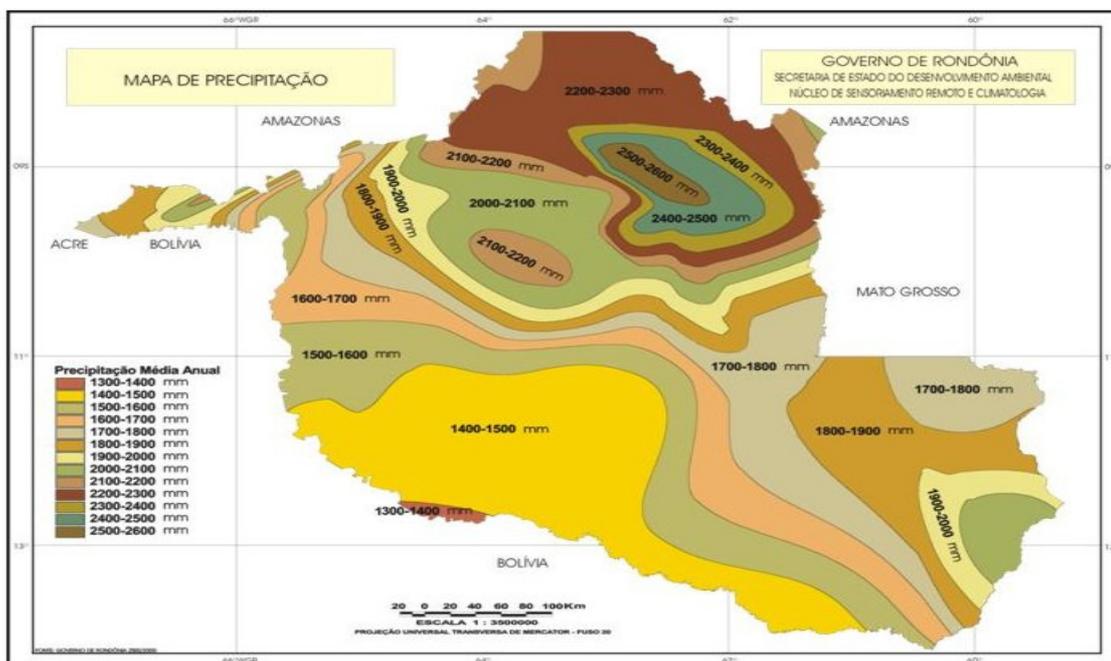


Figura 1-2 - Pluviometria do Estado de Rondônia

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 - DADOS SECUNDÁRIOS

O principal estudo utilizado como fonte dos dados secundários foi o Estudo de Impacto Ambiental - EIA intitulado “Aproveitamentos Hidrelétricos Santo Antônio e Jirau”, elaborado por FURNAS Centrais Elétricas S.A., Construtora Norberto Odebrecht S.A. e Leme Engenharia Ltda. A Complementação e Adequação às Solicitações do IBAMA, de 2006, incorporado como TOMO E do EIA, contém o atendimento as solicitações expressas no Ofício no 135/2006, de 24 de fevereiro de 2006 - Pedido de Complementação e Adequação dos Estudos de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental - EIA/RIMA dos AHEs Santo Antônio e Jirau.

Os resultados apresentados como dados secundários referem-se ao EIA, a não ser quando citada outra fonte.

2.1 - HISTÓRICO DE ESTUDOS

Os trabalhos existentes na bacia do rio Madeira, especialmente os relativos ao trecho a montante de Porto Velho, são, em sua maioria, estudos regionais que abrangem todo o território de Rondônia ou, ainda, espaços mais amplos, que fazem parte da região conhecida como “Amazônia Brasileira”. Estudos específicos para essa bacia foram realizados por FURNAS e ODEBRECHT em 2002, responsáveis pelos Estudos de Inventário Hidrelétrico do Rio Madeira, e tornaram-se a fonte de informação básica para os estudos de viabilidade ambiental do AHEs Jirau e Santo Antônio.

Além do Inventário Hidrelétrico do rio Madeira foram realizados levantamentos de informações na Secretaria de Meio Ambiente de Rondônia - SEDAM, que cedeu cópia de todos os estudos produzidos para o Zoneamento Socioeconômico e Ecológico da Rondônia; no Sistema de Proteção da Amazônia - SIPAM, obtendo-se o banco de dados dos levantamentos de recursos naturais efetuados pela Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - FIBGE, no âmbito do Projeto SIVAM; na Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM, para obtenção do Zoneamento Ecológico-Econômico Brasil-Bolívia trecho rio Abunã-Vale do rio Guaporé.

Levantamentos em instituições de ensino e pesquisa da região amazônica e em sites relativos à Amazônia e de instituições estaduais complementaram os dados existentes para a elaboração do diagnóstico ambiental dos estudos de viabilidade dos AHEs Santo Antônio e Jirau.

Há ainda o documento de 2006 elaborado para o Ministério Público do Estado de Rondônia pela COBRAPE intitulado: “Relatório de Análise do Conteúdo dos Estudos de Impacto Ambiental (EIA) e do Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) dos Aproveitamentos Hidrelétricos de Santo Antônio e Jirau, no rio Madeira, Estado de Rondônia”. O trabalho em sua Parte B Rev 1, denominado

“Pareceres técnicos dos especialistas setoriais Aspectos Físicos e Bióticos”, de autoria dos Professores Drs. José Galízia Tundizi e Takako Matsumura-Tundisi, traz uma abordagem crítica do EIA / RIMA com relação aos temas relacionados à limnologia. Outro documento recente de fevereiro de 2007 de autoria de Carlos E. m. Tucci, encomendado pelo IBAMA, intitula-se “Análise dos Estudos Ambientais dos Empreendimentos do rio Madeira”.

2.2 - VARIÁVEIS ABIÓTICAS

Serão descritos a seguir os resultados presentes no EIA-RIMA da AHE Santo Antônio e Jirau (Leme, 2005), cujas cinco campanhas de campo foram realizadas em períodos hidrológicos distintos entre 2003 e 2004, caracterizando-se as fases de enchente, águas altas, vazante e águas baixas.

A análise dos perfis verticais de temperatura da água, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica e pH realizados na calha central e margens esquerda e direita do rio Madeira evidenciaram a ausência de variabilidade espacial bem definida, indicando uma homogeneidade na massa de água presente no rio ao longo das diferentes fases do ciclo hidrológico. Ou seja, os referidos perfis não indicaram a presença de ambientes quimicamente diferenciados nas margens do rio devido à influência dos afluentes nas condições hídricas do Madeira. Assim sendo, o EIA-RIMA da AHE Santo Antônio e Jirau se restringiu a apresentar dados relativos à calha central, considerados representativos do sistema como um todo (Leme, 2005).

No rio Madeira as variações diárias de temperatura predominam sobre as variações anuais. O comportamento sazonal da temperatura da água obedeceu a um padrão bem definido, com valores mais altos no verão (29,6 °C rio Madeira e 30,9 °C rios Abunã e Jaci-Paraná), que na região se estende de novembro a março, abrangendo, portanto as fases de enchente e cheia na bacia do rio Madeira. Os menores valores (24,4 °C rio Madeira e 23,6 °C rio Abunã) foram observados nas fases de vazante e seca (maio a julho), que corresponde ao inverno na região, caracterizado inclusive pela ocorrência do fenômeno da “friagem” e o consequente resfriamento da coluna de água.

O teor de oxigênio dissolvido no rio Madeira e tributários mostrou considerável uniformidade na coluna de água e uma sazonalidade bem definida, com os níveis mais baixos de oxigenação observados durante as fases de cheia e vazante, constatando-se aumento nesses níveis associados às fases de seca e enchente. De modo geral, os ambientes apresentaram um alto grau de oxigenação durante todo o período de estudo, tanto nas águas superficiais como nas camadas mais profundas, muitas vezes com valores acima de 100% de saturação, observada com frequência no rio Madeira a jusante das grandes cachoeiras e em alguns afluentes (São Simão e

Mutum-Paraná) na vazante. A alta oxigenação do fundo, em decorrência da dinâmica fluvial, impede a formação de uma camada anóxica que possibilitaria, por sua vez, a retenção de nutriente e íons nos sedimentos.

As concentrações médias de oxigênio dissolvido oscilaram em torno de 5-7 mg/L durante o ciclo hidrológico, sendo ligeiramente maior no rio Madeira (6,15 mg/L) do que nos afluentes (5,41 mg/L). O oxigênio presente nesses rios, certamente difere quanto à origem, podendo-se atribuir as elevadas concentrações nos afluentes à produção fitoplanctônica quando as condições lóxicas são menos pronunciadas. No rio Madeira no trecho entre Guajará Mirim e Porto Velho o desnível do rio de cerca de 70 metros favorece a oxigenação.

A condutividade elétrica mostrou um padrão sazonal bem definido, caracterizado pela tendência decrescente em seus valores ao longo das fases de cheia e vazante, com os maiores índices de condutância registrados na seca e enchente. No rio Madeira, a condutividade elétrica mostra índices médios oscilando entre 60-90 $\mu\text{S}25/\text{cm}$, e média global de 72,9 $\mu\text{S}25/\text{cm}$ para o período de estudo. Nos tributários, o valor médio global foi de 9,5 $\mu\text{S}25/\text{cm}$ para índices médios oscilando entre 5,3 $\mu\text{S}25/\text{cm}$ (rio Cotia) e 13,7 $\mu\text{S}25/\text{cm}$ (rio Jaci-Paraná). A ligeira diferença nos valores da condutividade entre os tributários e a acentuada diferença destes com relação ao Madeira são associadas às características geoquímicas nas respectivas bacias de captação.

A transparência da água do rio Madeira, com valores entre 0,05 e 0,15 m, situa-se no limiar ou abaixo do limite inferior daqueles considerados típicos para rios de água branca, da ordem de 0,15 a 0,20 m, revelando as condições extremas de visibilidade presentes no ambiente. A turbidez oscilou de 106 UFT (enchente) a 80 (seca). A penetração da luz foi menor que 2% da coluna de água, correspondente a zona eufótica de aproximadamente 30 cm. Nos tributários, os valores médios de transparência oscilaram entre 0,44 m (rio Abunã) e 1,65 m (rio Cotia). A dinâmica sazonal com relação a turbidez foi bastante nítida, com os maiores índices registrados no período de cheia (55 UFT rios Jaciparaná e Abunã) e os menores na enchente (2 UFT igarapé São Simão, rios Abunã e Cotia).

O padrão de variação temporal da alcalinidade foi correlacionado positivamente ao da condutividade elétrica no rio Madeira, indicativo de que a fração aniônica mais importante é constituída de ácidos fracos, principalmente o bicarbonato. Nos tributários a relação entre a alcalinidade e a condutividade não foi significativa. No rio Madeira, a alcalinidade mostrou valor médio de 26,4 mg/L, para uma amplitude de variação de 23-31 mg/L; nos tributários, a alcalinidade média foi de 7,6 mg/L, para uma amplitude de variação de 3-15 mg/L.

O pH também mostrou distribuição vertical relativamente uniforme na coluna de água, mais evidente nos tributários que no rio Madeira. Seu padrão sazonal evidenciou maiores índices durante as fases de seca e enchente, quando os valores situaram-se do lado alcalino da neutralidade no rio Madeira (6,8-7,3), e na faixa de levemente ácido a neutro nos tributários (5,4-6,5). Os menores índices foram observados nas fases de enchente e vazante, com os valores do situando-se no lado ácido da neutralidade no rio Madeira (6,1-7,0) e apresentando caráter ácido variando de leve a acentuado nos tributários (4,4-6,4).

A demanda bioquímica (DBO) e química (DQO) de oxigênio apresentaram, em média, grande variabilidade na escala sazonal e espacial, de acordo com a época do ciclo hidrológico e com o rio relacionado. Diminuíram da cheia para a seca, com menores valores na seca e enchente. Os maiores consumos por via bioquímica foram registrados na vazante e cheia. O rio Madeira apresentou maior DQO e menor consumo bioquímico de oxigênio em comparação com os tributários. De modo geral, verifica-se que o oxigênio presente no rio Madeira e tributários representa menos da metade (18% a 30%) das demandas bioquímica e química das águas, implicando num considerável déficit potencial de oxigênio. No entanto, estes valores são biologicamente similares aos encontrados nas águas amazônicas, nas quais o déficit de oxigênio parece ser uma característica intrínseca.

As concentrações de sólidos em suspensão apresentaram clara variabilidade sazonal no rio Madeira, com o pico máximo ocorrendo na cheia e o mínimo na seca, tanto para a fração fixa (inorgânica) como volátil (orgânica). Nos tributários, a fração fixa apresentou padrão inverso àquele observado no rio Madeira, enquanto que a fração volátil apresentou padrão flutuante. Observa-se a dominância da fração fixa (210-1.377 mg/L) sobre a volátil (34-209 mg/L) no rio Madeira, enquanto que nos tributários a fração volátil (7-93 mg/L) domina sobre a fixa (5-78 mg/L).

Com base nos valores de cátions totais, as águas investigadas podem ser classificadas como do tipo branca (rio Madeira) e clara (tributários). Do ponto de vista químico, a água do rio Madeira pode ser caracterizada como bicarbonatada e ligeiramente tamponada devido ao seu caráter levemente ácido a neutro e riqueza relativamente pronunciada no teor de cálcio. Por outro lado, as águas dos tributários, devido aos baixos valores de cálcio e magnésio, podem ser caracterizadas como não carbonatadas e extremamente não tamponadas. O rio Madeira reflete as condições geoquímicas e litológicas do substrato de suas nascentes (Cordilheira dos Andes), onde a presença de rochas sedimentares de ambiente marinho e evaporitos levam a um conteúdo relativamente alto em eletrólitos e de íons metais alcalinos terrosos (Ca^{2+} e Mg^{2+}) (STALLARD, 1985).

O teor de ferro total detectado nos rios investigados foi relativamente alto, apresentando pouca variabilidade espacial e sazonal. De modo geral, os valores médios situaram-se abaixo de 2 mg/L no rio Madeira, a exceção do pico de máximo de distribuição observado na seca (4,6 mg/L). Nos tributários, os seus teores situaram-se abaixo de 1 mg/L, destacando o pico máximo de distribuição (3,2 mg/L) observado no rio Jaci-Paraná na enchente. O teor da fração dissolvida foi extremamente baixo (0,15 mg/L) em todos os ambientes investigados.

As concentrações dos elementos-traço mensurados situaram-se frequentemente no limiar ou abaixo do limite de quantificação do método aplicado, a exceção dos teores de chumbo detectados na seca (0,04-0,07 mg/L), os quais situaram-se acima do limite preconizados para águas de Classe 2 (0,03 mg/L) da Resolução CONAMA 357/2005 e, eventualmente, do padrão de potabilidade (0,05 mg/L) estabelecido pelo Ministério da Saúde. De modo geral, o alumínio esteve praticamente ausente das águas do Madeira, o chumbo e o manganês foram detectados eventualmente no rio Madeira e tributários, sendo que somente o estanho foi detectado em todas as estações de coleta.

O suprimento de fósforo nos rios investigados foi dominado pela fração particulada (70%), que implica numa contribuição extremamente baixa (<30%) das frações dissolvidas no transporte de fósforo total. Por sua vez, o suprimento de nitrogênio foi largamente dominado pela fração orgânica (80-90%), de modo que o transporte pela fração inorgânica foi 20%, com maior contribuição do nitrato. O silicato apresentou concentrações expressivas no rio Madeira (3,6-7,4 mg/L), e relativamente baixas nos tributários (<1,0 mg/L), a exceção do rio Jaci-Paraná (1,4-2,7 mg/L).

O carbono orgânico dissolvido (COD) mostrou grande variabilidade sazonal e padrão claro de distribuição ao longo do tempo, com os maiores índices na cheia e os menores na seca, mais acentuado no rio Madeira. De modo geral, as concentrações médias de COD detectadas no rio Madeira (15 mg/L) e tributários (8,5 mg/L) situaram-se na faixa de variação atribuída aos rios tropicais (2-15 mg/L). O excelente ajuste linear do COD com o sólido suspenso total sugere que a matéria orgânica presente no rio Madeira é, primariamente, de origem alóctone e proveniente principalmente da região Andina da bacia.

Ao longo do ciclo hidrológico a carga de sólidos em suspensão transportada pelo rio Madeira foi, em média, $1.009.793 \pm 996.769$ ton/dia. A carga de íons foi de 73.919 ± 40.446 ton/dia, sendo que os ânions contribuíram com 78% desse total e os cátions com os 22% remanescentes. As cargas de N, P e Si transportadas foram de respectivamente 86 ± 51 ton/dia, 8.590 ± 6.284 ton/dia e 8.115 ± 5.122 ton/dia. O transporte de COD, por sua vez, foi de 26.612 ± 21.395

ton/dia. Deve-se ressaltar que a água do rio Madeira alimenta os corpos de águas que drenam sua planície de inundação, particularmente no seu trecho médio-baixo, especialmente em épocas de cheia através do extravasamento do seu canal fluvial.

Diversas pesquisas têm evidenciado a importância da entrada de águas ricas em nutrientes (nitrogênio e fósforo) e sais minerais (cálcio e magnésio) para a produção primária e biomassa das comunidades vegetais (fitoplâncton, perifiton e macrófitas aquáticas) nos lagos de várzea amazônicos. A característica chave da várzea que leva a sua alta produtividade é a retenção e reciclagem eficiente dos nutrientes oriundos do influxo fluvial (pulso de inundação), sendo que os lagos de várzea são importantes sítios de produção (primária) de matéria orgânica para os níveis tróficos superiores.

2.3 - VARIÁVEIS BIÓTICAS

2.3.1 - Plâncton

Modificações na composição química da água decorrentes de ações antrópicas vêm sendo observadas durante décadas no Brasil e no mundo. Nota-se que essas modificações afetam as comunidades planctônicas e, conseqüentemente, a produção primária e secundária do ecossistema. Diversos fatores, principalmente, a combinação da disponibilidade de nutrientes dissolvidos e luminosidade, proporcionam mudanças na estrutura do plâncton e favorecem diretamente o crescimento de espécies fitoplanctônicas (Nybakken & Bertness, 2005). As variações quali-quantitativas na composição das espécies interferem na produção primária e influenciam as teias tróficas locais (Sassi & Kutner, 1982).

2.3.1.1 - Fitoplâncton

O fitoplâncton é considerado o principal grupo de produtores primários aquáticos, sendo responsável por até 90% da produção total. As macroalgas, macrófitas aquáticas e o microfítobentos, representam os outros principais grupos que contribuem, em menor escala, com a produção primária (Lourenço, 2006).

Segundo Graham & Wilcox (2000) as microalgas possuem grandes diferenças ecológicas, morfológicas, fisiológicas, bioquímicas entre si, estando distribuídas em divisões (ou grupos), sendo os principais: Ochrophyta (= Bacillariophyta); Dinophyta (= Pirrhophyta); Chloroxybacteria (= Cianobactéria); Prochlorofíceas; Glaucophyta; Euglenophyta; Cryptophyta; Prymnesiophyta (= Haptophyta); Eustigmatofíceas; Chlorophyta; Chromophyta; Chrysophyta.

Do total dos 347 taxa identificados, 24,8% (86 taxa) foram exclusivos do rio Madeira, 18,4% (64 taxa) exclusivos dos tributários e 56,8% (197 taxa) tiveram ocorrência comum. A comunidade fitoplanctônica do rio Madeira apresentou-se constituída por 283 taxa enquanto que nos tributários foi ligeiramente inferior, 261 taxa. Tanto para o rio Madeira quanto para os tributários ocorreu predomínio de Chlorophyta.

Em termos gerais, as maiores densidades foram observadas nos tributários, oscilando entre 1.719 ind/L (rio Abunã) e 23.140 ind/L (rio Mutum-Paraná). No rio Madeira variou de 2.726 ind./L (MAD 10) a 9.384 ind/L (MAD 50). Em termos gerais, a comunidade fitoplanctônica apresentou densidades máximas na enchente e mínimas na seca.

A biomassa fitoplanctônica estimada por meio das concentrações de clorofila a apresentou valores baixos no rio Madeira, oscilando entre 0,4 µg/L e 4,6 µg/L, com uma média de $2,1 \pm 1,4$ µg/L. Nos tributários observa-se um aumento no teor do pigmento, sendo seus valores mínimos e máximos na ordem de 1,1 µg/L e 9,0 µg/L, com um valor médio de $4,2 \pm 2,1$ µg/L. Os maiores teores do pigmento foram registrados no rio Abunã e Jaci-Paraná. De modo geral, a biomassa foi em média de 3 a 5 vezes maior na seca do que na cheia.

Na Área de Abrangência Regional, foram identificados 371 taxa, representados por 9 classes, 107 gêneros, 335 espécies, 60 variedades não típicas de suas respectivas espécies (**Quadro 2-1**). As clorofíceas dominaram com 68,46% do total de taxas identificados, seguidas pelas bacilariofíceas com 13,75%, cianobactérias com 7,01%, euglenofíceas com 5,66%, crisofíceas com 2,96% e por fim, as dinofíceas com representatividades de apenas 1,89% do total de taxas identificados (Leme, 2005).

**Quadro 2-1 - Lista de espécies de fitoplâncton da Área de
Abrangência Regional dos AHEs Santo Antônio e Jirau, no rio Madeira (Leme, 2005).**

| | |
|----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| DIVISÃO CHLOROPHYTA | DIVISÃO EUGLENOPHYTA |
| CLASSE CHLOROPHYCEAE | CLASSE EUGLENOPHYCEAE |
| ORDEM CHLOROCOCCALES | ORDEM EUGLENALES |
| <i>Ankistrodesmus gracilis</i> | <i>Astasia acus</i> |
| <i>Botryococcus braunii</i> | <i>Astasia klebsii</i> |
| <i>Coelastrum cambricum</i> | <i>Euglena acus</i> |
| <i>Coelastrum reticulatum</i> | <i>Euglena oxyuris</i> |
| <i>Coelastrum skujae</i> | <i>Euglena spirogyra</i> |
| <i>Eremosphaera viridis</i> | <i>Lepocinclis fusiformis</i> |
| <i>Golenkiniopsis solitaria</i> | <i>Lepocinclis ovum</i> |
| <i>Nephrocytium agardhianum</i> | <i>Lepocinclis salina</i> |
| <i>Pediastrum duplex</i> | <i>Lepocinclis teres</i> |
| <i>Pediastrum duplex</i> var. <i>subgranulatum</i> | <i>Phacus longicauda</i> |
| <i>Pediastrum duplex</i> var. <i>typicum</i> | <i>Phacus longicauda</i> var. <i>maior</i> f. <i>insecta</i> |
| <i>Pediastrum simplex</i> | <i>Phacus myersi</i> f. <i>minor</i> |
| <i>Pediastrum tetra</i> var. <i>tetraodon</i> | <i>Phacus orbicularis</i> |
| <i>Scenedesmus acuminatusecornis</i> | <i>Phacus platalea</i> |
| <i>Scenedesmus ecornis</i> | <i>Strombomonas ensifera</i> |
| <i>Scenedesmus opoliensis</i> | <i>Strombomonas verrucosa</i> |
| <i>Scenedesmus perforatus</i> | <i>Trachelomonas acanthophora</i> |
| <i>Scenedesmus quadricauda</i> | <i>Trachelomonas armata</i> var. <i>gordeievi</i> |
| <i>Sphaerocystis schroeteri</i> | <i>Trachelomonas armata</i> var. <i>longispina</i> |
| <i>Tetraedron incus</i> | <i>Trachelomonas armata</i> var. <i>steinii</i> |
| ORDEM VOLVOCALES | <i>Trachelomonas armata</i> var. <i>sparcigranosa</i> |
| <i>Eudorina elegans</i> | <i>Trachelomonas australica</i> |
| <i>Eudorina uniccoca</i> | <i>Trachelomonas dastuguei</i> |
| <i>Gonium pectorale</i> | <i>Trachelomonas hispida</i> |
| <i>Pandorina morum</i> | <i>Trachelomonas kelloggii</i> |
| <i>Platydorina caudata</i> | CLASSE EUGLENOPHYCEAE |
| <i>Volvox aureus</i> | ORDEM EUGLENALES |
| ORDEM ULOTRICHALES | <i>Trachelomonas megalacantha</i> |
| <i>Rhizoclonium</i> sp | <i>Trachelomonas megalacantha</i> var. <i>crenulatocollis</i> |
| CLASSE OEDOGONIOPHYCEAE | <i>Trachelomonas oblonga</i> var. <i>attenuata</i> |
| ORDEM OEDOGONIALES | <i>Trachelomonas pulchra</i> |
| <i>Bulbochaete</i> sp | <i>Trachelomonas superba</i> |
| <i>Geminella minor</i> | <i>Trachelomonas volvocinax</i> |
| <i>Oedogonium</i> sp | DIVISÃO CHROMOPHYTA |
| CLASSE ZYGEMAPHYCEAE | CLASSE CHRYSOPHYCEAE |
| ORDEM DESMIDIALES | ORDEM OCHROMONADALES |
| <i>Actinotaenium globosum</i> | <i>Dinobryon sertularia</i> |
| <i>Actinotaenium turgidum</i> | <i>Mallomonas acaroides</i> |
| <i>Actinotaenium wollei</i> | <i>Mallomonas tonsurata</i> |
| <i>Amscotia mira</i> | CLASSE BACILLARIOPHYCEAE |
| <i>Bambusina brebissonii</i> | ORDEM COSCINODISCALES |
| <i>Closterium abruptum</i> | <i>Aulacoseira granulata</i> var. <i>angustissima</i> |

| DIVISÃO CHLOROPHYTA | DIVISÃO EUGLENOPHYTA |
|----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| <i>Closterium aciculare</i> d | <i>Aulacoseira granulata</i> var. <i>granulata</i> x |
| <i>Closterium bacillum</i> | <i>Aulacoseira herzogii</i> |
| <i>Closterium cynthia</i> | <i>Aulacoseira muzanensis</i> |
| <i>Closterium diana</i> e | <i>Cyclotella rossii</i> |
| CLASSE ZYGNEMAPHYCEAE | ORDEM DIATOMALES |
| ORDEM DESMIDIALES | <i>Fragilaria nanana</i> |
| <i>Closterium diana</i> e var. <i>brevius</i> | <i>Fragilaria tenera</i> |
| <i>Closterium diana</i> e var. <i>compressum</i> | <i>Synedra acus</i> x |
| <i>Closterium ehrenbergii</i> | <i>Synedra goulardii</i> var. <i>fluviatilis</i> |
| <i>Closterium ehrenbergii</i> var. <i>angustum</i> | <i>Synedra ulna</i> |
| <i>Closterium gracile</i> var. <i>gracile</i> x | <i>Tabellaria fenestrata</i> |
| <i>Closterium gracile</i> var. <i>elongatum</i> | <i>Tabellaria fenestrata</i> var. <i>asterionelloides</i> |
| <i>Closterium juncidum</i> | <i>Tabellaria flocculosa</i> |
| <i>Closterium kuetzingi</i> ix | <i>Terpsinoe musica</i> |
| <i>Closterium lineatum</i> | ORDEM EUNOTIALES |
| <i>Closterium lunula</i> | <i>Actinella brasiliensis</i> |
| <i>Closterium lunula</i> var. <i>concavum</i> | <i>Actinella mirabilis</i> |
| <i>Closterium lunula</i> var. <i>intermedium</i> | <i>Eunotia asterionelloides</i> |
| <i>Closterium macilentum</i> | <i>Eunotia bilunaris</i> |
| <i>Closterium moniliferum</i> | <i>Eunotia camelus</i> |
| <i>Closterium moniliferum</i> var. <i>submoniliferum</i> | <i>Eunotia didyma</i> var. <i>claviculata</i> |
| <i>Closterium nasutum</i> | <i>Eunotia diodon</i> |
| <i>Closterium nematodes</i> var. <i>nematodes</i> | <i>Eunotia flexuosa</i> |
| <i>Closterium parvulum</i> | <i>Eunotia glacialis</i> |
| <i>Closterium peracerosum</i> | <i>Eunotia lineolata</i> |
| <i>Closterium porrectum</i> | <i>Eunotia lunaris</i> |
| <i>Closterium praelongum</i> var. <i>brevius</i> | <i>Eunotia monodon</i> var. <i>monodon</i> x |
| <i>Closterium pseudolunula</i> var. <i>concavum</i> | <i>Eunotia paralela</i> |
| <i>Closterium regulare</i> | <i>Eunotia praerupta</i> |
| <i>Closterium regulare</i> f. <i>minor</i> | <i>Eunotia triodon</i> |
| <i>Closterium setaceum</i> x | <i>Eunotia zygodon</i> |
| <i>Closterium subulatum</i> | CLASSE BACILLARIOPHYCEAE |
| <i>Closterium venus</i> var. <i>incurvum</i> | ORDEM NAVICULALES |
| <i>Closterium turgidum</i> | <i>Cymbella amphycephalla</i> |
| <i>Cosmarium decoratum</i> | <i>Cymbella laevis</i> x |
| <i>Cosmarium denticulatum</i> var. <i>triangulare</i> | <i>Cymbella tumidula</i> |
| <i>Cosmarium obsoletum</i> | <i>Frustulia rhomboides</i> |
| <i>Cosmarium ornatum</i> | <i>Frustulia rhomboides</i> var. <i>saxonica</i> |
| <i>Cosmarium subspeciosum</i> | <i>Gomphonema augur</i> |
| <i>Cylindrocystis brebissonii</i> | <i>Gomphonema acuminatum</i> |
| <i>Desmidium aptogonum</i> var. <i>acutius</i> | <i>Gomphonema gracile</i> |
| <i>Desmidium baileyi</i> f. <i>tetragonum</i> | <i>Gyrosigma acuminatum</i> |
| <i>Desmidium cylindricum</i> | <i>Hantzschia amphioxys</i> |
| <i>Desmidium laticeps</i> | <i>Navicula levanderii</i> |
| <i>Desmidium quadratum</i> | <i>Navicula tridentula</i> |
| <i>Desmidium swartzii</i> var. <i>amblyodon</i> | <i>Neidium bissulcatum</i> |
| <i>Euastrum evolutum</i> var. <i>perarnatum</i> | <i>Neidium septentrionale</i> |

| DIVISÃO CHLOROPHYTA |
|-----------------------------------------------------------------|
| <i>Euastrum gemmatum</i> var. <i>monocylum</i> |
| <i>Gonatozygon aculeatum</i> |
| <i>Gonatozygon kinahani</i> var. <i>interruptum</i> |
| <i>Gonatozygon monotaenium</i> |
| <i>Gonatozygon pilosum</i> |
| <i>Groenbladia neglecta</i> |
| <i>Groenbladia undulata</i> |
| <i>Hyalotheca dissiliens</i> |
| <i>Hyalotheca indica</i> var. <i>javanica</i> |
| CLASSE ZYGEMAPHYCEAE |
| ORDEM DESMIDIALES |
| <i>Hyalotheca mucosa</i> |
| <i>Micrasterias borgei</i> |
| <i>Micrasterias furcata</i> var. <i>furcata</i> |
| <i>Micrasterias laticeps</i> var. <i>laticeps</i> |
| <i>Micrasterias mahabuleshwariensis</i> |
| <i>Micrasterias mahabuleshwariensis</i> var. <i>amazonensis</i> |
| <i>Micrasterias radiata</i> |
| <i>Micrasterias radiosa</i> |
| <i>Micrasterias rotata</i> |
| <i>Penium spirostriolatum</i> |
| <i>Pleurotaenium minutum</i> |
| <i>Pleurotaenium minutum</i> var. <i>elongatum</i> |
| <i>Pleurotaenium minutum</i> var. <i>gracile</i> |
| <i>Pleurotaenium cylindricum</i> var. <i>stuhlmannii</i> |
| <i>Pleurotaenium coronatum</i> |
| <i>Pleurotaenium ovatum</i> |
| <i>Pleurotaenium trabecula</i> |
| <i>Pymatodocis nordstedtiana</i> |
| <i>Sphaerosozma laeve</i> |
| <i>Sphaerosozma granulatum</i> |
| <i>Sphaerosozma wallichii</i> var. <i>borgei</i> |
| <i>Spondylosium desmidiiforme</i> |
| <i>Spondylosium pulchrum</i> |
| <i>Staurastrum asterioideum</i> |
| <i>Staurastrum brasiliense</i> |
| <i>Staurastrum brebissonii</i> var. <i>brasiliense</i> |
| <i>Staurastrum boergesenii</i> |
| <i>Staurastrum boergesenii</i> var. <i>aculeatum</i> |
| <i>Staurastrum elegantissimum</i> var. <i>brasiliense</i> |
| <i>Staurastrum leptacanthum</i> var. <i>borgei</i> |
| <i>Staurastrum leptocladum</i> var. <i>cornutum</i> |
| <i>Staurastrum leptocladum</i> var. <i>inerme</i> |
| <i>Staurastrum minnesotense</i> |
| <i>Staurastrum pinnatum</i> var. <i>reductum</i> |
| <i>Staurastrum pseudosebaldi</i> |
| <i>Staurastrum quadrinotatum</i> |

| DIVISÃO EUGLENOPHYTA |
|----------------------------------------------------|
| <i>Nitzschia acicularis</i> |
| <i>Nitzschia capitellata</i> |
| <i>Nitzschia lanceolata</i> |
| <i>Nitzschia levindensis</i> var. <i>victoriae</i> |
| <i>Nitzschia palea</i> |
| <i>Nitzschia paleacea</i> |
| <i>Nitzschia reversa</i> |
| <i>Nitzschia sigma</i> |
| <i>Pinnularia braunii</i> |
| <i>Pinnularia episcopalis</i> |
| <i>Pinnularia gibba</i> |
| <i>Pinnularia hemipterax</i> |
| <i>Pinnularia ignobilis</i> |
| <i>Pinnularia legumen</i> |
| <i>Pinnularia maior</i> |
| <i>Pinnularia novilis</i> |
| <i>Pinnularia platicephala</i> |
| <i>Stauroneis anceps</i> |
| <i>Stenopterobia intermedia</i> |
| <i>Surirella biseriata</i> |
| <i>Surirella biseriata</i> var. <i>constrictax</i> |
| <i>Surirella capronii</i> |
| <i>Surirella guatemalensis</i> |
| <i>Surirella linearis</i> |
| <i>Surirella linearis</i> var. <i>constricta</i> |
| <i>Surirella robusta</i> |
| DIVISÃO CYANOPHYTA |
| CLASSE CYANOPHYCEAE |
| ORDEM CHROOCOCCALES |
| <i>Aphanothece clathrata</i> |
| <i>Aphanothece saxicola</i> |
| <i>Chroococcus minutus</i> |
| <i>Microcystis aeruginosa</i> |
| CLASSE CYANOPHYCEAE |
| ORDEM NOSTOCALES |
| <i>Anabaena circinalis</i> |
| <i>Anabaena lacustris</i> |
| <i>Anabaena spiroides</i> |
| <i>Anabaena</i> sp |
| <i>Lyngbya</i> sp |
| <i>Oscillatoria limosax</i> |
| <i>Oscillatoria sancta</i> |
| <i>Oscillatoria splendida</i> |
| <i>Oscillatoria tenuis</i> |
| <i>Oscillatoria terebriformis</i> |
| <i>Scytonema crustaceum</i> |
| <i>Spirulina subsalsa</i> |

| DIVISÃO CHLOROPHYTA | DIVISÃO EUGLENOPHYTA |
|------------------------------------------------------------|-----------------------------------|
| <i>Staurastrum quadrinotatum</i> var. <i>octospinosum</i> | CLASSE CYANOPHYCEAE |
| <i>Staurastrum rotula</i> | ORDEM STIGONEMATALES |
| <i>Staurastrum setigerum</i> var. <i>pectinatum</i> | <i>Fischeriella</i> sp |
| <i>Staurastrum setigerum</i> var. <i>spinulosum</i> | <i>Hapalosiphon aureus</i> |
| <i>Staurastrum subophiura</i> | DIVISÃO PYRROPHYTA |
| <i>Staurastrum tohopekaligense</i> | CLASSE DINOPHYCEAE |
| <i>Staurastrum vestitum</i> var. <i>subanatinum</i> | ORDEM PERIDINIALES |
| <i>Staurastrum zonatum</i> | <i>Peridinium cinctum</i> |
| <i>Staurodesmus cornutus</i> | DIVISÃO RHODOPHYTA |
| <i>Staurodesmus lobatus</i> | CLASSE RHODOPHYCEAE |
| <i>Staurodesmus lobatus</i> var. <i>ellipticus</i> | ORDEM NEMALIONALES |
| <i>Staurodesmus subulatus</i> | <i>Batrachospermum cayennense</i> |
| <i>Staurodesmus triangularis</i> var. <i>subparalellus</i> | |
| <i>Staurodesmus validus</i> | |
| CLASSE ZYGNEMAPHYCEAE | |
| ORDEM DESMIDIALES | |
| <i>Staurodesmus validus</i> var. <i>subvalidus</i> | |
| <i>Tetmemorus laevis</i> | |
| <i>Triploceras gracilis</i> var. <i>bidentatum</i> | |
| <i>Xanthidium amazonense</i> | |
| <i>Xanthidium canadense</i> | |
| <i>Xanthidium fragile</i> | |
| <i>Xanthidium mamillosum</i> | |
| <i>Xanthidium mamillosum</i> var. <i>borgei</i> | |
| <i>Xanthidium sexangulare</i> | |
| <i>Xanthidium sexangulare</i> var. <i>pseudoregulare</i> | |
| <i>Xanthidium trilobum</i> | |
| ORDEM ZYGNEMATALES | |
| <i>Mougeotia robusta</i> | |
| <i>Mougeotia sphaerocarpa</i> | |
| <i>Spirogyra aequinoctialis</i> | |
| <i>Spirogyra condensata</i> | |
| <i>Spirogyra daedalooides</i> | |
| <i>Spirogyra rhizobrachialis</i> | |
| <i>Spirogyra weberi</i> | |
| <i>Zygnema</i> sp | |

Cianobactérias

As cianobactérias, cianofíceas ou algas azuis são capazes de realizar fotossíntese, apesar de apresentarem uma estrutura celular procariota (núcleo não individualizado). Estes organismos apresentam uma combinação de propriedades encontradas em algas e bactérias; e podem ser unicelulares, coloniais ou filamentosas.

Maiores densidades destas algas, nos ecossistemas, estão associadas com o enriquecimento do ambiente por nutrientes orgânicos, principalmente o fósforo e o nitrogênio, conferindo assim um maior estado de trofia, que pode ser de origem natural ou artificial. Sistemas bastante enriquecidos são considerados eutróficos.

O processo de eutrofização artificial ocorre como resultado do aumento de nitrogênio e fósforo, provenientes do lançamento de esgotos domésticos oriundos da bacia de drenagem. Em resposta ao enriquecimento de nutrientes, há um aumento na produtividade da comunidade fitoplanctônica, principalmente de espécies de cianobactérias, sendo cada vez mais comum a ocorrência de um crescimento intenso dessas algas na superfície dos corpos d' água, conhecido como floração ou "bloom." No entanto, estas florações podem ou não estar associadas com espécies potencialmente tóxicas. Espécies potencialmente tóxicas produzem cianotoxinas específicas, que afetam a saúde humana de diferentes formas.

Cianotoxinas

Cianotoxinas são toxinas produzidas por cianobactérias. Algumas cianotoxinas são neurotoxinas bastante potentes (anatoxina-a, anatoxina-a (s), saxitoxinas), outras são principalmente tóxicas ao fígado (microcistinas, nodularina e cilindropermopsina) (FUNASA, 2003). O **Quadro 2-2** apresenta as características gerais das cianotoxinas e os gêneros associados à produção destas.

Quadro 2-2 - Características gerais das cianotoxinas.

| Grupo da toxina | Alvo primário em mamíferos | Gêneros de cianobactéria |
|---------------------------|----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| PEPTÍDEO CÍCLICO | | |
| MICROCISTINAS | FÍGADO | <i>MICROCYSTIS, ANABAENA, PLANKTOTHRIX (OSCILLATORIA), NOSTOC, HAPALOSIPHON, ANABAENOPSIS</i> |
| NODULARINA | FÍGADO | <i>NODULARIA</i> |
| ALCALÓIDES | | |
| ANATOXINA-A | NERVO SINÁPTICO | <i>ANABAENA, PLANKTOTHRIX (OSCILLATORIA), APHANIZOMENON</i> |
| ANATOXINA-A (S) | NERVO SINÁPTICO | <i>ANABAENA</i> |
| APLISIOTOXINA | PELE | <i>LYNGBYA, SCHIZOTHRIX, PLANKTOTHRIX (OSCILLATORIA)</i> |
| CYLINDROSPERMOPSINAS | FÍGADO | <i>CYLINDROSPERMOPSIS, APHANIZOMENON, UMEZAKIA</i> |
| LYNGBYATOXINA-A | PELE, TRATO GASTROINTESTINAL | <i>LYNGBYA</i> |
| SAXITOXINAS | NERVO AXÔNICO | <i>ANABAENA, APHANIZOMENON, LYNGBYA, CYLINDROSPERMOPSIS</i> |
| LIPOPOLISSACARÍDEOS (LPS) | POTENCIAL IRRITANTE; AFETA QUALQUER TECIDO EXPOSTO | TODOS |

Em ambientes aquáticos essas toxinas normalmente permanecem contidas nas células das cianobactérias e são liberadas em quantidade considerável após a lise celular, que ocorre naturalmente durante a fase de senescência (morte natural) e estresse da célula. Portanto, a ocorrência de espécies potencialmente produtoras dessas substâncias em ambientes aquáticos precisa ser muito bem investigada e monitorada a fim de evitar danos à saúde animal e ao próprio ecossistema, como um todo. Todavia, as florações de cianotoxinas trazem diversos impactos sociais, econômicos e ambientais, dada a degradação da qualidade da água, uma vez que produz odor desagradável e compromete o sabor da água tratada, destinada ao abastecimento público. Além disso, a decomposição dessa alta densidade leva à depleção do oxigênio dissolvido, comprometendo a vida de muitos organismos da biota aquática.

As toxinas produzidas pelas algas podem afetar a saúde humana tanto pela ingestão de água contaminada, contato por recreação ou pelo consumo de peixes contaminados. Entretanto, a principal via de contaminação é pelo consumo oral de água contaminada, sem tratamento prévio. Desta forma, medidas de controle devem ser planejadas.

2.3.1.2 - Zooplâncton

O zooplâncton de rios é caracterizado por uma baixa abundância, predominância de espécies de rotíferos e poucas espécies de microcrustáceos (WHITTON, 1975). Além de ter uma correnteza forte, o rio Madeira também carrega muito sedimento em suspensão, o que diminui a penetração de luz e, por sua vez, afeta a produção primária no ambiente, prejudicando diretamente os organismos maiores como os microcrustáceos. Os tributários também têm correnteza expressiva, mas não carregam tanto material em suspensão. Assim enquanto o perfil da assembléia também é típico de rios, pode-se detectar um discreto aumento no número de rotíferos e cladóceros. A dinâmica sazonal do rio Madeira evidencia uma tendência crescente no total de espécies, atingindo um pico na vazante, decrescendo abruptamente na fase seca. Nos tributários existe uma tendência de crescimento da enchente para a cheia e decrescente deste para a seca.

A análise quantitativa (relativa às comunidades de rotíferos, cladóceros e copépodos) indicou uma densidade que variou de 42 ind/L a 162 ind/L no rio Madeira, e entre 50 a 150 ind/L nos tributários. Aproximadamente 95% desta densidade deve-se aos rotíferos. Já a análise qualitativa indicou um total de 100 espécies destas três comunidades, das quais 70 delas representam os rotíferos, 23 de cladóceros e 7 espécies de copépodos. O rio Madeira foi constituído por 61 espécies e os tributários por 88 espécies. Os gêneros de rotíferos com maior riqueza foram Lecane (21 espécies) e Brachionus (10 espécies); para cladóceros foram o gênero Alona (4 espécies) e copépodos os gêneros Mesocyclops e Microcyclops, com duas espécies cada. Foram

| ROTIFERA |
|-------------------------------------------------------|
| <i>Lecane papuana</i> MURRAY |
| <i>Lecane pertica</i> HARRING & MYERS |
| <i>Lecane rugosa</i> HARRING |
| <i>Lecane rhytida</i> HARRING & MYERS |
| <i>Lecane saginata</i> HARRING & MYERS |
| <i>Lecane syngenes</i> HAUER |
| <i>Lepadella acuminata</i> EHRENBERG |
| <i>Lepadella costata</i> WULFERT |
| <i>Lepadella cristata</i> ROUSSELET |
| <i>Lepadella monodactyla caudata</i> KOSTE |
| <i>Lepadella quinque costata</i> LUCKS |
| <i>Monomata</i> sp |
| <i>Macrochaetus altamirais f. braziliensis</i> KOSTE |
| <i>Paracolurella logima</i> MYERS |
| <i>Pleosoma lenticulare</i> HERRICK |
| <i>Polyarthra vulgaris</i> CARLIN |
| <i>Platylas quadricornis</i> EHRENBERG |
| <i>Platylas quadricornis brevispinus</i> DADAY |
| <i>Scaridium longicaudum</i> O. F. m. |
| <i>Tetramastix opoliensis brevispina</i> AHLSTROM |
| <i>Testudinella mucronata haveriensis</i> GILLARD |
| <i>Testudinella olhei</i> KOSTE |
| <i>Testudinella patina patina</i> HERMAN |
| <i>Testudinella patina trilobata</i> ANDERSON & SAEPE |
| <i>Trichocerca chattoni</i> DE BEAUCHAMP |
| <i>Trichocerca bicristata var. mucosa</i> STOKES |
| <i>Trichocerca insignis</i> HERRICK |
| <i>Trichocerca mucosa</i> STOKES |
| <i>Trichocerca similis grandis</i> HAUER |
| <i>Trichotria tetractis</i> EHRENBERG |
| <i>Wierzejskiella velex</i> WISZN. |

| CLADOCERA |
|------------------------------|
| <i>Arcella</i> SP |
| <i>Centropyxis aculeata</i> |
| <i>Centropyxis discóides</i> |
| <i>Centropyxis hirsuta</i> |
| <i>Centropyxis spinosa</i> |
| <i>Centropyxis</i> spp. |
| <i>Cucurbitella</i> SP |
| <i>Diffflugia oblonga</i> |
| <i>Diffflugia</i> spp. |
| <i>Euglypha acanthophora</i> |
| <i>Lesquereusia spiralis</i> |

2.3.2 - Invertebrados bentônicos

O estudo das comunidades de invertebrados bentônicos nos ecossistemas aquáticos amazônicos é de fundamental importância para o conhecimento de seus sistemas hídricos, principalmente no que se refere à manutenção das cadeias tróficas através da produção secundária, na ciclagem de nutrientes, através de processos de decomposição de matéria orgânica e bioturbação, e como indicadores da qualidade das águas (WALKER, 1995).

As atividades das espécies bentônicas promovem a aeração e remobilização dos fundos intensificando os processos de ciclagem de nutrientes e, conseqüentemente, dos processos de produção primária e secundária, tendo caráter fundamental na dinâmica biológica desses

ecossistemas. Além disso, são os principais itens alimentares de peixes demersais, sendo um importante elo de sustentação na cadeia trófica desses ambientes.

Na Área de Influência Direta dos AHEs Santo Antônio e Jirau foram coletados um total de 765 organismos representados por 24 grupos taxonômicos distintos (**Quadro 2-4**). O menor valor de densidade observado foi no rio Abunã (139,8 ind/m²), e o maior no rio Cotia (2889,2 ind/m²). A riqueza de espécies variou de 3 táxons no rio Abunã e Madeira e 13 táxons no rio Jaciparaná. Todas as amostras foram dominadas por Olygochaeta e Chironomidae (Leme, 2005).

Quadro 2-4 - Lista dos Taxa de Invertebrados bentônicos da Área de Influência Direta dos AHEs Santo Antônio e Jirau, no Rio Madeira e Tributários (Leme, 2005).

| Phylum | Classe | Ordem | Família | Gênero | |
|-----------------|-------------|---------------|-------------|-------------------|-----------|
| Arthropoda | Copepoda | Calanoida | | | |
| | | Ciclopoida | | | |
| | Insecta | Díptera | | Chironomidae | |
| | | | | Ceratopogonidae | |
| | | | | Chaoboridae | |
| | | | | Tipulidae | |
| | | Ephemeroptera | | Polymitarcyidae | Campsurus |
| | | | | Caenidae | |
| | | | | Leptophlebiidae | |
| | | Trichoptera | | Polycentropodidae | |
| | | | | Leptoceridae | |
| | | | | Helicopsychidae | |
| | | Hemíptera | | Naucoridae | |
| | | Odonata | | Libellulidae | |
| | | | | Coenagrionidae | |
| Coleóptera | | Elmidae | | | |
| | | Dytiscidae | | | |
| Molusca | Bivalvia | Hyriidae | | | |
| | Gastropoda | Ancylidae | | | |
| Annelida | Olygochaeta | | | | |
| | Hirudínea | | | | |
| Platyhelminthes | Turbellaria | Tricladida | Planariidae | | |
| Nematoda | | | | | |

2.3.3 - Macrófitas aquáticas

Macrófitas aquáticas são componentes importantes de ecossistemas aquáticos por contribuírem significativamente para a produtividade primária e, portanto, para os ciclos de nutrientes e a distribuição de oxigênio dissolvido em corpos d'água. Além disso, formam estandes que funcionam como habitats para o perifíton e para animais vertebrados e invertebrados. Inúmeras espécies de peixes, anfíbios e aves usam estandes de macrófitas como local de abrigo, alimentação, reprodução, e berçário (POMPEO 1999, SCHIESARI *et al.* 2003). As macrófitas afetam fisicamente o meio, reduzindo o fluxo d'água, interceptando a penetração de luz, alterando a taxa de sedimentação, e protegendo as margens de processos erosivos.

Estão submetidas aos efeitos sazonais da enchente e da vazante (correnteza, turbulência, vazão, carga sedimentar, penetração de luz etc.). Na enchente, ambas as margens apresentaram baixa abundância de macrófitas aquáticas, oposto ao que ocorre no período da seca. A maioria das espécies foi observada nas suas características morfológicas e fenológicas: floração e frutificação, e todas ou a maioria delas apresentaram, nas estruturas foliares e radiculares, a ação de predadores, tanto da entomofauna como da ictiofauna, porém ainda sem ação antrópica ocasionada por efluentes orgânicos e inorgânicos ou por movimentação e transporte, águas abaixo, da carga sedimentar por assoreamento na hidrovía.

Na Área de Abrangência Regional a ocorrência de macrófitas aquáticas nas estações fluviais e lacustres na área de influência do rio Madeira desde a montante da cachoeira de Santo Antônio até a sua foz, no rio Amazonas, foi representada por 12 famílias, 18 gêneros e 17 espécies. Dentre elas, destaca-se pela frequência de ocorrência a presença de *Azolla caroliniana*, *Salvinia auriculata*, *Lemna sp*, *Pistia stratioides*, *Eichhornia crassipes*, *Eichhornia sp*, *Scirpus cubensis*, *Polygonum sp*, *Echinochloa polystachya*, *Paspalum repens* e *Paspalum fasciculatum* (Leme, 2005).

O **Quadro 2-5** apresenta as espécies de macrófitas aquáticas de ocorrência na bacia do rio Madeira, na região compreendida entre a cachoeira de Santo Antônio e sua foz no rio Amazonas.

Quadro 2-5 - Lista das Espécies de Macrófitas Aquáticas, no Trecho entre Cachoeira de Santo Antônio e a Foz do Rio Madeira (Leme, 2005).

| Famílias | Espécies |
|-----------------|---------------------------------|
| Salviniaceae | <i>Azolla caroliniana</i> |
| | <i>Salvinia auriculata</i> |
| Ricciaceae | <i>Ricciocarpus natans</i> |
| Lemnaceae | <i>Spirodella polyrrhiza</i> |
| | <i>Lemna</i> sp |
| Lentibularaceae | <i>Utricularia foliosa</i> |
| Nymphaceae | <i>Nymphaea</i> sp |
| Araceae | <i>Pistia stratioides</i> |
| | <i>Montrichardia arborecens</i> |
| Onagraceae | <i>Ludwigia natans</i> |
| | <i>Ludwigia</i> sp |
| Pontederaceae | <i>Eichhornia crassipes</i> |
| | <i>Eichhornia</i> sp |
| | <i>Pontederia rotundifolia</i> |
| Podostemonaceae | <i>Mourera fluviatilis</i> |
| | <i>Mourera</i> sp |
| Cyperaceae | <i>Scirpus cubensis</i> |
| Polygonaceae | <i>Polygonum</i> sp |
| Poaceae | <i>Echinochloa polystachya</i> |
| | <i>Paspalum repens</i> |
| | <i>Paspalum fasciculatum</i> |
| | <i>Oriza perennis</i> |

Na Área de Influência Direta das UHEs Santo Antônio e Jirau, a comunidade de macrófitas aquáticas encontradas no rio Madeira esteve representada por 9 famílias e 15 taxa, enquanto no rio Jaci-Paraná foi registrada a ocorrência de 08 famílias e 13 taxa (Quadro 2-6); não foi detectada a presença de macrófitas aquáticas nos rios Abunã e Mutum-Paraná. As famílias Poaceae (*Echinochloa polystachya*, *Paspalum fasciculatum*) Araceae (*Pistia stratiotes*) Pontederaceae (*Eichhornia crassipes*) foram as mais representativas nos dois ambientes amostrados. Dentre o total de 15 taxa identificados, 4 taxa representam plantas inferiores e as outras plantas superiores (Leme, 2005).

Quadro 2-6 - Lista de Espécies de Macrófitas Aquáticas da Área de Influência Direta dos AHEs Santo Antônio e Jirau, no Rio Madeira e Tributários (Leme, 2005).

| Família | Espécies do rio Madeira | Espécies dos tributários |
|---------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|
| Araceae | <i>Montrichardia arborescens</i> L. | <i>Montrichardia arborescens</i> L. |
| | <i>Pistia stratiotes</i> L. | <i>Pistia stratiotes</i> L. |
| Pontederaceae | <i>Eichhornia crassipes</i> (MART.) SOLMS | <i>Eichhornia crassipes</i> (MART.) SOLMS |
| | <i>Pontederia rotundifolia</i> L. | <i>Pontederia rotundifolia</i> L. |

| Família | Espécies do rio Madeira | Espécies dos tributários |
|--------------|---------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| Poaceae | <i>Echinochloa polystachya</i> (H.B.K.) HITCHCOCK | <i>Echinochloa polystachya</i> (H.B.K.) HITCHCOCK |
| | <i>Paspalum repens</i> BERG | <i>Paspalum repens</i> BERG |
| | <i>Paspalum fasciculatum</i> BERG | <i>Paspalum fasciculatum</i> BERG |
| | <i>Oriza perennis</i> | |
| Polygonaceae | <i>Polygonum sp.</i> | <i>Polygonum sp.</i> |
| Salviniaceae | <i>Azolla caroliniana</i> WILD. | <i>Azolla caroliniana</i> WILD. |
| | <i>Salvinia auriculata</i> AUBL. | <i>Salvinia auriculata</i> AUBL. |
| Ricciaceae | <i>Ricciocarpus natans</i> CORDA | <i>Ricciocarpus natans</i> CORDA |
| Lemnaceae | <i>Wolffiella brasiliensis</i> | <i>Wolffiella brasiliensis</i> |
| Cyperaceae | <i>Scirpus cubensis</i> | <i>Scirpus cubensis</i> |
| Parkeriaceae | <i>Ceratopteris pteridoides</i> BRONGN. | |

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 desta etapa, que inclui as fases de enchimento e operação da UHE Santo Antônio, são:

- Identificar as alterações limnológicas e caracterizar a comunidade de macrófitas aquáticas no rio Madeira, seus principais tributários e lagos a jusante, na área de influência do empreendimento, durante as fases de enchimento e operação do reservatório (gradiente temporal);
- Identificar as alterações limnológicas e caracterizar a comunidade de macrófitas aquáticas no rio Madeira, seus principais tributários e lagos a jusante, entre os trechos de montante e jusante da UHE Santo Antônio (gradiente espacial);
- Avaliar a ocorrência de gradientes espaciais e temporais das variáveis limnológicas e identificar as alterações espaciais e temporais da comunidade de macrófitas aquáticas, ao longo do rio Madeira, seus principais tributários e lagos a jusante, na área de influência do empreendimento, durante as fases de enchimento e operação do reservatório;

- Determinar a relação das variáveis limnológicas e da dinâmica da comunidade de macrófitas com os ciclos sazonais e pulsos de inundação dos corpos d'água, na área de influência do empreendimento, durante as fases de enchimento e operação do reservatório;
- Determinar a relação da comunidade de macrófitas aquáticas com as variáveis limnológicas, na área de influência do empreendimento, durante as fases de enchimento e operação do reservatório.
- Determinar o perfil vertical de variáveis limnológicas, na área de influência do empreendimento, durante as fases de enchimento e operação do reservatório;
- 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, durante as fases de enchimento e operação do reservatório;
- Avaliar a qualidade da água bruta nos pontos de captação para abastecimento público;
- Classificar a qualidade da água e o grau de trofia, na área de influência do empreendimento, durante as fases de enchimento e operação do reservatório;
- Fornecer informações precisas para subsidiar a gestão da qualidade da água do reservatório e adoção de medidas mitigadoras quando necessário;
- Fornecer informações precisas para alimentar o Modelo Prognóstico de Qualidade da Água;
- Gerar informações precisas sobre as regiões com maior probabilidade de ocorrência de proliferação de macrófitas, na área de influência do empreendimento, durante as fases de enchimento e operação do reservatório;
- Prognosticar as possíveis alterações da qualidade da água, decorrentes das transformações ambientais, durante as diferentes fases do empreendimento;
- Avaliar o grau de impacto da descarga sólida gerada pela operação do vertedouro sobre o meio ambiente e comunidades aquáticas;

- 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 de 14 (catorze) variáveis físicas, 3 (três) físico-químicas, 48 (quarenta e oito) químicas, 9 (nove) biológicas na água; 21 (vinte e uma) variáveis da comunidade de macrófitas em 8 (oito) estações amostrais no rio Madeira, 12 (doze) em tributários, 7 (sete) em lagos e canais a jusante, nas campanhas sazonais, durante as fases de enchimento e operação do reservatório;
- Realizar análises de 27 (vinte e sete) variáveis no sedimento, incluindo invertebrados bentônicos, em 9 (nove) estações amostrais, sendo 4 (quatro) no rio Madeira e 5 (cinco) em tributários nas campanhas sazonais, durante as fases de enchimento e operação do reservatório;
- Realizar análises de 10 (dez) variáveis físicas, 2 (duas) físico-químicas, 15 (quinze) químicas e 3 (três) biológica na água, em 8 (oito) estações amostrais no rio Madeira e 9 (nove) em tributários, nas campanhas mensais, durante as fases de enchimento do reservatório;
- Realizar análises de 9 (nove) biológicas na água; 05 (cinco) variáveis da comunidade de macrófitas em 8 (oito) estações amostrais no rio Madeira, 9 (nove) em tributários, nas campanhas bimestrais, durante a fase de enchimento do reservatório;
- 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 levantamento da cobertura, composição e estrutura da comunidade de macrófitas aquáticas no rio Madeira e afluentes, nos trechos restritos a área de influência do

empreendimento, em todas as campanhas de campo executadas durante as fases de enchimento e operação do reservatório;

- Realizar campanhas de campo sazonais, com intervalo de aproximadamente três meses, durante operação do empreendimento, totalizando 8 (oito) campanhas, contemplando os períodos de enchente, águas altas, vazante e águas baixas, por um período de 2 (dois) anos;
- Realizar campanhas complementares mensais para as variáveis abióticas e bimestrais para as variáveis bióticas, durante as fases de enchimento e estabilização do reservatório, totalizando 9 (nove) campanhas para as variáveis abióticas e 5 (cinco) para as bióticas;
- Realizar análises de composição, biomassa, dominância e riqueza das espécies de macrófitas aquáticas, na área de influência do empreendimento, durante as fases de enchimento e operação do reservatório, para caracterização das variações temporais e espaciais;
- 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 as fases de enchimento e operação do reservatório;
- Relacionar a composição, biomassa, dominância e riqueza das espécies de macrófitas aquáticas às alterações sazonais características dos períodos de enchente, água altas, vazante e águas baixas, na área de influência do empreendimento, durante as fases de enchimento e operação do reservatório;
- Relacionar a composição, biomassa, dominância e riqueza das espécies de macrófitas aquáticas às alterações limnológicas características dos períodos de enchente, águas altas, vazante e águas baixas, na área de influência do empreendimento, durante as fases de enchimento e operação do reservatório;
- Mensurar a temperatura da água, potencial hidrogeniônico (pH), condutividade elétrica, concentração e porcentagem de saturação de oxigênio dissolvido na coluna d'água, no eixo vertical, a cada metro de profundidade, durante as campanhas de campo, em todas as estações de amostragem e diariamente nos igarapés Teotônio e Jatuarana I e nos rios Madeira e Jaci-Paraná;

- Realizar monitoramento em tempo real da temperatura da água, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido, potencial hidrogeniônico (pH) e turbidez em local próximo ao eixo 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;
- Criar e alimentar um banco de dados georreferenciado para sistematizar as informações limnológicas decorrentes das campanhas de campo e mapeamento da ocorrência de estandes de macrófitas aquáticas, na área de influência do empreendimento;
- Elaborar modelo matemático para Prognóstico da Qualidade da Água para o corpo central, tributários e jusante do reservatório, com projeção para o período de pós-enchimento;
- Mensurar as 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

Esta nova etapa do Programa de Monitoramento Limnológico será desenvolvida em 2 anos. As amostragens sazonais caracterizarão os períodos de águas altas, vazante, águas baixas e enchente. Este desenho amostral padrão, denominado “sazonal”, será mantido durante os 2 anos em questão. Entretanto, algumas variáveis físicas e biológicas terão sua frequência de amostragem intensificada durante a etapa de enchimento do reservatório, como determinado na Condicionante 2.11 b) da LI nº 540/2008. A seleção das variáveis a serem analisadas com maior frequência foi embasada tecnicamente, assim como a seleção das estações de amostragem.

Desta forma, serão realizados cinco tipos diferentes de campanhas durante a fase de enchimento:

- (1) Campanhas Diárias: englobarão medições de temperatura da água, potencial hidrogeniônico (pH), condutividade elétrica, concentração de oxigênio dissolvido na coluna d'água, no eixo vertical, a cada metro de profundidade, e transparência da coluna d'água, diariamente nos igarapés Teotônio e Jatuarana I e rio Madeira a partir da 1ª etapa de enchimento do reservatório, e no rio Jaci-Paraná a partir da 3ª etapa. Os perfis serão mensurados nos dias úteis.
- (2) Campanhas Mensais: englobarão algumas análises físicas, químicas e biológicas suscetíveis a rápidas modificações durante o período de enchimento. A avaliação mensal dessas variáveis proporcionará informações mais detalhadas sobre as modificações nas características da água na região do futuro reservatório. Todas as estações serão amostradas, exceto os tributários e lagos e canais situados a jusante do eixo da barragem. Adicionalmente, serão avaliadas as densidades de cianobactérias nos pontos de captação de água para abastecimento público.
- (3) Campanhas Bimestrais: englobarão as variáveis biológicas, a saber: fitoplâncton, zooplâncton, macrófitas aquáticas e macroinvertebrados bentônicos. A avaliação bimestral dessas variáveis proporcionará informações mais detalhadas sobre as modificações nas comunidades biológicas durante a fase de enchimento do reservatório. Todas as estações serão amostradas, exceto os tributários e lagos e canais situados a jusante do eixo da barragem.
- (4) Campanhas Sazonais: englobarão todas as estações de amostragem e todas as análises físicas, químicas e biológicas, tanto na coluna d'água como no sedimento, com exceção de alguns compostos orgânicos semi-voláteis (SVOCs), que terão sua frequência modificada em razão da não ocorrência durante a fase de pré-enchimento. A avaliação sazonal caracterizará os quatro períodos do ciclo hidrológico, com amostragens a cada três meses, aproximadamente.
- (5) Campanhas Semestrais: englobarão todas as variáveis indicadas pela Resolução CONAMA 357/2005 nos pontos de captação de água para abastecimento público.

Ressalta-se que as campanhas sazonais englobam o escopo das campanhas mensais e bimestrais. A informação detalhada da frequência de amostragem das variáveis limnológicas durante o enchimento é mostrada no **Quadro 5-2** e no **item 6 - Cronograma**.

Durante o enchimento, a frequência de amostragem será intensificada nas estações suscetíveis à ocorrência de impactos em curto prazo (MON.05, MON.04, MON.03, MON.02, MON.01, JUS.01, JUS.02, JUS.03, CAR, CRC, JAC.01, JAC.02, JAT I e TEO). Além disso, serão adicionadas mais três estações em três tributários a montante: uma no rio Jaci-Paraná (JAC.03), uma no igarapé Jatuarana I (JAT I.01) e outra no igarapé Teotônio (TEO.01), que comporão a malha amostral também na fase de operação.

Adicionalmente, a fim de monitorar a qualidade da água nos pontos de captação de água para abastecimento público serão inseridas mais duas estações de coleta: PCT no igarapé Bate-Estacas e PCM no rio Madeira (jusante do barramento), onde ocorre a captação da CAERD. Ressalta-se que a captação localizada no rio Madeira será transferida para a montante do eixo da barragem. Assim sendo, o monitoramento da qualidade da água também será deslocado quando a transferência estiver concluída. As estações de captação da CAERD e tributários de montante, também comporão a malha amostral na fase de operação, entretanto, a amostragem será diferenciada.

Para monitorar a qualidade da água brutanos 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. Nas demais estações, as análises que apresentaram maior relevância na interpretação dos dados físicos, químicos e biológicos durante a fase de implantação, terão a frequência amostral intensificada durante a fase de enchimento (**Quadro 5-2**).

Como não foi constatada a presença de compostos orgânicos semi-voláteis (SVOCs) na água dos ambientes amostrados durante a fase de implantação, a frequência amostral dessa variável será alterada. A partir da fase de enchimento, os SVOCs na coluna d'água serão amostrados somente uma vez ao ano, no período de enchente, quando há a maior propensão ao carreamento desses compostos de locais com atividades agrícolas devido à alta pluviosidade. Em relação ao sedimento, os Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPA) e os Bifenilas Policloradas (PCB) serão amostrados nas coletas sazonais, mas os demais SVOCs, que nunca apresentaram ocorrência, serão amostrados anualmente, na enchente, a exemplo de todos os SVOCs na água.

Em relação à apresentação dos relatórios, destaca-se que algumas variáveis exigidas pelo Projeto Básico Ambiental (PBA) são obtidas por meio de cálculo, tendo correlação direta com outras variáveis monitoradas. Desta forma, serão apresentadas somente por meio de laudos, sendo

excluída a apresentação gráfica. Contudo, quando cabível, essas variáveis serão utilizadas na discussão do relatório. Essas variáveis são as seguintes: coeficiente de atenuação vertical, zona eufótica, concentração molar, porcentagem de saturação de oxigênio, O₂ inicial, O₂ 5 dias, carbono bioquimicamente oxidável, relações de consumo da DBO e da DQO (Químicas I-D), gás carbônico livre, gás carbônico total, alcalinidade de bicarbonatos e carbono orgânico refratário.

Durante a fase de operação, as amostragens serão sazonais, buscando caracterizar de maneira precisa os quatro períodos do ciclo hidrológico, ocorrendo, desta maneira, em um intervalo de aproximadamente três meses.

Para execução do monitoramento limnológico foram estabelecidas 29 estações de coleta, sendo 8 estações distribuídas ao longo do rio Madeira, 13 nos tributários, 7 em lagos e canais e 2 em pontos de captação de água, conforme descrição a seguir, ordenadas de montante a jusante (Quadro 5-1).

Quadro 5-1 - Descrição das estações de coleta, com os códigos de identificação e as coordenadas geográficas.

| Estações | Descrição | Coordenadas Geográficas Datum SAD 69 | | |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|---------------|------------|
| MON.05 | Rio Madeira, cerca de 20 km a jusante da cachoeira Jirau | 9° 12'39.10" | 64° 37'15.97" | Mensal |
| CAR | Rio Caripuna, cerca de 1 km a montante de sua foz | 9° 11'41.43" | 64° 37'25.30" | Mensal |
| MON.04 | Rio Madeira, cerca de 10 km a montante da foz do rio Jaci-Paraná | 9° 10'25.40" | 64° 28'39.60" | Mensal |
| JAC.01 | Rio Jaci-Paraná, cerca de 4 km a montante de sua foz | 9° 13'37.44" | 64° 23'05.87" | Diária |
| JAC.02 | Rio Jaci-Paraná, cerca de 15 km a montante de sua foz | 9° 17'20.10" | 64° 23'53.20" | Mensal |
| JAC.03* | Rio Jaci-Paraná, cerca de 25 km a montante de sua foz | ---- | ---- | Mensal |
| CRC | Rio Caracol, cerca de 1 km a montante de sua foz | 9° 11'48.85" | 64° 22'29.26" | Mensal |
| MON.03 | Rio Madeira, 24 km a jusante da desembocadura do rio Jaci-Paraná | 9° 01'39.20" | 64° 16'44.10" | Mensal |
| MON.02 | Rio Madeira, cerca de 10 km a montante da Cachoeira de Santo Antônio | 8° 55'36.10" | 64° 04'56.90" | Mensal |
| JAT I | Igarapé Jatuarana I, cerca de 1 km a montante de sua foz | 8° 49'46.60" | 64° 02'58.01" | Diária |
| JAT I.01* | Igarapé Jatuarana I, a montante da estação JAT I | ----- | ---- | Mensal |
| TEO | Igarapé Teotônio, cerca de 1 km a montante de sua foz | 8°51'39.31" | 64°01'40.76" | Diária |
| TEO.01* | Igarapé Teotônio, a montante da estação TEO | ----- | ---- | Mensal |
| MON.01 | Rio Madeira, cerca de 8,5 km a montante da Cachoeira de Santo Antônio | 8° 50'31.50" | 63° 59'42.30" | Diária |
| JUS.01 | Rio Madeira, cerca de 3 km a jusante da Cachoeira de Santo Antônio | 8° 47'17.50" | 63° 55'53.70" | Mensal |
| PCM** | Rio Madeira, no ponto de captação da CAERD | 8° 80'53" | 63° 94'27" | Semestral |
| PCT** | Igarapé Bate Estacas, no ponto de captação da CAERD | 8° 77'61" | 63° 90'64" | Semestral |
| JAT II | Igarapé Jatuarana II, cerca de 500 m a montante de sua foz | 8° 38'48.17" | 63° 55'08.44" | Trimestral |
| BEL | Igarapé Belmont, cerca de 200 m a montante de sua foz | 8° 38'13.30" | 63° 52'02.10" | Trimestral |
| JUS.02 | Rio Madeira, cerca de 25 km a jusante da Cachoeira de Santo Antônio | 8° 38'34.95" | 63° 51'00.98" | Mensal |
| JAM | Rio Jamari, 10 km a montante de sua desembocadura no rio Madeira | 8° 35'56.90" | 63° 48'21.52" | Trimestral |
| MIG | Lago São Miguel, cerca de 33 km a jusante da Cachoeira de Santo Antônio | 8° 33'23.02" | 63° 34'04.92" | Trimestral |

| Estações | Descrição | Coordenadas Geográficas Datum SAD 69 | | |
|----------|----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|---------------|------------|
| | | | | |
| CUJ | Lago Cujubim, cerca de 42 km a jusante da Cachoeira de Santo Antônio | 8° 34'55.79" | 63° 42'33.89" | Trimestral |
| JUS.03 | Rio Madeira, cerca de 20 km a jusante da desembocadura do rio Jamari | 8° 18'33.22" | 63° 23'32.77" | Semestral |
| CC.01 | Canal do Cuniã, cerca de 10 km a montante da foz do canal do lago | 8° 11'31.88" | 63° 23'40.96" | Trimestral |
| CC.02 | Canal do Cuniã, cerca de 42 km a montante da foz do canal do lago | 8° 18'38.99" | 63° 29'09.93" | Trimestral |
| LC.01 | Lago do Cuniã, cerca de 2,5 km a montante de CC.02 | 8° 19'20.01" | 63° 30'10.02" | Trimestral |
| LC.02 | Lago do Cuniã, cerca de 6,5 km a montante de CC.02 | 8° 18'13.52" | 63° 27'00.59" | Trimestral |
| LC.03 | Lago do Cuniã, cerca de 1 km a montante de CC.02 | 8° 31'49.25" | 63° 27'12.72" | Trimestral |

*coordenadas a serem definidas em campo; ** 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 afluente 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 Jaci-Paraná 03 (JAC.03) - localizada no rio Jaci-Paraná, cerca de 25 km a montante de sua foz. Início do monitoramento a partir da 1ª etapa do enchimento do reservatório.

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) - localizada no igarapé Teotônio, cerca de 1 km a montante de sua foz. A sua desembocadura, na margem direita do rio Madeira, está a cerca de 3,5 km a jusante da cachoeira do Teotônio.

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 (JAT I) - localizada no igarapé Jaturana I, cerca de 1 km a montante de sua foz. A sua desembocadura, na margem esquerda do rio Madeira, está a cerca de 3,5 km a jusante da cachoeira do Teotônio. A avaliação limnológica deste ponto pretende investigar a influência

do represamento das águas deste rio em consequência da barragem na cachoeira de Santo Antônio.

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 e canais

Estação Lago São Miguel (MIG) - Lago São Miguel, localizado próximo à margem esquerda do rio Madeira, a cerca de 33 km a jusante da cachoeira de Santo Antônio e 10 km do da estação JUS.02.

Estação Lago Cujubim (CUJ) - Lago Cujubim, localizado próximo à margem direita do rio Madeira, a cerca de 42 km a jusante da cachoeira de Santo Antônio, a cerca de 19 km do da estação JUS.02.

Estação Canal do Cuniã 01 (CC.01) - localizada no canal do lago do Cuniã, cerca de 10 km a montante da foz do canal do lago. A foz do canal, margem esquerda do rio Madeira, está cerca de 36 km a jusante da foz do rio Jamarí, 16 km abaixo da estação JUS.03 e cerca de 130 km a jusante da cachoeira de Santo Antônio.

Estação Canal do Cuniã 02 (CC.02) - localizada no canal do lago, cerca de 42 km a montante da foz do canal do lago. Local característico do canal do Cuniã, distante da influência do lago Cuniã. Esse ponto corresponde ao início do canal, que dá acesso do lago ao rio Madeira.

Estação Lago do Cuniã 01 (LC.01) - localizada na região mais profunda do principal lago-abastecedor do Cuniã, cerca de 2,5 km a montante de CC.02.

Estação Lago do Cuniã 02 (LC.02) - localizada na região mais profunda da área central do lago do Cuniã, cerca de 6,5 km a montante da estação CC.02.

Estação Lago Cuniã 03 (LC.03) - localizado na margem do lago do Cuniã, cerca de 1,0 km a montante da estação CC.02.

Captação de Água

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.

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 será correlacionada com os limites preconizados pelas Resoluções CONAMA nº 357/05 e CONAMA nº 274/2000, com frequência mensal. 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

Para caracterização da qualidade da água foram selecionadas as variáveis físicas, físico-químicas, químicas e biológicas. Estas variáveis foram agrupadas em categorias de natureza Físicas (A, B, C), Físico-Química, Química (I A-D, II, III, IV, V, VI), Biológica, Sedimentos Superficiais e Macrófitas Aquáticas (**Quadro 5-2**). Durante o enchimento, algumas variáveis terão sua frequência amostral intensificada, podendo ser diária, mensal ou bimestral. No caso dos nutrientes dissolvidos, para o monitoramento mensal, serão mantidas as formas inorgânicas de nitrogênio e fósforo que são assimilados pelo fitoplâncton, a saber: nitrogênio amoniacal, nitrito, nitrato e ortofosfato. Na fase de operação, porém, todas as estações serão amostradas sazonalmente, com intervalo aproximado de três meses, com exceção dos compostos orgânicos semi-voláteis (SVOCs) na água, que terá frequência anual.

Quadro 5-2 - Variáveis limnológicas a serem monitoradas, agrupadas por categorias.

| Físicas - A (7) | Frequência amostral durante o enchimento |
|-------------------|------------------------------------------|
| Temperatura do ar | Mensal |

| | |
|-------------------------------------------------------------------------|---------|
| Profundidade | Mensal |
| Transparência | Diária |
| Coeficiente atenuação vertical | - |
| Zona eufótica | - |
| Cor | Mensal |
| Velocidade de corrente | Mensal |
| Físicas-B (1) | |
| Temperatura da água | Diária |
| Físicas-C (6) | |
| Turbidez | Diária |
| Sólidos em suspensão | Mensal |
| Sólidos totais dissolvidos | Mensal |
| Sólidos totais | Mensal |
| Sólidos fixos | Sazonal |
| Sólidos voláteis | Sazonal |
| Físico-químicas (3) | |
| Condutividade elétrica | Diária |
| Potencial hidrogeniônico (pH) | Diária |
| Concentração molar [H ⁺] | - |
| Químicas | |
| Oxigênio, demandas e relações de consumo | |
| Químicas I-A (2) | |
| Oxigênio -percentagem de saturação | - |
| Oxigênio -concentração | Diária |
| Químicas I-B (4) | |
| O ₂ inicial -percentagem de saturação | - |
| O ₂ inicial -concentração | - |
| O ₂ 5 dias | - |
| Demanda bioquímica de oxigênio -DBO ₅ | Mensal |
| Químicas I-C (2) | |
| Demanda química de oxigênio -DQO | Sazonal |
| Carbono bioquimicamente oxidado (C.DBO) | - |
| Químicas I-D (8) | |
| DBO.100/O ₂ -consumo de O ₂ pela DBO ₅ | - |
| O ₂ .100/DQO -o O ₂ presente é x% da DQO | - |
| DBO.100/DQO -a DBO ₅ é x% da DQO | - |
| O ₂ .100/(DBO+DQO) -o O ₂ é x% das demandas | - |
| Carbono inorgânico | Mensal |
| Carbono orgânico total (quimicamente oxidado) | Mensal |
| Carbono total | Mensal |
| Carbono orgânico dissolvido | Mensal |
| Químicas II (6) | |
| Sistema tampão | |
| Gás carbônico livre | - |
| Gás carbônico total | - |
| Alcalinidade | Mensal |

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| Alcalinidade de bicarbonatos | - |
| Dureza | Sazonal |
| Dureza devido ao cálcio e magnésio | Sazonal |
| Q u í m i c a s III (7) | |
| Íons principais | |
| Na ⁺ , K ⁺ , Ca ²⁺ , Mg ²⁺ | Sazonal |
| Cl ⁻ , SO ₄ ⁼ , HCO ₃ ⁻ | Sazonal |
| Q u í m i c a s IV (16) | |
| Nutrientes inorgânicos e suas frações | |
| Nitrogênio amoniacal | Mensal |
| Nitrito | Mensal |
| Nitrato | Mensal |
| Nitrogênio inorgânico dissolvido | Mensal |
| Nitrogênio total dissolvido | Sazonal |
| Nitrogênio total | Mensal |
| Nitrogênio orgânico dissolvido | Sazonal |
| Nitrogênio orgânico total | Sazonal |
| Nitrogênio particulado | Sazonal |
| Ortofosfato | Mensal |
| Fósforo total dissolvido | Sazonal |
| Fósforo total | Mensal |
| Fósforo orgânico dissolvido | Sazonal |
| Fósforo orgânico total | Sazonal |
| Fósforo particulado | Sazonal |
| Silicatos reativos | Sazonal |
| Q u í m i c a s V (3) | |
| Ferro dissolvido | Mensal |
| Ferro total | Sazonal |
| Óleos e graxas | Sazonal |
| Q u í m i c a s VI (13) | |
| Elementos-traço e Compostos Orgânicos Semi-voláteis (SVOCs) | |
| Al e Cu dissolvidos | Sazonal |
| Ba, Cd, Co, Cr, Hg, Mn, Ni, Pb, Si, Sn, Zn totais | Sazonal |
| Compostos Orgânicos Semi-voláteis (SVOCs): Alaclor; Aldrin e Dieldrin; Atrazina; Benzo(a)antraceno; Benzo(a)pireno; Benzo (b) fluoranteno; Benzo (k) fluoranteno; Carbaril; Clordano (cis e trans); 2-Clorofenol; Criseno; 2,4-D; Demeton (Demeton-O e Demeton-S); Dibenzo(a,h)antraceno; 2,4-Diclorofenol; DDT (p,p'-DDT, p,p'-DDE e p,p'-DDD); Dodecacloropentaciclodecano; Endossulfan (a, b e sulfato); Endrin; Heptacloro e Heptacloro Epóxido; Indeno(1,2,3,cd)pireno; Lindano (g-HCH); Malation; Metoxicloro; Metolacloro; Paration; PCB's - Bifenilas Policloradas; Pentaclorofenol; Simazina; 2,4,5-T; 2,4,5-TP; 2,4,6-Triclorofenol; Trifluralina e Hexaclorobenzeno | Anual |
| B i o l ó g i c a s (9) | |
| Clorofila a (Chla) | Mensal |

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| Pigmentos totais (Pig tots) | Sazonal |
| Densidade de Cianobactérias | Mensal |
| Fitoplâncton | Bimestral |
| Zooplâncton | Bimestral |
| Coliformes totais | Bimestral |
| <i>Escherichia coli</i> | Bimestral |
| Fracionamento isotópico 13C e 15N | Sazonal |
| Cianotoxinas | Dependente da densidade de cianobactérias |
| Sedimentos Superficiais (27) | |
| Invertebrados bentônicos | Bimestral |
| Granulometria (areia grossa, areia fina, silte, argila) | Bimestral |
| Cinzas | Bimestral |
| Matéria orgânica | Bimestral |
| Carbono orgânico | Bimestral |
| Nitrogênio | Bimestral |
| Fósforo | Bimestral |
| Sódio | Bimestral |
| Potássio | Bimestral |
| Cálcio | Bimestral |
| Magnésio | Bimestral |
| Al, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb, Si, Sn, Zn | Bimestral |
| Compostos Orgânicos Semi-voláteis (SVOCs) - (Alaclor; Aldrin e Dieldrin; Atrazina; Carbaril; Clordano (cis e trans); 2-Clorofenol; 2,4-D; Demeton (Demeton-O e Demeton-S); 2,4-Diclorofenol; DDT (p,p'-DDT, p,p'-DDE e p,p'-DDD); Dodecacloropentaciclodecano; Endossulfan (a, b e sulfato); Endrin; Heptacloro e Heptacloro Epóxido; Lindano (g-HCH); Malation; Metoxicloro; Metolacloro; Paration; PCB's - Bifenilas Policloradas; Pentaclorofenol; Simazina; 2,4,5-T; 2,4,5-TP; 2,4,6-Triclorofenol; Trifluralina e Hexaclorobenzeno) | Anual (enchente) |
| Compostos Orgânicos Semi-voláteis (SVOCs) - HPAs (Benzo(a)antraceno; Benzo(a)pireno; Benzo(b)fluoranteno; Benzo(k)fluoranteno; Dibenzo(a,h)antraceno; Indeno(1,2,3,cd)pireno);Criseno e PCBs (Bifenilas Policloradas) | Sazonal |
| Macrófitas Aquáticas (21) | |
| Identificação | Bimestral |
| Cinzas | Bimestral |
| Matéria orgânica | Bimestral |
| Carbono orgânico | Bimestral |
| Sódio | Bimestral |
| Potássio | Bimestral |
| Cálcio | Bimestral |
| Magnésio | Bimestral |
| Al, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb, Si, Sn, Zn | Bimestral |

As variáveis do grupo Físicas-A (temperatura do ar, profundidade, transparência, coeficiente de atenuação vertical, zona eufótica e cor) serão medidas uma vez em cada uma das estações de coleta. As variáveis limnológicas agrupadas em Físicas-B, Física C, Físico-Químicas e Químicas I-A (temperatura da água, turbidez, condutividade elétrica, potencial hidrogeniônico, concentração

molar, concentração e saturação de oxigênio dissolvido), serão mensuradas 5 profundidades nos tributários e 15 nas estações do rio Madeira, quando possível. Para efeito de cálculo do número de medições necessárias para determinar o perfil vertical da coluna d'água, foi considerada uma profundidade média de 15 m para as estações do rio Madeira, 8 m para as estações nos tributários e no lago Cuniã, e 5 m para as estações no canal do lago Cuniã e lagos de jusante.

As variáveis limnológicas agrupadas em Físicas-C (sólidos em suspensão, sólidos totais dissolvidos, sólidos totais, sólidos fixos e sólidos voláteis) serão analisadas na subsuperfície e na profundidade máxima das estações no centro da calha do rio Madeira e no canal do lago Cuniã e somente na subsuperfície das estações nos afluentes nos lagos de jusante. As variáveis limnológicas agrupadas em Química IB (DBO), Química IC (DQO), Químicas ID (formas de carbono), Química II (gás carbônico, alcalinidade e dureza), Química III (íons), Química V (ferro total e ferro dissolvido) e Elementos traço (Al, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb, Si, Sn e Zn) serão analisadas na subsuperfície e na profundidade máxima das estações no centro da calha do rio Madeira e somente na subsuperfície das estações nos tributários, nos lagos de jusante e no canal do lago Cuniã. Os Óleos e graxas e Coliformes serão analisados somente na subsuperfície em todas as estações de amostragem.

No lago Cuniã, todas as variáveis dos grupos Química I-B a D serão analisadas na subsuperfície e dos grupos Físicas-C, Química II, III, V e elementos traçosas serão analisadas na subsuperfície e na profundidade máxima das estações do lago Cuniã (LC.01 e LC.02), quando possível.

As variáveis do grupo Químicas IV (nitrogênio, fósforo e suas frações) serão analisadas na subsuperfície e na profundidade máxima das estações no centro da calha do rio Madeira. As variáveis biológicas serão analisadas na subsuperfície nas estações no centro da calha do rio Madeira. As variáveis do grupo Químicas IV (nitrogênio, fósforo e suas frações), clorofila a, fitoplâncton e zooplâncton nos tributários e lago Cuniã terão tratamento diferenciado apresentado a seguir.

Nos tributários, as variáveis do grupo Químicas IV (nitrogênio, fósforo e suas frações), clorofila a, fitoplâncton e zooplâncton serão analisadas em diferentes profundidades:

- até 4 m de profundidade será coletada amostra apenas na superfície;
- de 4 m a 8 m profundidade serão coletadas amostras na superfície e fundo;
- acima de 8 m profundidade serão coletadas amostras na superfície, meio e fundo.

- No lago Cuniã (LC.01 e LC.02), as variáveis do grupo Químicas IV (nitrogênio, fósforo e suas frações), clorofila a, fitoplâncton e zooplâncton serão analisadas em diferentes profundidades:
- até 2 m de profundidade será coletada amostra apenas na superfície;
- de 2 m a 4 m de profundidade serão coletadas amostras na superfície e fundo;
- de 4 m a 6 m de profundidade serão coletadas amostras na superfície, meio e fundo;
- de 6 a 8 m de profundidade serão coletadas amostras em 4 profundidades
- acima de 8 m de profundidade serão coletadas amostras em 5 profundidades, no máximo, distribuídas equitativamente.

O estudo ao longo de 24 horas (nictemeral) será realizado nos lagos Cuniã e São Miguel e no rio Madeira em mais um período de águas baixas e águas altas. A variação nictemeral no rio Madeira será com base nos resultados do monitoramento em tempo real das sondas instaladas próximas à estações MON.01 e JUS.01, e será apresentado juntamente com os resultados do monitoramento em tempo real.

As estações de coleta definidas para as análises de compostos orgânicos semi-voláteis (SVOCs), sedimentos, invertebrados bentônicos, isótopos e velocidade de corrente são coincidentes: Caripuna (CAR), Jaci-Paraná 01 (JAC.01), Caracol (CRC), Teotônio (TEO), Montante 03 (MON.03), Jatuarana I (JAT I), Montante 01 (MON.01), Jusante 01 (JUS.01) e Jusante 02 (JUS.02). Na região a montante do eixo da barragem, as estações selecionadas para realização destas análises são representativas das áreas mais favoráveis a ocorrência de organismos bentônicos, por se tratar da confluência dos tributários com o leito principal.

O grupo Química VI contempla elementos-traço e os SVOCs. Para determinação da presença de elementos-traço em água, serão analisadas as concentrações de Al, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb, Si, Sn e Zn em amostras coletadas nas 27 estações de amostragem. Para determinação da presença de SVOCs serão analisadas as concentrações de Alaclor; Aldrin e Dieldrin; Atrazina; Benzo(a)antraceno; Benzo(a)pireno; Benzo(b)fluoranteno; Benzo(k)fluoranteno; Carbaril; Clordano (cis e trans); 2-Clorofenol; Criseno; 2,4-D; Demeton (Demeton-O e Demeton-S); Dibenzo(a,h)antraceno; 2,4-Diclorofenol; DDT (p,p'-DDT, p,p'-DDE e p,p'-DDD); Dodecacloropentaciclodecano; Endossulfan (a, b e sulfato); Endrin; Heptacloro e Heptacloro Epóxido; Indeno(1,2,3,cd)pireno; Lindano (g-HCH); Malation; Metoxicloro; Metolacloro; Paration;

PCB's - Bifenilas Policloradas; Pentaclorofenol; Simazina; 2,4,5-T; 2,4,5-TP; 2,4,6-Triclorofenol; Trifluralina e Hexaclorobenzeno em amostras de subsuperfície da coluna d'água e sedimento, a serem coletadas nas 09 estações selecionadas.

5.3 - COLETA, CONSERVAÇÃO E ANÁLISE DAS AMOSTRAS

Em cada estação de coleta serão feitas anotações a respeito do ambiente de entorno e da área de drenagem das estações amostradas. O grupo das variáveis Física A será determinado em campo, com auxílio de equipamentos portáteis. Os grupos de variáveis Físicas B, Físico-Químicas e Química 1A serão determinados em campo, com o auxílio de uma sonda multiparâmetros. Para determinação dos demais grupos de variáveis, as amostras de água serão coletadas para análise posterior. Para coleta de amostras em diferentes profundidades será utilizada garrafa de Van Dorn. As amostras serão transportadas em frascos de polietileno ou vidro e devidamente preservadas até o momento da análise **Quadro 5-3**.

Quadro 5-3 - Procedimentos de preservação, armazenamento e tempo de estocagem de amostras para as análises das variáveis limnológicas.

| VARIÁVEIS | Frasco | Mínimo | Preservação | Tempo indicado | Tolerável |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|--------|--------------------------------------------------------------|----------------|-----------|
| Físicas-A | | | | | |
| Temperatura do ar Profundidade Transparência Coeficiente atenuação vertical Zona eufótica | | | Imediatamente | | |
| Cor | P,V | 500 | Refrigerar a 4±2 °C | 48 h | 48 h |
| Velocidade de corrente | | | imediatamente | | |
| Físicas-B | | | | | |
| Temperatura da água | | | imediatamente | | |
| Físicas-C | | | | | |
| Turbidez | P,V | 100 | Analisar no mesmo dia; estocar no escuro após 24h | 24 h | 48 h |
| Sólidos em suspensão Sólidos totais dissolvidos Sólidos totais Sólidos fixos Sólidos voláteis | P,V | 200 | Refrigerar a 4±2 °C | 2 dias | 7 dias |
| Físico-químicas | | | | | |
| Condutividade elétrica | | | Refrigerar a 4±2 °C caso não seja medido imediatamente | Imediatamente | 28 dias |
| Potencial hidrogeniônico (pH) Concentração molar [H ⁺] | | | Imediatamente | 0.2h | 0.2h |
| Químicas | | | | | |
| Oxigênio, demandas e relações de consumo | | | | | |
| Químicas I-A | | | | | |
| Oxigênio - percentagem de saturação Oxigênio - concentração | | | Imediatamente | Imediatamente | 0.2h |

| VARIÁVEIS | Frasco | Mínimo | Preservação | Tempo indicado | Tolerável |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|--------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|-----------|
| Q u í m i c a s I - B | | | | | |
| O ₂ . inicial (Winkler DBO)% O ₂ inicial (Winkler DBO) mg/ L O ₂ 5 dias Demanda bioquímica de oxigênio -DBO ₅ | V, frasco para DBO | 300 | Fixar com 1 mL de sulfato manganoso e 1 mL de álcali-iodeto. Refrigerar a 4±2 °C | 6 h | 48 h |
| Q u í m i c a s I - C | | | | | |
| Demanda química de oxigênio -DQO Carbono bioquimicamente oxidado (C.DBO) | P,V | 100 | Analisar o mais breve possível, ou adicionar H ₂ SO ₄ até pH<2; Refrigerar a 4±2 °C. | 7 dias | 28 dias |
| Q u í m i c a s I - D | | | | | |
| DBO.100/O ₂ -consumo de O ₂ pela DBO ₅ O ₂ .100/DQO -o O ₂ presente é x% da DQO DBO.100/DQO -a DBO ₅ é x% da DQO O ₂ .100/(DBO+DQO) -o O ₂ é x% das demandas | N.R. | N.R. | N.R. | N.R. | N.R. |
| Carbono inorgânico Carbono orgânico total (quimicamente oxidado) Carbono total Carbono orgânico refratário | V(B) | 100 | Analisar imediatamente; ou refrigerar e adicionar HCl, H ₃ PO ₄ ou H ₂ SO ₄ para pH<2 | 7 dias | 28 dias |
| Q u í m i c a s II | | | | | |
| Sistema tampão | | | | | |
| Gás carbônico livre Gás carbônico total | P,V | 200 | Refrigerar a 4±2 °C. | N.R. | N.R. |
| Alcalinidade Alcalinidade de bicarbonatos | P,V | 200 | Refrigerar a 4±2 °C. | 24 h | 14 dias |
| Dureza Dureza devido ao cálcio e magnésio | P,V | 100 | Adicionar HNO ₃ ou H ₂ SO ₄ ajustando o para pH<2; Refrigerar a 4±2 °C | N.R. | N.R. |
| Q u í m i c a s III | | | | | |
| Íons principais | | | | | |
| Na ⁺ , K ⁺ , Ca ²⁺ , Mg ²⁺ | P,V | 100 | Refrigerar a 4±2 °C | N.R. | N.R. |
| Cl ⁻ , SO ₄ ⁻ , HCO ₃ ⁻ | P,V | 100 | Refrigerar a 4±2 °C | N.R. | N.R. |
| Q u í m i c a s IV | | | | | |
| Nutrientes inorgânicos e suas frações | | | | | |
| Nitrogênio amoniacal | P,V | 500 | Analisar o mais breve possível e adicionar Refrigerar a 4±2 °C | 7 dias | 28 dias |
| Nitrito | P,V | 100 | Analisar o mais breve possível; refrigerar a 4±2 °C | 48 h | 48 h |
| Nitrato | P,V | 100 | Analisar o mais breve possível; refrigerar a 4±2 °C; | 48 h | 48 h |

Legenda: P = Plástico; V(B) = vidro borosilicato; V = vidro; N.R. = não referenciada

5.3.1 - Variáveis abióticas

As técnicas de análise de amostras de água para análises físicas e químicas seguirão os 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 5-4 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 no caso necessário.

Quadro 5-4 - Grupos de variáveis limnológicas, unidades de medida, equipamentos utilizados e limites de detecção.

| VARIÁVEIS | Unidade | Método / Equipamento | Detecção |
|--------------------------------------|-----------------|---------------------------------------------|----------|
| Físicas - A | | | |
| Temperatura do ar | °C | termômetro digital | 0,1 |
| Profundidade | m | ecobatímetro | 0,1 |
| Transparência | m | disco de Secchi | 0,05 |
| Coeficiente atenuação vertical | m ⁻¹ | calculado | 0,01 |
| Zona eufótica | m | calculado | 0,01 |
| Cor | mg Pt/L | espectrofotométrico | 0,1 |
| Velocidade de corrente | m/s | fluxômetro | 0,1 |
| Físicas - B | | | |
| Temperatura da água | °C | potenciométrico / sonda YSI 6600 | 0,1 |
| Físicas - C | | | |
| Turbidez | NTU | nefelométrico turbidímetro / sonda YSI 6600 | 0,01 |
| Sólidos em suspensão | mg/L | gravimétrico entre 103- 105 ° C | 0,1 |
| Sólidos totais dissolvidos | mg/L | gravimétrico a 180° C | 0,1 |
| Sólidos totais | mg/L | Calculado | 0,1 |
| Sólidos fixos | mg/L | evaporação / gravimétrico | 0,1 |
| Sólidos voláteis | mg/L | evaporação / gravimétrico | 0,1 |
| Físico-químicas | | | |
| Condutividade elétrica | µS/cm | potenciométrico / sonda YSI 6600 | 0,1 |
| Potencial hidrogeniônico (pH) | pH | potenciométrico / sonda YSI 6600 | 0,001 |
| Concentração molar [H ⁺] | µmol/L | calculado | 0,001 |

| VARIÁVEIS | Unidade | Método / Equipamento | Deteção |
|---------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|---------|
| Q u í m i c a s | | | |
| Oxigênio, demandas e relações de consumo | | | |
| Q u í m i c a s I - A | | | |
| Oxigênio -porcentagem de saturação | % | oxímetro / sonda YSI 6600 | 0,1 |
| Oxigênio -concentração | mg/L | oxímetro / sonda YSI 6600 | 0,01 |
| Q u í m i c a s I - B | | | |
| O ₂ inicial (DBO) -porcentagem de saturação | % saturação | oxímetro luminescente (LDO) | 0,1 |
| O ₂ inicial (DBO) -concentração | mg/L | oxímetro luminescente (LDO) | 0,01 |
| O ₂ 5 dias | mg/L | oxímetro luminescente (LDO) | 0,01 |
| Demanda bioquímica de oxigênio - DBO ₅ | mg/L | incubação por 5 dias | 1 |
| Q u í m i c a s I - C | | | |
| Demanda química de oxigênio -DQO | mg/L | método do refluxo fechado /oxidação com o kmnO ₄ | 1 |
| Carbono bioquimicamente oxidado (C.DBO) | mg/L | calculado a partir da DBO | 1 |
| Q u í m i c a s I - D | | | |
| DBO.100/O ₂ | % | calculado a partir do O ₂ inicial e da DBO ₅ | 0,1 |
| O ₂ .100/DQO | % | calculado a partir do O ₂ inicial e da DQO | 0,1 |
| DBO.100/DQO | % | calculado a partir do O ₂ inicial e da DBO ₅ e da DQO | 0,1 |
| O ₂ .100/(DBO+DQO) | % | calculado a partir do O ₂ inicial e da DBO ₅ e da DQO | 0,1 |
| Carbono inorgânico | mg/L | calculado a partir do CO ₂ total | 0,05 |
| Carbono orgânico total (quimicamente oxidado) | mg/L | calculado a partir da DQO | 0,05 |
| Carbono total | mg/L | calculado a partir do C orgânico e inorgânico | 0,05 |
| Carbono orgânico refratário | mg/L | C orgânico subtraído do C bioquimicamente oxidado | 0,05 |
| Q u í m i c a s II | | | |
| Sistema tampão | | | |
| Gás carbônico livre | mg/L | titulação potenciométrica com NaOH | 0,05 |
| Gás carbônico total | mg/L | titulação potenciométrica com HCl | 0,05 |
| Alcalinidade | meq | titulação potenciométrica com NaOH e HCl | 0,001 |
| Alcalinidade de bicarbonatos | HCO ₃ ⁻ /L | titulação potenciométrica com NaOH e HCl | 0,05 |
| Dureza | CaCO ₃ mg /L | calculado a partir das concentrações de Ca e Mg | 0,05 |
| Dureza devido ao cálcio e magnésio | d° Ca,Mg | calculado a partir das concentrações de Ca e Mg | 0,05 |
| Q u í m i c a s III | | | |
| Íons principais | | | |
| Na ⁺ , K ⁺ , Ca ²⁺ , Mg ²⁺ | mg/L | espectroscopia / absorção atômica | 0,01 |
| Cl ⁻ , SO ₄ ²⁻ , HCO ₃ ⁻ | mg/L | espectroscopia / absorção atômica | 0,01 |
| Q u í m i c a s IV | | | |
| Nutrientes inorgânicos e suas frações | | | |
| Nitrogênio amoniacal | mg/L | espectrofotometria por Nessler | 0,001 |
| Nitrito | mg/L | espectrofotométrico por Diazotação | 0,001 |
| Nitrato | mg/L | coluna Cd/espectrofotométrico | 0,001 |
| Nitrogênio inorgânico dissolvido | mg/L | espectrofotométrico | 0,001 |

| VARIÁVEIS | Unidade | Método / Equipamento | Deteção |
|--------------------------------------------------------------------|---------|-----------------------------------------------------------------------------|---------|
| Nitrogênio total dissolvido | mg/L | digestão com persulfato / espectrofotométrico | 0,001 |
| Nitrogênio total | mg/L | digestão com persulfato / espectrofotométrico | 0,001 |
| Nitrogênio orgânico dissolvido | mg/L | espectrofotométrico | 0,001 |
| Nitrogênio orgânico total | mg/L | digestão com persulfato / espectrofotométrico | 0,001 |
| Nitrogênio particulado | mg/L | digestão com persulfato / espectrofotométrico | 0,001 |
| Ortofosfato | mg/L | espectrofotométrico | 0,001 |
| Fósforo total dissolvido | mg/L | digestão com persulfato / espectrofotométrico | 0,001 |
| Fósforo total | mg/L | digestão com persulfato / espectrofotométrico | 0,001 |
| Fósforo orgânico dissolvido | mg/L | espectrofotométrico | 0,001 |
| Fósforo orgânico total | mg/L | espectrofotométrico | 0,001 |
| Fósforo particulado | mg/L | digestão com persulfato / espectrofotométrico | 0,001 |
| Silicatos reativos | mg/L | molibdato de amônio / espectrofotométrico | 0,001 |
| Q u í m i c a s V | | | |
| Ferro dissolvido | mg/L | fenantrolina / espectrometria de massa | 0,0005 |
| Ferro total | mg/L | fenantrolina / espectrometria de massa | 0,001 |
| Óleos e graxas | mg/L | gravimétrico: extração com n-hexano em Soxhlet | 2 |
| Q u í m i c a s VI | | | |
| Elementos-traço e Compostos Orgânicos Semi-voláteis (SVOCs) | | | |
| Al e Cu dissolvidos | µg/L | espectrometria de massa com fonte de plasma indutivamente acoplado (ICP/MS) | 0,0001 |
| Ba, Cd, Co, Cr, Mn, Ni, Pb, Si, Sn, Zn, Hg totais | µg/L | espectrometria de massa com fonte de plasma indutivamente acoplado (ICP/MS) | 0,0001 |
| Compostos orgânicos semi-voláteis (SVOCs) | µg/L | cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massa (CG/EM) | 0,05 |

5.3.1.1 - Elementos-traço

Para determinação da presença de elementos-traço, serão analisadas as concentrações de Al dissolvido, Ba, Cd, Co, Cr, Cu dissolvido, Hg, Mn, Ni, Pb, Si, Sn e Zn. Serão analisadas as matrizes água, sedimento e macrófitas. Para a análise em água, em cada estação serão coletados 500 mL de água em frascos de polietileno. Para a preservação será adicionado ácido nítrico concentrado PA até o pH ficar inferior a 2. As amostras de sedimentos serão mantidas refrigeradas e as macrófitas serão lavadas e secas até o momento da análise. As amostras serão armazenadas por no máximo 30 dias para o caso do Mercúrio e 180 dias para os demais elementos-traço. As análises serão feitas por Espectrometria de absorção atômica por chama (AA-400 Perkin Elmer) e Espectrometria de Massa com Fonte de Plasma Indutivamente Acoplado (ICP/MS). A quantificação de mercúrio em sedimento e macrófita serão feitas por Espectrofotometria de Absorção Atômica por geração de vapor frio com sistema de injeção em fluxo (Flow Injection Mercury System - FIMS 400 - Perkin Elmer).

5.3.1.2 - Compostos Orgânicos Semi-Voláteis (SVOCs)

Serão analisadas as concentrações de Compostos Orgânicos Semi-voláteis (SVOCs), em amostras de água e sedimento (**Quadro 5-5**), coletadas em 9 estações: Caripuna (CAR), Jaci-Paraná 01 (JAC.01), Caracol (CRC), Teotônio (TEO), Montante 03 (MON.03), Jatuarana I (JAT I), Montante 01 (MON.01), Jusante 01 (JUS.01) e Jusante 02 (JUS.02). Nas estações selecionadas serão coletadas amostras de água para análise, as quais serão acondicionadas em frasco âmbar de 1L. Para análise em sedimentos serão amostrados 250g em frascos com septo com capacidade de 500 ml. As amostras serão mantidas refrigeradas até o momento da extração.

As análises seguirão o protocolo extração líquido/líquido para cromatografia gasosa (SMEWW 6410B-Extraction Liquid/Liquid GC). As amostras de água e sedimento serão analisadas por Cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massa (CG/EM).

Quadro 5-5 - Lista de compostos orgânicos semi-voláteis (SVOCs) analisados em água e sedimentos, com os respectivos limites de detecção e da Legislação CONAMA.

| Lista de Compostos Orgânicos Semi-Voláteis (SVOCs) | Água | | | Sedimento | | | |
|----------------------------------------------------|---------|-------|----------------------|-----------|--------|----------------------|---------|
| | Unidade | LQ | Limite CONAMA 357/05 | Unidade | LQ | Limite CONAMA 344/04 | |
| | | | Classe 2 | | | Nível 1 | Nível 2 |
| Carbamato | | | | | | | |
| Carbaril | µg/L | 0,02 | 0,02 | mg/kg | 0,015 | | |
| Fenóis | | | | | | | |
| 2-Clorofenol | µg/L | 0,1 | 0,1 | mg/kg | 0,074 | | |
| 2,4-Diclorofenol | µg/L | 0,1 | 0,3 | mg/kg | 0,074 | | |
| Pentaclorofenol | mg/L | 1E-05 | 0,009 | mg/kg | 0,0074 | | |
| 2,4,6-Triclorofenol | mg/L | 0,001 | 0,01 | mg/kg | 0,372 | | |
| HPAs | | | | | | | |
| Benzo(a)antraceno | µg/L | 0,05 | 0,05 | µg/kg | 0,38 | 31,7 | 385 |
| Benzo(a)pireno | µg/L | 0,05 | 0,05 | µg/kg | 0,38 | 31,9 | 782 |
| Benzo(b)fluoranteno | µg/L | 0,05 | 0,05 | µg/kg | 0,38 | | |
| Benzo(k)fluoranteno | µg/L | 0,05 | 0,05 | µg/kg | 0,38 | | |
| Criseno | µg/L | 0,05 | 0,05 | µg/kg | 0,38 | 57,1 | 862 |
| Dibenzo(a,h)antraceno | µg/L | 0,05 | 0,05 | µg/kg | 0,38 | 6,22 | 135 |
| Indeno (1, 2, 3, cd) pireno | µg/L | 0,05 | 0,05 | µg/kg | 0,38 | | |
| Pesticidas Organoclorados | | | | | | | |
| Alaclor | µg/L | 0,005 | 20 | mg/kg | 0,0037 | | |
| Aldrin | µg/L | 0,005 | 0,005 | mg/kg | 0,0022 | | |
| Atrazina | µg/L | 0,01 | 2 | mg/kg | 0,0074 | | |
| Dieldrin | µg/L | 0,005 | 0,005 | µg/kg | 0,23 | 2,85 | 6,67 |
| Cis Clordano | µg/L | 0,02 | 0,04 | µg/kg | 0,38 | | |
| Trans Clordano | µg/L | 0,02 | 0,04 | µg/kg | 0,38 | | |
| 2,4-D | µg/L | 0,1 | 4 | mg/kg | 0,074 | | |

| Lista de Compostos Orgânicos Semi-Voláteis (SVOCs) | Água | | | Sedimento | | | |
|----------------------------------------------------|---------|-------|----------------------|-----------|--------|----------------------|---------|
| | Unidade | LQ | Limite CONAMA 357/05 | Unidade | LQ | Limite CONAMA 344/04 | |
| | | | Classe 2 | | | Nível 1 | Nível 2 |
| DDT (p,p'-DDT, p,p'-DDE e p,p'-DDD) | µg/L | 0,004 | | µg/kg | 0,19 | 1,19 | 4,77 |
| Dodecacloropentaciclodecano | µg/L | 0,001 | 0,001 | mg/kg | 0,0007 | | |
| Endossulfan (a,b e sulfato) | µg/L | 0,009 | 0,056 | mg/kg | 0,0067 | | |
| Endrin | µg/L | 0,003 | 0,004 | µg/kg | 0,23 | 2,67 | 62,4 |
| Heptacloro e Heptacloro Epóxido | µg/L | 0,01 | 0,01 | mg/kg | 0,0074 | | |
| Lindano (g-HCH) | µg/L | 0,003 | 0,02 | mg/kg | 0,0022 | | |
| Metolacloro | µg/L | 0,05 | 10 | mg/kg | 0,037 | | |
| Simazina | µg/L | 0,05 | 2 | mg/kg | 0,037 | | |
| 2,4,5-T | µg/L | 0,005 | 2 | mg/kg | 0,0037 | | |
| 2,4,5-TP | µg/L | 0,005 | 10 | mg/kg | 0,0037 | | |
| Trifluralina | µg/L | 0,05 | 0,2 | mg/kg | 0,037 | | |
| Hexaclorobenzeno | µg/L | 0,005 | 0,0065 | mg/kg | 0,0037 | | |
| Metoxicloro | µg/L | 0,01 | 0,03 | mg/kg | 0,0074 | | |
| Pesticidas Organofosforados | | | | | | | |
| Demeton (Demeton-O e Demeton-S) | µg/L | 0,06 | 0,1 | mg/kg | 0,045 | | |
| Malation | µg/L | 0,01 | 0,1 | mg/kg | 0,0074 | | |
| Paration | µg/L | 0,04 | 0,04 | mg/kg | 0,03 | | |
| PCBs | | | | | | | |
| PCBs - Bifenilas Policlorados | µg/L | 0,001 | 0,001 | µg/kg | 2,61 | 34,1 | 277 |

Após constatação da inexistência de SVOCs na maioria das estações, durante os diferentes períodos amostrados, foi realizada a revisão da frequência de análise destes compostos.

5.3.1.3 - Sedimentos

Os sedimentos superficiais serão coletados em 9 estações de amostragem: Caripuna (CAR), Jaci-Paraná 01 (JAC.01), Caracol (CRC), 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 m². 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. Nas amostras de sedimento será analisada granulometria (areia grossa, areia fina, silte, argila), cinzas, matéria orgânica, carbono orgânico, fósforo total, nitrogênio total, sódio, potássio, cálcio, magnésio, elementos-traço (Al, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb, Si, Sn, Zn) e compostos orgânicos semi-voláteis (SVOCs) (Alaclor; Aldrin e Dieldrin; Atrazina; Benzo(a)antraceno; Benzo(a)pireno; Benzo(b)fluoranteno; Benzo(k)fluoranteno; Carbaril; Clordano (cis e trans); 2-Clorofenol; Criseno; 2,4-D; Demeton (Demeton-O e Demeton-S); Dibenzo(a,h)antraceno; 2,4-Diclorofenol; DDT (p,p'-DDT, p,p'-DDE e p,p'-DDD); Dodecacloropentaciclodecano; Endossulfan (a, b e sulfato); Endrin; Heptacloro e Heptacloro Epóxido; Indeno(1,2,3,cd)pireno; Lindano (g-HCH);

Malation; Metoxicloro; Metolacloro; Paration; PCB's - Bifenilas Policloradas; Pentaclorofenol; Simazina; 2,4,5-T; 2,4,5-TP; 2,4,6-Triclorofenol; Trifluralina e Hexaclorobenzeno), além do detalhado no item 5.3.2.4 - Invertebrados bentônicos. O Quadro 5-6 apresenta uma síntese dos métodos e respectivos equipamentos necessários para realização das análises de sedimentos superficiais, assim como a unidade de medida e limite de detecção do método para cada variável a ser analisada.

Quadro 5-6 - Variáveis analisadas em sedimentos superficiais, unidades de medida, equipamentos utilizados e limites de detecção.

| VARIÁVEIS | Unidade | Método/Equipamento | Deteção |
|---------------------------------------------------------|--------------------|------------------------------------------------------------------|---------|
| Sedimentos Superficiais | | | |
| Invertebrados bentônicos | ind/m ² | draga / contagem | SP |
| 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 |
| Compostos Orgânicos Semi-voláteis (SVOCs) | µg/kg | cromatografia gasosa/espectrometria de massa | 0,5 |

5.3.2 - Variáveis bióticas

As técnicas de análise de amostras de água para análises biológicas seguirão os protocolos padronizados internacionalmente reconhecidos. O Quadro 5-7 apresenta uma síntese dos métodos e respectivos equipamentos necessários para realização das análises biológicas, assim como a unidade de medida e limite de detecção do método para cada variável a ser analisada.

Quadro 5-7 - Variáveis biológicas, unidades de medida, equipamentos utilizados e limites de detecção.

| VARIÁVEIS | Unidade | Método/Equipamento | Deteção |
|-----------------------------|---------|---------------------------------------------------|---------|
| Biológicas | | | |
| Clorofila a (Chla) | µg/L | filtração / maceração / espectrofotométrico | 0,1 |
| Pigmentos totais (Pig tots) | µg/L | filtração / maceração / espectrofotométrico | 0,1 |
| Fitoplâncton | ind/L | coleta direta / rede de plâncton 20 µm / contagem | sp |

| | | | |
|-----------------------------------|------------------------------|----------------------------------------------------|-------|
| Zooplâncton | ind/L | Bomba elétrica / rede de plâncton 68 µm / contagem | sp |
| Coliformes totais | nmp/100 mL | colimétrico - colilert / cultrura | 1,0 |
| <i>Escherichia coli</i> | nmp/100 mL | colimétrico - colilert / cultrura | 1,0 |
| Fracionamento isotópico 13C e 15N | ⁰ / ₀₀ | filtração / espectrômetro de massa | 1,0 |
| Cianotoxinas | µg/L | filtração / extração / cromatografia | 0,001 |

5.3.2.1 - 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. 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 Oedogoniofíceas =

Oedogoniophyceae) serão identificados de acordo com os critérios estabelecidos por Hoek 1993, exceto para cianobactérias (Komárek & Anagnostidis 1999) e diatomáceas (Round et al. 1993).

Densidade Fitoplanctônica (ind.mL⁻¹)

Para determinação da abundância das populações fitoplanctônicas (ind mL⁻¹) 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.

Biomassa Fitoplanctônica (mm³.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 calculado 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.

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, cilindropermopsinas e saxitoxinas serão analisadas de acordo com protocolos internacionalmente reconhecidos. Cilindropermopsinas por HPLC, microcistinas por método imunoenzimático (ELISA) Kit Microcistinas Beacon Analytical Systems e saxitoxinas por cromatografia, de acordo com OSHIMA, Y., 1995.

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, muitas vezes, está 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 ± 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 está sendo construído de forma a manter as vazões do rio próximas às características naturais, ainda as turbinas instaladas (tipo bulbo) irão atuar reduzindo a sedimentação do reservatório. Assim, espera-se que o rio Madeira, mesmo barrado, continuará apresentando alta velocidade de corrente e turbidez, tornando improvável a ocorrência de florações em suas águas. No âmbito do Monitoramento Limnológico não foram registradas, no rio Madeira, densidades superiores a 3.057 céls/mL, durante todos os períodos estudados, valor muito abaixo do limite de 50.000 céls/mL, estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005 para águas doces de Classe 2.

Florações de cianobactérias nos braços do reservatório

Os braços do reservatório, situados nos tributários Jatuarana I, Jaci-Paraná e Teotônio, provavelmente, terão um longo tempo de residência de suas águas. Essa característica, somada ao enriquecimento destes sistemas por material autóctone e aloctone, pode ser favorável à ocorrência de florações. 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 cilindropermopsinas);
- Caso seja comprovada a ocorrência de concentrações acima de 1 µg/L para microcistinas, 3 µg/L para saxitoxinas e 15 µg/L para cilindropermopsinas, o empreendedor deverá comunicar e apresentar os laudos técnicos a 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 abaixo de 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.

Em complemento, a SAE irá prover e realizar ações cabíveis para manutenção da potabilidade da água, com vistas a evitar interrupções no abastecimento público, em conjunto com o órgão gestor responsável pelo abastecimento, a Companhia de Água e Esgoto do Estado de Rondônia - CAERD. O plano em questão será enviado ao IBAMA no prazo de 30 (trinta) dias, como solicitado por meio da correspondência SAE/PVH 1041/2011, protocolada em 27 de setembro de 2011.

5.3.2.2 - Zooplâncton

Para a análise da comunidade zooplanctônica as amostras serão obtidas com o auxílio de uma bomba elétrica, coletados na subsuperfície e nas profundidades determinadas. 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⁻³) 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.

Biomassa Zooplanctônica

A biomassa zooplanctônica será determinada a partir das equações de relação peso - comprimento dos indivíduos de acordo com as formulas 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 formulas 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 um estimado que surge de combinar o número de indivíduos (N) de uma classe de tamanho ou coorte 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 (Mc Cauley, 1984):

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

Onde:

$\ln w$ = logaritmo natural do peso seco (μg), $\ln a$ = 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.

5.3.2.3 - Isótopos

As coletas para o fracionamento isotópico de ^{13}C e ^{15}N serão realizadas em 09 estações de amostragem: Caripuna (CAR), Jaciparanã 01 (JAC.01), Caracol (CRC), Teotônio (TEO), Montante 03 (MON.03), Jatuarana I (JAT I 01), Montante 01 (MON.01), Jusante 01 (JUS.01) e Jusante 02 (JUS.02).

As amostras serão mantidas refrigeradas até o momento da análise. As análises serão feitas a partir da combustão das amostras sob fluxo contínuo de hélio em um analisador elementar (CHN) acoplado a espectrômetro de massa.

5.3.2.4 - Invertebrados bentônicos

Para caracterização dos Invertebrados bentônicos serão analisadas as amostras sedimentos coletadas, em triplicata, em 09 estações: Caripuna (CAR), Jaciparanã 01 (JAC.01), Caracol (CRC), Teotônio (TEO), Montante 03 (MON.03), Jatuarana I (JAT I), Montante 01 (MON.01), Jusante 01 (JUS.01) e Jusante 02 (JUS.02), de acordo com item 5.3.1.3 - Sedimentos.

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 (ind.m^{-2}) serão calculadas de acordo com a área coletada pelo amostrador e expressa em número de organismos/ 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).

5.3.2.5 - 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 m² 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 5-8** 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 5-8 - Variáveis analisadas em macrófitas aquáticas, unidades de medida, equipamentos utilizados e limites de detecção

| VARIÁVEIS | Unidade | Método/Equipamento | Deteccção |
|--------------------------------|---------|--------------------------------------------------|-----------|
| Macrófitas Aquáticas | | | |
| 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).

5.3.2.5.1 - Imagens de satélite dos estandes de macrófitas

No primeiro ano após início do enchimento do reservatório serão identificadas as áreas e os meses mais favoráveis a ocorrência de bancos de macrófitas flutuantes. No segundo ano serão adquiridas imagens de satélites dos meses correspondentes e dos locais onde foi diagnosticada presença de banco de macrófitas flutuantes superiores a 100 m². 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 Multispectral (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 km². 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.

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, assim como pode causar deterioração da 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 o barramento do rio Madeira para 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 será maior.

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 após o enchimento do reservatório 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. Assim, o reservatório da UHE Santo Antônio tem a probabilidade de apresentar problemas com as espécies acima referidas.

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 *Wolfia*, 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):

- (1) 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.
- (2) 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.).
- (3) 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 4 (Mapa das Áreas para o Controle de Macrófitas Aquáticas no reservatório 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 m² 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 m², 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.

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 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.

5.4 - 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 dos lagos e canais. Além disso, será feita a média e o desvio padrão para cada variável nessas três categorias de ambientes, e, quando cabível, todos os parâmetros 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.

O estado trófico de cada uma das estações será definido usando-se o Índice de Estado Trófico (IET) proposto por Carlson (1977) e modificado por Lamparelli (2004). Neste índice, serão levadas em consideração as concentrações de clorofila *a* e de fósforo total, havendo distinção na fórmula para calcular o IET para rios e para reservatórios. Dentre as estações amostradas, as do rio Madeira e dos tributários serão enquadradas como rios, ao passo que as estações dos lagos e dos canais marginais serão enquadradas em reservatórios. As fórmulas usadas estão expressas abaixo:

Rios

$$IET(CL) = 10 \times \left(6 - \frac{0,7 - 0,6 \times (\ln CL)}{\ln 2} \right) - 20$$

$$IET(PT) = 10 \times \left(6 - \frac{0,42 - 0,36 \times (\ln CL)}{\ln 2} \right) - 20$$

Reservatórios

$$IET(CL) = 10 \times \left(6 - \frac{0,92 - 0,34 \times (\ln CL)}{\ln 2} \right)$$

$$IET(PT) = 10 \times \left(6 - \frac{1,77 - 0,42 \times (\ln PT)}{\ln 2} \right)$$

Onde:

PT = concentração de fósforo total em $\mu\text{g.L}^{-1}$

CL = concentração de clorofila em $\mu\text{g.L}^{-1}$

Ln = logaritmo natural

O resultado do IET é a média aritmética simples dos índices relativos ao fósforo total e à clorofila *a*, segundo a equação:

$$IET = \left[\frac{IET(PT) + IET(CL)}{2} \right]$$

O critério usado para a classificação da trofia dos ambientes amostrados será o seguinte:

| Estado Trófico | Critério | P-total (mg PO ₄ ⁻³ .m ⁻³) | Clorofila <i>a</i> – (mg.m ⁻³) |
|-------------------|--------------|--------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| Ultraoligotrófico | IET <47 | P ≤ 8 | CL ≤ 1,17 |
| Oligotrófico | 47 < IET <52 | 8 < P ≤ 19 | 1,17 < CL ≤ 3,24 |
| Mesotrófico | 52 < IET <59 | 19 < P ≤ 52 | 3,24 < CL ≤ 11,03 |
| Eutrófico | 59 < IET <63 | 52 < P ≤ 120 | 11,03 < CL ≤ 30,55 |
| Supereutrófico | 63 < IET <67 | 120 < P ≤ 233 | 30,55 < CL ≤ 69,05 |
| Hipereutrófico | IET >67 | 233 < P | 69,05 < CL |

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:

- q_i 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;
- w_i 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 w_i é igual a 1.

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

- Ótima $79 < IQA \leq 100$
- Boa $51 < IQA \leq 79$
- Regular $36 < IQA \leq 51$
- Ruim $19 < IQA \leq 36$
- Péssima $IQA \leq 19$

5.4.1 - Análises biológicas

Todos os organismos coletados, fitoplâncton, zooplâncton, bentos e macrófitas aquáticas serão objeto das análises descritas a seguir.

5.4.1.1 - Riqueza de espécies

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

5.4.1.2 - 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/m²) nas estações de coleta.

5.4.1.3 -

5.4.1.4 - 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.

5.4.1.5 - 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 B-1 de Harrinson *et al.* (1982) conforme expresso a seguir:

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

Onde:
 B-1= taxa de intercâmbio de espécies
 Y = gama diversidade
 α med = riqueza de espécies média entre os sistemas
 N = número de sistemas

5.4.1.6 - Dominância

Índice de dominância (ROSEMBERG & RESH, 1993) é representado pelo maior valor de abundância relativa (n_i/N) da amostra.

$$DOM = \frac{n_i}{N}$$

Onde:
 n_i = densidade do táxon i
 N = densidade total

5.5 - 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 fitoplânctônicos também será avaliada por ACP, considerando o biovolume total do fitoplâncton no rio Madeira, tributários e lagos e canais 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.

5.6 - 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° 58' 5,06" W 8° 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° 55' 37,57" W 8° 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 apreciar 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.

5.6.1 - Balsa-laboratório

Além de servir de base para um dos sistemas de monitoramento em tempo real, a balsa-laboratório servirá de apoio logístico às campanhas de campo. Para construção da balsa-

laboratório, foi contactado um fabricante de balsas no município de Porto Velho-RO. A balsa, de aproximadamente 144 m², 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 futura barragem, tendo entrado em funcionamento em agosto de 2011.

SUBPROGRAMA DE MODELAGEM DE QUALIDADE DA ÁGUA.

O Subprograma de Modelagem de Qualidade da Água será realizado conforme proposta protocolada em 22 de junho de 2011, por meio da correspondência SAE/PVH 0633/2011.

O Modelo será calibrado com dados limnológicos do período de enchimento, estabilização e pós-enchimento; o relatório da aferição do modelo, bem como o prognóstico da qualidade da água para 5, 10, 15, 20 e 30 anos será apresentado em outubro de 2012.

5.6.2 - Relatórios

Relatórios Mensais Enchimento

Durante a fase de enchimento do reservatório, serão elaborados relatórios técnicos mensais, apresentando descrição dos resultados de temperatura da água, transparência, turbidez, oxigênio dissolvido, pH, DBO e avaliação dos perfis térmicos, em cópia digital.

Relatório Consolidado Enchimento

Ao final da fase de enchimento, será elaborado relatório técnico consolidado, apresentando introdução, objetivos, material e métodos, resultados, análises estatísticas, discussão, conclusões e recomendações, em cópia digital e impressa.

Relatório Consolidado Estabilização

Ao final da fase de estabilização, será elaborado relatório técnico consolidado, apresentando introdução, objetivos, material e métodos, resultados, análises estatísticas, discussão, conclusões e recomendações, em cópia digital e impressa.

Os relatórios consolidados de enchimento e estabilização precisam de 3 meses para serem consolidados, em virtude das análises químicas, físicas e biológicas, além da estatística.

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.

6 - CRONOGRAMA

| Ano | 2011 | | | 2012 | | | | | | | | | | | | 2013 | | | | | | | | | |
|------------------------------------------------------------------------|------------------------|---|---|---------------------------|---|---|---|---|---|----------------------|---|---|---|---|---|------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Mês | O | N | D | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | J | F | M | A | M | J | J | A | S | |
| Programa de Monitoramento Limnológico e de Macrófitas Aquáticas | Fase Enchimento | | | Fase Estabilização | | | | | | Fase Operação | | | | | | | | | | | | | | | |
| Campanhas de Campo - Perfis Diários | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Campanhas de Campo - Variáveis Físicas e Químicas - Coleta Mensal | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Campanha de Campo - Variáveis Biológicas - Coleta Bimestral | ■ | | ■ | | ■ | | ■ | | ■ | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Campanha de Campo - Coleta Sazonal* | ■ | | ■ | | | | ■ | | ■ | | | | ■ | | | ■ | | | ■ | | | ■ | | | |
| Monitoramento em Tempo Real | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| Relatórios Mensais Enchimento | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | | | | |
| Relatório Consolidado Enchimento | | | | | | ■ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Relatório Consolidado Estabilização | | | | | | | | | | | | ■ | | | | | | | | | | | | | |
| Relatórios Trimestrais Operação | | | | | | | | | | | | | | ■ | | | ■ | | | | ■ | | | | |
| Relatórios Consolidado Operação | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ■ | |

*As campanhas sazonais englobarão as coletas mensais e as bimestrais.

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 fitoplâncton, zooplâncton, bentos 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 |
| 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 professora do 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 |

| Profissional | Formação | Função | Registro Geral/ CTF IBAMA |
|-----------------------------------|----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|
| 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 | - |
| 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 Higinio 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 trofia 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., KORTELAJNEN, 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**. 2nd 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. **Limnolical Analysis**. W. B. Saunders Co. Philadelphia. 357pp. 2000.

