

ÍNDICE

6 - Conclusões.....	1/9
---------------------	-----

6 - CONCLUSÕES

Em síntese, as seguintes considerações podem ser feitas acerca das condições limnológicas do rio Madeira, tributários e do lago Cuniã, a partir dos resultados obtidos na campanha de outubro de 2013 do Monitoramento Limnológico e de Macrófitas Aquáticas da UHE Santo Antônio no rio Madeira:

Variáveis abióticas

- Coluna d'água

Os perfis de temperatura mostraram estratificação térmica nos primeiros metros da coluna d'água nas estações situadas na calha central do rio Madeira, que foi mais acentuada em MON.01, situada logo a montante da barragem. Nos tributários, especialmente naqueles situados a montante do reservatório, também houve estabelecimento de estratos com temperatura diferente, com águas mais quentes na superfície assim como vêm sendo registrado, a partir da fase do enchimento do reservatório.

Nas estações de montante da calha central do rio Madeira, as concentrações de sólidos e os valores de turbidez foram geralmente mais elevados no fundo, e houve uma tendência de diminuição nos valores dessas variáveis de MON.05 em direção a MON.01. Em outros períodos amostrados durante a fase de operação essa dinâmica também foi registrada, porém de maneira menos acentuada. Nas águas baixas, em função do aumento do tempo de residência, há maior gradiente espacial de sólidos.

Em relação ao oxigênio dissolvido, foi observada pouca variação vertical nas estações do rio Madeira, embora tenha havido leve decréscimo em direção ao fundo, nas estações mais próximas ao barramento. As concentrações de OD foram sempre superiores a 5 mg/L e houve um aumento das concentrações de OD a jusante em virtude da passagem da água pelos vertedouros. Já nos tributários remansados pelo reservatório, houve estratificação vertical clássica do oxigênio, com perfil clinogrado. Os resultados encontrados não indicaram nenhum efeito da criação do reservatório sobre a temperatura, o oxigênio dissolvido e nenhuma outra variável do lago Cuniã. A DBO manteve-se baixa em todos os sistemas avaliados.

As concentrações de fósforo total foram maiores nas estações do rio Madeira, que é naturalmente mais rico em fósforo. Neste sistema, as concentrações foram geralmente maiores na superfície. As estações mais a montante (MON.05 e MON.04) apresentaram concentrações maiores que as demais, sugerindo que, no período de águas baixas, quando a correnteza é menor, há maior gradiente espacial nas concentrações de fósforo.

Nessa campanha de águas baixas, a qualidade da água dos tributários situados dentro do reservatório assemelhou-se mais à dos tributários de jusante do que à das estações do rio Madeira. Isso sugere que a influência das águas do rio Madeira durante esse período do ciclo hidrológico é menos pronunciada.

A análise de componentes principais (ACP) não indicou distinção entre as estações de montante e jusante do rio Madeira, reforçando que a criação do reservatório pouco impactou as características limnológicas na calha central.

▪ Sedimento

Os sedimentos dos ambientes aquáticos na região do médio rio Madeira podem ser classificados como minerais, à exceção das estações CRC, TEO.01, JAC.01, JATI.01 e MON.01 neste período de águas baixas. Em relação aos nutrientes, não foi observada diferença significativa para o fósforo total no rio Madeira e tributários, durante as águas baixas amostradas nas diferentes fases do empreendimento. Diferença significativa foi observada para o nitrogênio total, principalmente nos tributários, onde as fases de pré-enchimento e operação foram diferentes, com maiores concentrações registradas após a formação do reservatório. Ressalta-se, no entanto, que os valores de fósforo e nitrogênio medidos se mantiveram abaixo do valor de alerta estabelecido na Resolução CONAMA 454/2012 neste período de águas baixas.

Não houve diferença significativa para os elementos-traço analisados (Pb, Zn, Hg e Ni) para os períodos de águas baixas avaliados, de modo que só foi encontrada para os elementos Cr e Cu. Neste caso, os valores de cromo foram mais altos na fase de operação no rio Madeira. Conforme observado durante as fases de pré-enchimento e enchimento/estabilização, os valores estiveram de acordo com os limites de alerta especificados na Resolução CONAMA nº 454/2012.

Variáveis bióticas

▪ Fitoplâncton

No conjunto total de dados no mês de outubro de 2013 foram registrados 316 táxons, distribuídos em dez classes taxonômicas. O rio Madeira apresentou um total de 102 táxons, os tributários um total de 216 e o lago Cuniã 73 táxons. Clorofíceas foi a classe que mais contribuiu para a riqueza de espécies no conjunto total dos dados e considerando os sistemas em separado (~40% em cada sistema). Na fase de pré-enchimento do reservatório (2009 e 2010) o número de táxons registrados no conjunto total dos dados foi 188 e 196 táxons respectivamente. Esse número cresceu para 213 táxons na fase de enchimento principalmente pelo aumento de cianobactérias e clorofíceas nos tributários. Em 2012 registrou-se um aumento considerável no número de táxons (404 táxons) principalmente provenientes das amostras qualitativas com contribuição de espécies perifíticas. Clorofíceas e zignematofíceas foram as classes que mais contribuíram para esse aumento da biodiversidade taxonômica no ano de 2012. A classe Clorofíceas sempre foi a que mais contribuiu para a riqueza taxonômica nas diferentes fases do empreendimento.

A densidade fitoplanctônica média no rio Madeira foi 211 ind/mL e, nos tributários 5.934 ind/mL. No Lago Cuniã a densidade foi 3.947 ind/mL. No rio Madeira cianobactérias foram observadas apenas em JUS.02 e representaram somente 17% da densidade total. Criptofíceas, clorofíceas, diatomáceas e crisofíceas foram as classes que mais contribuíram para a densidade total nesse sistema. Nos tributários, de uma forma geral, clorofíceas, crisofíceas e cianobactérias foram as classes que mais contribuíram para a densidade fitoplanctônica total, com exceção de CEA.01-S, onde criptofíceas foram as que mais contribuíram (60%). O biovolume médio no rio Madeira foi 0,068 mm³/L e, nos tributários, 0,866 mm³/L. No Lago Cuniã o biovolume foi 1,955 mm³/L. No rio Madeira a composição das classes taxonômicas expressa em biovolume foi principalmente representada pelas diatomáceas, sendo a contribuição desta classe maior em MON.05 (70%), MON.04 (80%), JUS.01 e JUS.02 (90%) e menor em MON.01 (15%), onde clorofíceas foram as algas de maior contribuição (60%). Nos tributários o biovolume das classes taxonômicas apresentou marcada variabilidade. Criptofíceas contribuíram mais para o biovolume fitoplanctônico total em CEA.01-S (70%), CRC-S (50%) e TEO.01-F (54%); diatomáceas contribuíram mais em JAC.01-S (65%) e CRC-F (55%); crisofíceas e cianobactérias em JAT II-S (43%-cada); clorofíceas em JAM-S (90%). Os tributários apresentaram uma riqueza e densidade maiores nas águas baixas de 2013, se comparadas a fase de pré-enchimento, porém isso não refletiu em um aumento significativo no biovolume.

A riqueza de espécies média foi de 14 táxons/amostra. A diversidade variou de 0,9 bit/ind (JAT II-S) a 4,2 bits/ind (JAC.01-S e CRC-S), com média de 3,0 bits/ind. A equitabilidade variou de 0,3 (CAR-F) a 1,0 principalmente no rio Madeira (MON.05, MON.04, JUS.01, JUS.02 e JUS.03) e a equitabilidade média foi 0,9. Altas riquezas de espécies, diversidade e equitabilidade foram sempre registradas nos períodos de águas baixas nos diferentes compartimentos e inclusive em novembro de 2012 (início da fase de operação). No rio Madeira a riqueza máxima registrada foi 15 táxons/amostra e a diversidade de aproximadamente 4,0 bits/ind e, nos tributários, 30 táxons/amostra e diversidade de aproximadamente 4,5 bits/ind. O período de águas baixas é propício para o desenvolvimento da comunidade fitoplanctônica, dadas as menores vazões e regime menos turbulento nos sistemas do trecho médio do rio Madeira, contrapondo também o efeito de diluição da comunidade nos períodos de enchente e águas altas.

A **alfa diversidade**, expressa como a média do número de espécies considerando o conjunto total dos dados, foi de 14 táxons. Considerando-se cada sistema, a alfa diversidade média foi de 6 táxons no rio Madeira, 17 táxons nos tributários e 25 táxons em LC.01. As estações do rio Madeira apresentaram **beta diversidade** de 50% e os tributários de 36%. Esse resultado evidencia que durante o período de águas baixas a homogeneidade longitudinal no rio Madeira aumenta se comparada, ao período de águas altas (beta diversidade de 100%). Esse resultado parece controverso, uma vez que o período de águas altas favorece o intercâmbio de espécies (Amorosos & Bornette 2002). Por outro lado, a bacia de drenagem e os rios tributários exercem maior contribuição durante o período de águas altas e pode estar servindo como inoculador local de espécies com conseqüente aumento da beta diversidade, tornando o rio Madeira menos homogêneo nesse período. Seguindo o mesmo raciocínio para o período de águas baixas, o aumento do tempo de residência da água nos tributários e conseqüente "isolamento" desses sistemas com o rio Madeira, proporciona o rio manter sua flora original e sua homogeneidade longitudinal.

As populações fitoplanctônicas, quando expressas em densidade, foram em sua maioria representadas por espécies raras. No rio Madeira, apenas JUS.02 registrou a presença de cianobactérias (*Cylindrospermopsis* sp. - 278 céls/mL). Esses organismos apresentaram considerável variação em relação a densidade nos ambientes avaliados, sendo maior em CAR-S (67.626 céls/mL). Considerando o conjunto de amostras analisadas, de acordo com o critério de densidade de cianobactérias, a maioria das águas analisadas apresentou densidades compatíveis com o limite estabelecido para águas doces de Classe 2 (< 50.000 céls/mL).

A curva de rarefação evidenciou que os tributários permanecem o sistema mais diverso. Tendo por base uma mesma unidade de esforço amostral, uma maior riqueza pode ser esperada nestes ambientes se comparados aos ambientes no rio Madeira e no lago Cuniã, padrão que vinha sendo registrado. Tendo em vista que a diversidade apresenta relação direta com a heterogeneidade ambiental, isso sugere que, mesmo após o barramento, uma heterogeneidade é mantida neste sistema.

No rio Madeira a ACP evidenciou o agrupamento das amostras das águas baixas do ano de 2009 separadamente das amostras dos demais anos (2010, 2011, 2012 e 2013) principalmente pela maior profundidade e condutividade nestas em comparação às primeiras. Através do eixo 2, a ACP evidenciou o agrupamento das amostras do ano de 2010 com maiores pH e concentrações de OD, separadamente das amostras dos demais anos, destacando também as amostras de 2011 pelas maiores concentrações de FSR, nitrogênio amoniacal ($N-NH_4^+$), sólidos em suspensão (SS) e turbidez (Turb). O biovolume total fitoplanctônico não foi significativo para explicar a variabilidade das amostras no período de águas baixas ao longo das diferentes fases do empreendimento. Nos tributários a ACP evidenciou, através do eixo 1, o agrupamento das amostras das águas baixas dos anos de 2012 e 2013, principalmente pela maior profundidade, temperatura da água, pH e biovolumes fitoplanctônicos, separadamente das amostras dos anos de 2009, 2010 e 2011 com maiores concentrações de nutrientes e sólidos em suspensão. Ainda, quando as amostras dos tributários são separadas em montante e jusante, pode-se observar que o agrupamento do quadrante I refere-se aos tributários de montante na fase de operação do reservatório. As amostras que se relacionaram mais diretamente aos maiores biovolumes fitoplanctônicos foram as dos tributários CAR e JATI.01 (2013). Esse resultado evidenciou um possível aumento da biomassa com o aumento da profundidade máxima e temperatura da água, muito provavelmente pelo aumento do tempo de residência da água. Nos lagos e canais a ACP evidenciou, através do eixo 1, o agrupamento das amostras dos anos de 2009 e 2010 separadamente das amostras de 2011, 2012 e 2013 (somente LC.01) principalmente pela maior temperatura da água no primeiro grupo. O gradiente de diminuição da temperatura ao longo dos anos do empreendimento pode estar relacionado a ausência das amostras dos lagos rasos (CUJ e MIG), cujas temperaturas eram elevadas. O eixo 2 evidenciou um gradiente de aumento de nutrientes (FSR e $N-NO_3^-$) e sólidos em suspensão, que esteve relacionado principalmente às amostras de 2011.

As clorofíceas permaneceram sendo a classe dominante nos ambientes dos três sistemas, porém, a diversidade geral aumentou a partir do enchimento. Isso se deve a um aumento na riqueza e a manutenção de elevados valores de equitabilidade nos tributários e lagos, a partir do enchimento, dado provavelmente, ao recrutamento de espécies provenientes desses sistemas. Como consequência, o rio Madeira reduz sua homogeneidade longitudinal, principalmente durante o período de águas altas, quando essas espécies alcançam o rio.

▪ Zooplâncton

O inventário taxonômico dos invertebrados zooplanctônicos no rio Madeira realizado no mês de outubro de 2013 evidencia uma comunidade de elevada riqueza de espécies, principalmente nos tributários, constituída em sua maioria por espécies típicas de regiões tropicais e de ampla distribuição geográfica.

Nos três sistemas avaliados (rio Madeira, tributários e no Lago Cuniã) a importância dos principais grupos taxonômicos em relação ao componente riqueza para a diversidade em âmbito regional foi, em geral, maior pelos Rotifera, seguido por Cladocera e Copepoda, sendo que a contribuição relativa em termos de densidade numérica variou bastante entre os pontos amostrados.

A diversidade foi mais elevada nos tributários e no lago Cuniã quando comparada àquela do rio Madeira. Entretanto, a dominância entre os pontos do rio Madeira, tributários e lago Cuniã foi similar.

Em outubro de 2013, os Copepoda e Cladocera tiveram relevante contribuição para a biomassa no rio Madeira, tributários e lago Cuniã, provavelmente, devido ao maior tamanho corporal de seus indivíduos em relação aos demais grupos.

A diversidade alfa foi elevada, mas difere entre os sistemas, apresentando-se na seguinte ordem: tributários > rio Madeira > Lago Cuniã. A diversidade beta (entre os sistemas) evidenciou que o rio Madeira e tributários foram mais homogêneos entre si e maior heterogeneidade foi registrada entre o rio Madeira e o Lago Cuniã. A diversidade gama (regional) se mantém relativamente elevada na região estudada, característica dos sistemas tropicais amazônicos.

Os tributários detêm a maior riqueza de espécies, evidenciado pela curva de rarefação, razão pela qual a conservação dos mesmos deve ser prioritária, enquanto a riqueza do rio Madeira é a menor.

▪ Invertebrados Bentônicos

A classe Insecta foi a classe dominante dentre os invertebrados bentônicos, apresentando os maiores valores de densidade e riqueza, com destaque para a ordem Diptera. Em relação à diversidade, a família Chironomidae foi a mais diversa, sendo a maioria dos táxons registrados nessa família pertencentes à subfamília Chironominae.

A densidade de Chaoboridae passou a ser maior do que a de Chironomidae nas estações dos tributários. Nas estações de amostragem dos tributários foram registrados os maiores valores de riqueza taxonômica e densidade em relação às estações do rio Madeira. Os maiores valores de diversidade foram registrados para as estações MON.01 (rio Madeira) e JAC.01 (tributários). Esses padrões podem estar associados ao regime hidrodinâmico, uma vez que a menor velocidade da água e o maior tempo de residência típicos dos tributários de montante, favorecem a colonização e crescimento desses organismos.

A curva de rarefação indica que a comunidade bentônica dos tributários é mais diversa do que do rio Madeira, tendo por base uma mesma unidade de esforço. O registro de novas espécies como *Lamproscapha ensiforme* nesta campanha indica que a curva do coletor nestes sistemas ainda não estabilizou.

Os grupos tróficos dos coletores (tributários) e predadores (Madeira) foram os grupos que apresentaram as maiores abundâncias nesta campanha, padrão que vem sendo registrado ao longo da fase de operação.

Na campanha de outubro de 2013 não foi encontrado nenhum vetor de esquistossomose e nem grupos de indivíduos que possam ser enquadrados dentro dos EPTs. Apenas 1 táxon sensível (*Campsurus*) e organismos tolerantes (Gomphidae e *Lamproscapha ensiforme*) foram registrados, o que não permite muitas inferências sobre a qualidade ambiental dos tributários e do rio Madeira.

▪ Macrófitas Aquáticas

A riqueza das comunidades de macrófitas aquáticas no rio Madeira e seus tributários, na área de influência da UHE Santo Antônio no rio Madeira, durante a campanha de outubro de 2013 foi considerada baixa (8 táxons). Não houve ocorrência de macrófitas no lago Cuniã.

De uma forma geral, a dominância de alguns táxons, tais como *Pontederia* sp, *Salvinia minima* e *Paspalum repens*, contribuíram para a diminuição do valor do índice de diversidade específica em algumas estações, por meio da diminuição na equitabilidade. A diversidade específica foi considerada baixa para o rio Madeira e tributários, padrão semelhante às demais campanhas realizadas em anos anteriores. Baixa diversidade tem sido recorrente para o lago Cuniã nas últimas campanhas, o que tem relação com a redução no número de estações avaliadas neste ambiente.

Com relação à densidade, à biomassa e ao grau de dominância das macrófitas na fase de operação do recém-criado reservatório da UHE Santo Antônio do rio Madeira pode-se concluir que, embora não sejam preocupantes, a densidade da espécie *Salvinia minima* e as biomassas dos táxons *Eichhornia crassipes*, *Pontederia* sp, *Paspalum repens* e *Hymenachene amplexicaulis* precisam ser monitoradas, uma vez que essas espécies, na campanha de outubro de 2013, foram abundantes.

As curvas de abundância de espécies no rio Madeira e nos tributários indicaram uma tendência à estabilização após a campanha de outubro de 2013, diferentemente do que foi observado para o período de amostragem entre novembro de 2012 e julho de 2013.

A composição das macrófitas aquáticas registradas nos três sistemas (rio Madeira, seus tributários e os lagos e canais) para o período de águas baixas entre 2009 e 2013 ao longo das fases do empreendimento (pré-enchimento, enchimento + estabilização e operação), apresentaram uma tendência de agrupamento restrito a 2012, conforme dado pelos resultados da NDMS. Em 2013, a composição torna-se mais dissimilar entre os sistemas. As estações de amostragem mais dissimilares foram as localizadas nos tributários, devido à presença das espécies *Cyperus digitatus*, *Hyptis* sp, *Ludwigia affinis*, *L. elegans*, *L. rigida* e *Sphenoclea zeylanica*.

Com relação às tendências observadas para a densidade, a riqueza, a diversidade e a biomassa, pode-se concluir que o sistema rio Madeira aumentaram em densidade e os tributários em riqueza a partir da operação, indicando influência do empreendimento na dinâmica das plantas, o que, no entanto, foi mais evidente no primeiro ano após o enchimento (2012). Para os lagos e canais, não ocorreram diferenças ao longo das fases do empreendimento em relação a esses parâmetros, indicando pouca influência das alterações hidrodinâmicas advindas do empreendimento na comunidade de macrófitas aquáticas.

Com relação à composição química das macrófitas, os cátions mais abundantes foram potássio, cálcio, magnésio e sódio; os elementos-traço cádmio, mercúrio, cobalto, chumbo, cromo e estanho ficaram abaixo do limite de quantificação. Para os elementos que foram quantificáveis, o silício e níquel foram os que apresentaram maiores e menores concentrações, respectivamente. Menores valores de carbono e na proporção de cinzas foram encontrados nas estações situadas mais a montante, com dominância de espécies livres flutuantes. Maiores valores foram registrados nas estações situadas mais próximas a barragem e nos tributários ocorreu dominância de espécies emersas e de folhas flutuantes. Este padrão pode estar associado a dominância de um ou outro grupo funcional em cada estação, uma vez que espécies emersas tendem a ter uma composição mais rica em carbono do que as flutuantes.

- Monitoramento em tempo real

Os resultados obtidos pelo monitoramento em tempo real da qualidade da água evidenciaram a forte influência do pulso hidrológico no rio Madeira, indicando que as condições permanecem relativamente inalteradas. As modificações mais evidentes estiveram relacionadas com o aumento das concentrações de oxigênio a jusante da barragem da UHE Santo Antônio, devido ao turbilhonamento da água pela passagem no vertedouro.

A turbidez apresentou valores elevados, em grande parte do período, estando em geral acima do limite de 100 NTU estabelecido pela Resolução CONAMA 357/05. Embora os valores de turbidez sejam menores ao longo do período de águas baixas, elevada turbidez é uma condição naturalmente esperada para este ecossistema. Em relação ao oxigênio dissolvido, as medições estiveram de acordo com os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/05. No geral, o pH também atendeu a referida legislação. Porém, na estação de jusante, em outubro de 2013, o pH esteve abaixo de 6, o que esteve associado a problemas de deriva do sensor e não a uma condição ambiental.