



2541-00-MLM-RL-0001-00

# UHE SANTO ANTÔNIO NO RIO MADEIRA

Monitoramento Limnológico e de Macrófitas Aquáticas - Relatório 1 (Fase de Operação)

-				
1			$\sim$	_
ı	N	1 11	1	
	ıv			

6 -	Conclusões	1/0

Março de 2013 | *Indice* 1/1





2541-00-MLM-RL-0001-00

UHE SANTO ANTÔNIO NO RIO MADEIRA

Monitoramento Limnológico e de Macrófitas Aquáticas - Relatório 1 (Fase de Operação)

# 6 - CONCLUSÕES

Em síntese, as seguintes considerações podem ser feitas acerca das condições limnológicas do rio Madeira, dos tributários e dos lagos e canais, a partir dos resultados obtidos na campanha de monitoramento ocorrida em novembro de 2012 no reservatório da UHE Santo Antônio no rio Madeira:

### Variáveis abióticas

# Coluna d'água

Apesar do reservatório da UHE Santo Antônio funcionar a fio d'água, o que promove constante renovação da água e dificulta a formação de estratificação térmica, os perfis de temperatura das estações amostradas na calha central do rio Madeira mostraram que a temperatura nas estações MON.04, MON.03, MON.02, MON.01 e JUS.02 decresceram levemente em direção ao fundo. Em relação ao oxigênio dissolvido, foi observada pouca variação vertical nas estações do rio Madeira. As concentrações de OD foram quase sempre superiores a 5 mg/L e houve um aumento das concentrações de OD a jusante em virtude da passagem da água pelos vertedouros.

Dentre os tributários, os igarapés Jatuarana II (JAT II) e Belmont (BEL) e o rio Jaci-Paraná (JAC.02 e JAC.03) não apresentaram estratificação térmica, ao contrário dos demais tributários monitorados situados a montante (igarapés Caripuna, Teotônio, Jatuarana I, Ceará e o rio Caracol). Nos tributários de montante, o tempo de residência da água é mais elevado do que na calha central do rio Madeira, o que favorece a estratificação térmica. Os mesmos tributários que apresentaram estratificação térmica apresentaram estratificação química de oxigênio, com exceção da estação CEA, no igarapé Ceará. A ocorrência de estratificação, tanto térmica como química, é comum e esperada, em virtude da formação do reservatório. Nos lagos e canais, situados a jusante do reservatório, não houve estratificação térmica ou química ao longo do período de estudo. Os resultados não indicam nenhum tipo de efeito do represamento sobre esses ambientes.

As estações situadas no rio Madeira mantiveram elevados valores de sólidos e turbidez durante o período estudado (águas baixas), havendo indicativos de uma leve sedimentação do material sólido em função da formação do reservatório, uma vez que as concentrações foram maiores nas estações MON.05, MON.04 e MON.03 quando comparadas com MON.02 e MON.01. De acordo com

Março de 2013 6 - Conclusões 1/8





UHE SANTO ANTÔNIO NO RIO MADEIRA

Monitoramento Limnológico e de Macrófitas Aquáticas - Relatório 1 (Fase de Operação)

2541-00-MLM-RL-0001-00

a análise de componentes principais (ACP), as estações dos tributários TEO, JAT I e CEA apresentaram característica da água semelhante à do rio Madeira. Essas estações estão em braços do reservatório, áreas que foram inundadas pela água do rio Madeira. As estações que caracterizam a água desses igarapés que antes banhavam essas estações são, respectivamente, TEO.01, JAT I.01 e CEA.01. As estações no interior desses igarapés apresentam, geralmente, menores concentrações de oxigênio dissolvido. Isso ocorre tanto em função do maior tempo de residência da água como das características naturais desses ambientes, que apresentam água menos oxigenada que o rio Madeira.

No rio Madeira, nos tributários e nos lagos e canais, a DBO foi baixa e não se alterou em função da criação do reservatório. Cabe salientar, que o período de águas baixas o aporte de matéria alóctone é menor.

No rio Madeira, nos tributários e nos lagos e canais a fração que mais contribuiu para o nitrogênio inorgânico dissolvido foi o nitrato (98%, 96% e 98%, respectivamente). Isso é esperado, visto que é mais provável a ocorrência de nitrato em águas bem oxigenadas, como foi geralmente o caso dos ambientes estudados. Os resultados encontrados não indicaram mudanças na dinâmica do nitrogênio nos ambientes amostrados.

Quanto ao fósforo, as concentrações foram elevadas, principalmente no rio Madeira. Contudo, a maior parte do fósforo está na forma particulada e indisponível para uso da biota. O rio Madeira transporta naturalmente uma elevada carga de fósforo, carreado para o rio em grandes proporções na parte andina da bacia de drenagem. Caso fosse esperado algum efeito do barramento, este seria a diminuição do fósforo em função de uma potencial perda por sedimentação.

#### Sedimento

Durante as águas baixas de 2012 do reservatório da UHE Santo Antônio do rio Madeira, os compartimentos estudados (rio Madeira e tributários) não apresentaram diferenças expressivas para os nutrientes essenciais e elementos-traço avaliados.

A baixa concentração de matéria orgânica nos sedimentos destes ambientes permite classificálos como minerais.

2/8 6 - Conclusões Março de 2013



Ecology Brasil

2541-00-MLM-RL-0001-00

UHE SANTO ANTÔNIO NO RIO MADEIRA

Monitoramento Limnológico e de Macrófitas Aquáticas - Relatório 1 (Fase de Operação)

A natureza de granulometria mais fina (predominância de silte) do sedimento desses ambientes pode estar influenciando, de forma geral, na dinâmica da concentração dos elementos - traço, uma vez que essas frações granulométricas tendem a apresentar maior capacidade de retenção. A estação CAR, apresentou predominância de areia grossa e, por essa razão, apresentou menores concentrações de elementos-traço e de nutrientes essenciais.

De maneira geral, as concentrações de elementos-traço se dispõem em ordem decrescente da seguinte forma: Fe > Al > Si > Mn > Ba > Zn > Ni = Cu > Cr > Pb > Co > Hg. A concentração dos nutrientes essenciais apresentou maior vaiação nos tributários, do que no rio Madeira. Ao comparar os valores médios obtidos no período avaliado com os valores médios já obtidos pelo "Monitoramento Limnológico e de Macrófitas Áquaticas - Fase Implantação", observa-se que os valores são semelhantes, considerando os altos desvios padrões.

A partir do enchimento, a tendência é que a concentração de elementos-traço no sedimento das estações de monitoramento dos tributários (principalmente as situadas na foz) sejam semelhantes as estações de monitoramento do rio Madeira situadas a montante do eixo da barragem.

As concentrações das variáveis medidas no sedimento estão dentro da amplitude de variação registrada nas campanhas de monitoramento passadas, nos respectivos ambientes. Todas as variáveis também se mantiveram abaixo dos valores de alerta estabelecidos pela Resolução CONAMA 454/2012.

Dessa maneira, é possível concluir que a permanência do nível do reservatório da UHE Santo Antônio não proporcionou alterações expressivas na estrutura física e composição química do sedimento dos ambientes no trecho médio do rio Madeira e tributários monitorados.

### Variáveis bióticas

# Fitoplâncton

Considerando as amostras qualitativas e quantitativas, desde o início do monitoramento a riqueza taxonômica foi de 404 espécies distribuídas em 10 classes taxonômicas (62 cianobactérias, 11 criptofíceas, 08 dinoflagelados, 22 crisofíceas, 02 xantofíceas, 61 diatomáceas, 02 rafidofíceas, 22 euglenóides, 152 clorofíceas e 62 zignematofíceas). Esse número equivale a cerca de 10% das cerca de 4000 espécies estimadas para o fitoplâncton de águas continentais (Reynolds, 2006), com maior contribuição das clorofíceas. No mês de

Março de 2013 6 - Conclusões 3/8





UHE SANTO ANTÔNIO NO RIO MADEIRA

2541-00-MLM-RL-0001-00

Monitoramento Limnológico e de Macrófitas Aquáticas - Relatório 1 (Fase de Operação)

novembro de 2012, em particular, ocorreu um total de 165 espécies nos três compartimentos, sendo 29 cianobactérias, 08 criptofíceas, 06 dinoflagelados, 08 crisofíceas, 26 diatomáceas, 02 rafidofíceas, 13 euglenóides, 58 clorofíceas e 15 zignematofíceas. Clorofíceas continuam a ser o grupo com maior número de espécies.

As densidades da comunidade fitoplanctônica variaram desde a ausência total de algas nos tributários JAT II-S e BEL-S a 35.940 ind/mL em CUJ. As densidades médias foram menores no rio Madeira (197 ind/mL), intermediárias nos tributários (2.124 ind/mL) e maiores nos lagos e canais (6.673 ind/mL). Essa mesma tendência foi observada quanto ao biovolume médio (0,13 mm³/L no rio Madeira, 0,71 mm³/L nos tributários e 6,0 mm³/L nos lagos e canais).

Se consideradas as densidades fitoplanctônicas, a composição das classes taxonômicas no rio Madeira e nos tributários foi principalmente representada por clorofíceas, diatomáceas e cianobactérias e nos lagos e canais, por clorofíceas e zignematofíceas. No entanto, se considerado o biovolume médio, as classes mais representativas foram diatomáceas no rio Madeira e tributários, e diatomáceas e zignematofíceas nos lagos e canais.

A riqueza de espécies, em média, foi crescente do Madeira (8 táxons/amostra) para os tributários (12) e destes para os lagos e canais (17), mas a diversidade de Shannon foi igualmente elevada no rio Madeira e nos lagos e canais (3,0 bits/ind), sobretudo dada a maior equitabilidade no rio (96%) e à maior riqueza de espécies nos lagos e canais (17 táxons/amostra). Em média, a diversidade superior a 2,0 bits/ind nos três compartimentos e pode ser considerada como elevada (> 2.0 bits/ind).

A riqueza esperada pela curva de rarefação mostrou diferenças significativas entre a riqueza de espécies nos diferentes compartimentos, para uma mesma densidade, sendo maior nos lagos e canais, intermediária nos tributários e menor no rio Madeira, conforme já registrado em todas as campanhas anteriores.

No conjunto total dos dados, a beta diversidade foi de 28% evidenciando um alto intercâmbio de espécies e homogeneidade na composição da comunidade. Considerando cada sistema em separado, as estações no rio Madeira e nos lagos e canais tiveram uma composição mais heterogênea (46% e 48% respectivamente) se comparada à composição nos tributários (30%).

As populações fitoplanctônicas, quando expressas em densidade, foram em sua maioria representadas por espécies raras, em cada um dos três sistemas (31 espécies nos rio Madeira, 114 nos tributários e 72 nos lagos e canais). Apenas duas espécies (*Melosira varians* e *Nitzschia palea*,

4/8 6 - Conclusões Março de 2013



Ecology Brasil

2541-00-MLM-RL-0001-00

UHE SANTO ANTÔNIO NO RIO MADEIRA

Monitoramento Limnológico e de Macrófitas Aquáticas - Relatório 1 (Fase de Operação)

diatomáceas) no rio Madeira, uma espécie (*Synechococcus nidulans*, cianobactéria) nos tributários e uma espécie (*Plantolyngbya limnetica*, cianobactéria) nos lagos e canais, foram consideradas pouco abundantes. Espécies abundantes e dominantes não foram registradas no mês de novembro de 2012.

Quanto a abundância de cianobactérias, analisadas à luz da Resolução 357/2005 e da Portaria 2.914 de 12 de novembro de 2011 do Ministério da Saúde, nossos resultados mostraram que no mês de novembro de 2012 apenas a estação TEO.01-F (26.331 céls/mL) superou os valores do limite de 20.000 céls/mL, preconizado para águas de Classe 1 e a estação CUJ (744.457 céls/mL) superou os valores do limite de 100.000 céls/mL, preconizado para águas de Classe 3. Todos os sistemas avaliados (rio Madeira, tributários e lagos e canais) são enquadrados na Classe 2. Em relação à Classe 2, somente a estação CUJ ultrapassou o limite de 50.000 céls/mL. A espécie que ocorreu em maior densidade em TEO.01-F foi Synechococcus nidulans (19.812 céls/mL, equivalente a 75% da densidade), a qual pode ser considerada potencialmente tóxica (Sant´Anna et. al, 2008). As espécies que ocorreram em maiores densidades em CUJ foram *Planktolyngbya* limnetica (225.783 céls/mL), Aphanocapsa delicatissima (153.007 céls/mL) Plantolyngbya brevicelularis (151.218 céls/mL) e Aphanocapsa incerta (106.628 céls/mL), para as quais não há registro de toxicicidade em literatura. Mesmo assim e apesar das águas do lago Cujubim não serem utilizadas para abastecimento doméstico e nem mesmo para recreação, foram analisadas as cianotoxinas. Os resultados obtidos para cianotoxinas foram inferiores ao limite de detecção do método analítico utilizado.

# Zooplâncton

O inventário taxonômico dos invertebrados zooplanctônicos no rio Madeira realizado no mês de novembro de 2012 evidencia uma comunidade de elevada riqueza de espécies, principalmente nos tributários, constituída em sua maioria por espécies de ampla distribuição geográfica. A comunidade zooplanctônica da sub-bacia do rio Madeira na área de influência da UHE Santo Antônio do Madeira foi constituída principalmente por grupos de organismos verdadeiramente planctônicos, com destaque para os grupos Rotifera, Protozoa, Cladocera e Copepoda. Nos sistemas avaliados (tributários e lagos e canais) a importância dos principais grupos taxonômicos em relação ao componente riqueza para a diversidade do sistema regional foi em ordem decrescente Rotifera>Protozoa>Cladocera>Copepoda, com exceção nas amostragens do rio Madeira, onde Cladocera foi o grupo dominante, seguido pelos rotíferos.

Março de 2013 6 - Conclusões 5/8





UHE SANTO ANTÔNIO NO RIO MADEIRA

Monitoramento Limnológico e de Macrófitas Aquáticas - Relatório 1 (Fase de Operação)

2541-00-MLM-RL-0001-00

Espacialmente houve grande semelhança de riqueza de espécies em ambas as porções a montante e a jusante da UHE Santo Antônio do Madeira. Quanto a composição, diferem-se, principalmente, pelas espécies *Ceriodaphnia silvestrii* e *Rhacodiaptomus insolitus* que foram registradas apenas nos pontos a jusante. As variações na densidade numérica e riqueza de espécies foram mais pronunciadas nos tributários e lagos e canais do que no rio Madeira, evidenciando a ocorrência de condições mais similares e uma menor diversidade de hábitats neste último. Em relação à biomassa, o grupo Copepoda contribuiu com maiores valores de biomassa nos três sistemas avaliados (rio Madeira, tributários e lagos e canais).

Em geral, a diversidade nos tributários e nos lagos e canais foi mais elevada do que no rio Madeira. Os valores de diversidade registrados tenderam a ser mais altos nos tributários e lagos e canais, e mais baixa no rio Madeira. Os valores de equidade seguiram a mesma tendência dos valores de diversidade, ao passo que a dominância seguiu a tendência inversa a esses parâmetros, nos sistemas avaliados. A diversidade alfa é elevada, mas difere entre os sistemas, sendo: tributários > lagos e canais > rio Madeira. A diversidade beta (entre os sistemas) evidenciou que os sistemas rio Madeira e lagos e canais foram mais heterogêneos entre si e uma menor heterogeneidade foi registrada entre os sistemas tributários e lagos e canais. A diversidade gama se mantém relativamente elevada na região estudada, característica dos sistemas tropicais amazônicos.

# Invertebrados Bentônicos

Nesse período de amostragem foram registrados a ocorrência de 20 táxons sendo 16 pertencente à Classe Insecta. A diversidade de espécies, riqueza e densidade foram maiores nos Tributários, quando comparado com o rio Madeira.

Em novembro a densidade numérica de invertebrados bentônicos foi de 397 ind.m<sup>-2</sup> no rio Madeira e de 3536 ind.m<sup>-2</sup> no Tributários. Os Chironomidae foram os mais abundantes no Madeira e nos Tributários, sendo que *Aedokritu*s e *Polypedilum* foram os táxons mais frequentes da fauna.

O Grupo Trófico Funcional mais abundante foi o dos coletores nos tributários. Isto está associado à elevada densidade de Chironomidae nas amostras. A elevada abundância de Polymitarcidae (Ephmeroptera) nos Tributários indica uma boa qualidade ambiental (água e sedimento) nesse local. O Polymitarcidae (Ephmeroptera) associou-se positivamente a fração de areia, corroborando com a sua preferência pelo substrato arenoso.

6 - Conclusões Março de 2013





2541-00-MLM-RL-0001-00

UHE SANTO ANTÔNIO NO RIO MADEIRA

Monitoramento Limnológico e de Macrófitas Aquáticas - Relatório 1 (Fase de Operação)

Foi registrada a ocorrência de Planorbidae (hospedeiros intermediários do *Schistossoma mansoni*, trematódeo causador da Esquistossomose) na estação MON.03 (rio Madeira), em novembro de 2012. Com relação à similaridade dos invertebrados bentônicos entre as estações de coleta foi evidenciada a formação de agrupamentos separando as estações do rio Madeira das estações dos Tributários.

## Macrófitas Aquáticas

As comunidades de macrófitas aquáticas no rio Madeira, seus tributários e lagos e canais na área de influência da UHE Santo Antônio no rio Madeira apresentaram uma riqueza de espécies moderada. *Eichhornia crassipes* e *Salvinia auriculata* foram as espécies que mais contribuíram em densidade numérica e biomassa, sendo dominantes na maioria dos sistemas amostrados, diminuindo o valor do índice de equitabilidade

A dominância da família Pontederiace nos sistemas avaliados contribuiu com os baixos valores da diversidade alfa, além do grande número de espécies raras registradas. As densidades das espécies *Salvinia auriculata* e *Eichhornia crassipes* podem ser um alerta para a possibilidade de crescimento das populações de macrófitas flutuantes, o que precisa ser monitorado, pois caso ocorra deverá ser alvo de intervenção ainda na fase inicial da proliferação.

Em relação à quantificação de elementos-traço nas macrófitas aquáticas em novembro de 2012, os elementos Cd, Hg e Sn ficaram abaixo do limite de quantificação do método. Os elementos Cr, Co e Pb não foram quantificados em todas as estações monitoradas. Para os elementos quantificados em todas as estações de monitoramento avaliadas observou-se que as concentrações se dispõem, em ordem decrescente, da seguinte maneira: Fe > Al > Mn > Si> Ba > Zn > Cu > Ni.

### Monitoramento em tempo real

Os resultados obtidos nos 184 dias de monitoramento em tempo real da qualidade da água indicam condições relativamente preservadas no rio Madeira e evidenciaram a forte influência do pulso hidrológico na qualidade da água, além de pequenas modificações após o enchimento e operação do reservatório. As modificações estiveram relacionadas com o aumento das concentrações de oxigênio dissolvido a jusante da barragem da UHE Santo Antônio, devido ao turbilhonamento da água pela passagem no vertedouro.

Março de 2013 6 - Conclusões 7/8



Ecology Brasil

UHE SANTO ANTÔNIO NO RIO MADEIRA

2541-00-MLM-RL-0001-00

Monitoramento Limnológico e de Macrófitas Aquáticas - Relatório 1 (Fase de Operação)

A água do rio Madeira apresentou, no geral, uma tendência de aumento na temperatura de agosto a novembro de 2011. A turbidez apresentou uma tendência de redução de julho a outubro de 2012, com picos expressivos em ambas as estações no mês de agosto e novembro de 2012. Em novembro a turbidez do rio Madeira começou a se elevar, associada às características naturais da região. Oscilações naturais bruscas na cota do rio Madeira exercem forte influência sobre a turbidez e condutividade elétrica, que apresentaram picos de variação relacionados aos períodos hidrológicos nas mesmas ocasiões dos pulsos de inundação do rio Madeira. Em relação ao pH e ao oxigênio dissolvido, as concentrações estiveram de acordo com os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/05.

De maneira geral, as variáveis pH, oxigênio dissolvido e turbidez foram superiores a jusante em relação a montante no período de águas baixas de 2012. A turbidez foi significativamente diferente em agosto e novembro de 2012, quando ocorreram picos nos valores de turbidez, entretanto, as concentrações de oxigênio dissolvido foram significativamente diferentes em todo o período avaliado. Já a temperatura, condutividade e sólidos dissolvidos não apresentaram diferenças significativas entre as estações de montante e jusante das obras da UHE Santo Antônio no período de julho a dezembro de 2012.