

ÍNDICE

5.2 - Bióticos	1/60
5.2.1 - Fitoplâncton.....	1/60
5.2.1.1 - Composição	2/60
5.2.1.2 - Densidade	4/60
5.2.1.3 - Biovolume	9/60
5.2.1.4 - Riqueza, diversidade específica e equitabilidade	15/60
5.2.1.5 - Diversidades de espécies (α , β , e γ) no conjunto de dados do segundo ano da fase de operação	22/60
5.2.1.6 - Dominância das populações fitoplanctônicas no conjunto de dados do segundo ano da fase de operação	24/60
5.2.1.7 - Cianobactérias e cianotoxinas no conjunto de dados do segundo ano da fase de operação.....	28/60
5.2.1.8 - A comunidade fitoplanctônica e o ambiente no conjunto de dados do segundo ano da fase de operação	32/60
5.2.1.9 - Análises Consolidadas do Monitoramento Limnológico.....	37/60
5.2.1.9.1 - Densidade absoluta	37/60
5.2.1.9.2 - Biovolume absoluto	40/60
5.2.1.9.3 - Riqueza taxonômica.....	42/60
5.2.1.9.4 - Índice de Diversidade	44/60
5.2.1.9.5 - Diversidades de espécies (α , β , e γ)	45/60
5.2.1.9.6 - Curva de rarefação ao longo dos cinco anos de monitoramento	47/60
5.2.1.9.7 - Cianobactérias e toxinas nos diferentes compartimentos e por períodos hidrológicos ao longo dos cinco anos de monitoramento	48/60
5.2.1.9.8 - A comunidade fitoplanctônica e o ambiente: comparação da densidade e biovolume ao longo dos cinco anos de monitoramento	50/60

5.2.1.10 -	Discussão	56/60
------------	-----------------	-------

ANEXOS

Anexo 5.2.1-1	Lista de Espécies - Digital
Anexo 5.2.1-2	Abundância Total - Digital
Anexo 5.2.1-3	Biovolume Total - Digital
Anexo 5.2.1-4	Dominância dos Táxons - Digital
Anexo 5.2.1-5	Lista de Espécies e Densidades de Cianobactérias - Digital
Anexo 5.2.1-6 -	Laudo de Cianotoxinas CAR-S e JAT I.01/Octubro 2013

5.2 - BIÓTICOS

5.2.1 - Fitoplâncton

O presente relatório refere-se à consolidação dos dados de cinco campanhas de amostragens realizadas no rio Madeira, seus tributários e lago Cuniã (LC.01), durante o segundo ano da fase de operação do reservatório UHE Santo Antônio (outubro de 2013, janeiro, abril, julho e outubro de 2014), abrangendo um ciclo anual das águas amazônicas de águas baixas, enchente, águas altas, vazante e águas baixas, respectivamente. Foi analisado um total de 98 amostras qualitativas e 139 amostras quantitativas. Deste total, três não apresentaram o registro de algas: MON.01, MON.02 e JUS.02 todas da campanha de janeiro de 2014 (período de enchente).

A segunda parte deste relatório refere-se à consolidação dos dados das campanhas sazonais realizadas na UHE Santo Antônio, sendo avaliados os padrões e sendo comparado os resultados obtidos nas fases de pré (campanhas de julho de 2009 a agosto de 2011 - total de 9 campanhas) e pós-enchimento (outubro de 2011 a outubro de 2014, total de 13 campanhas) do reservatório UHE Santo Antônio (rio Madeira, seus tributários e lago Cuniã -LC.01). Também serão discutidos resultados sobre variações à montante e à jusante da barragem no rio Madeira. Foi analisado um total de 622 amostras quantitativas, sendo 203 na fase de pré-enchimento e de 419 na fase de pós-enchimento. Não foram registradas algas em 11 amostras na fase de pré-enchimento: BEL (enchente/2010); JAT I (águas baixas/2010); MON.05, MON.02, JUS.01, JUS.02, CAR-S, CAR-F (enchente/2011-janeiro de 2011); CAR-F (águas altas/2011); JUS.03 e JAT II-S (vazante/2011). Já na fase de pós-enchimento, 30 amostras não apresentaram o registro de algas: JAT II (águas baixas/2011); MON.05, MON.04, MON.01, JUS.01, JUS.02, TEO-F, CEA-S e CEA-F (enchente/2011-dezembro de 2011); JUS.03, TEO-S, TEO-M, CEA-F (vazante/2012); JAT.II-S e BEL-S (águas baixas/2012); MON.05, MON.02, JAC.01-F, CRC-S, TEO-M, TEO-F, JAT.I-M e JAT.I-F (enchente/2013); MON.05, MON.03 e JUS. 03 (águas altas/2013); MON.01 (vazante/2013); MON.01, MON.02 e JUS.02 (enchente/2014).

5.2.1.1 - Composição

A lista das espécies registrada no rio Madeira, seus tributários e no lago Cuniã, considerando as amostras quantitativas e qualitativas nos meses de outubro de 2014, encontra-se no Anexo 5.2.1-1. Foram registrados 316 táxons em outubro de 2013, 264 táxons em janeiro de 2014, 612 táxons em abril de 2014, 295 táxons em julho de 2014 e 332 táxons em outubro de 2014. No mês de outubro de 2014 os táxons encontraram-se distribuídos em 10 classes taxonômicas (26 cianobactérias, 11 criptofíceas, 13 dinoflagelados, 32 crisofíceas, 39 diatomáceas, 03 rafidofíceas, 17 euglenóides, 127 clorofíceas e 59 zignematofíceas), sendo as maiores contribuições entre os táxons, no conjunto total dos dados, de clorofíceas e zignematofíceas (38% e 18%, respectivamente). As clorofíceas apresentaram a maior contribuição de táxons, no conjunto total dos dados (de 27% em abril a 60% em outubro; Figura 5.2.1-1).

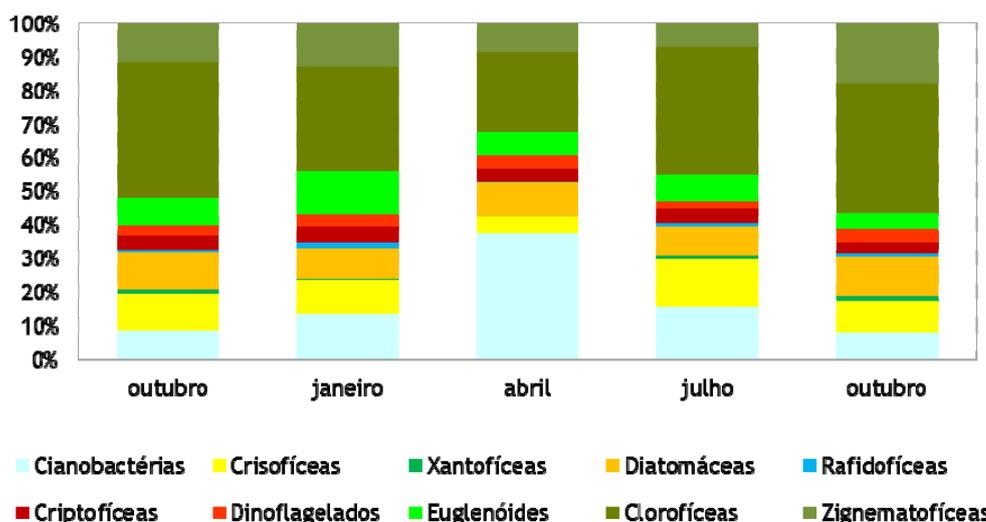


Figura 5.2.1-1 - Contribuição dos táxons para a riqueza taxonômica total (%) considerando as amostras quantitativas e qualitativas dos três sistemas (rio Madeira, tributários e lago Cuniã) durante os meses de outubro/2013, janeiro, abril, julho e outubro/2014.

Considerando-se os sistemas em separado, todos apresentaram maior contribuição de clorofíceas. No rio Madeira essa contribuição foi de 42% em outubro/13, 12% em janeiro, 17% em abril, 37% em julho e 41% em outubro/14. Além destas, diatomáceas (22% em outubro, 28% em janeiro, 9% em abril, 14% em julho e 19% em outubro) e cianobactérias (7% em outubro, 12% em janeiro, 51% em abril, 19% em julho e 5% em outubro - Figura 5.2.1-2-a) também foram importantes. Nos tributários as clorofíceas contribuíram com 43% em outubro/13, 34% em janeiro, 25% em abril, 39% em julho e 38 em outubro/14 - Figura 5.2.1-2-b). No lago Cuniã ocorreram maiores

contribuições de clorófitas (42% em outubro, 33% em janeiro, 30% em abril, 35% em julho e 48% em outubro) e crisófitas (12% em outubro, 17% em janeiro, 5% em abril, 16% em julho e outubro - **Figura 5.2.1-2-c**). De maneira geral, as cianobactérias tiveram maiores contribuições no mês de abril/2014 em todos os sistemas (rio Madeira, tributários e lago Cuniã), enquanto que as clorófitas, nos meses de outubro/2013, julho e outubro/2014.

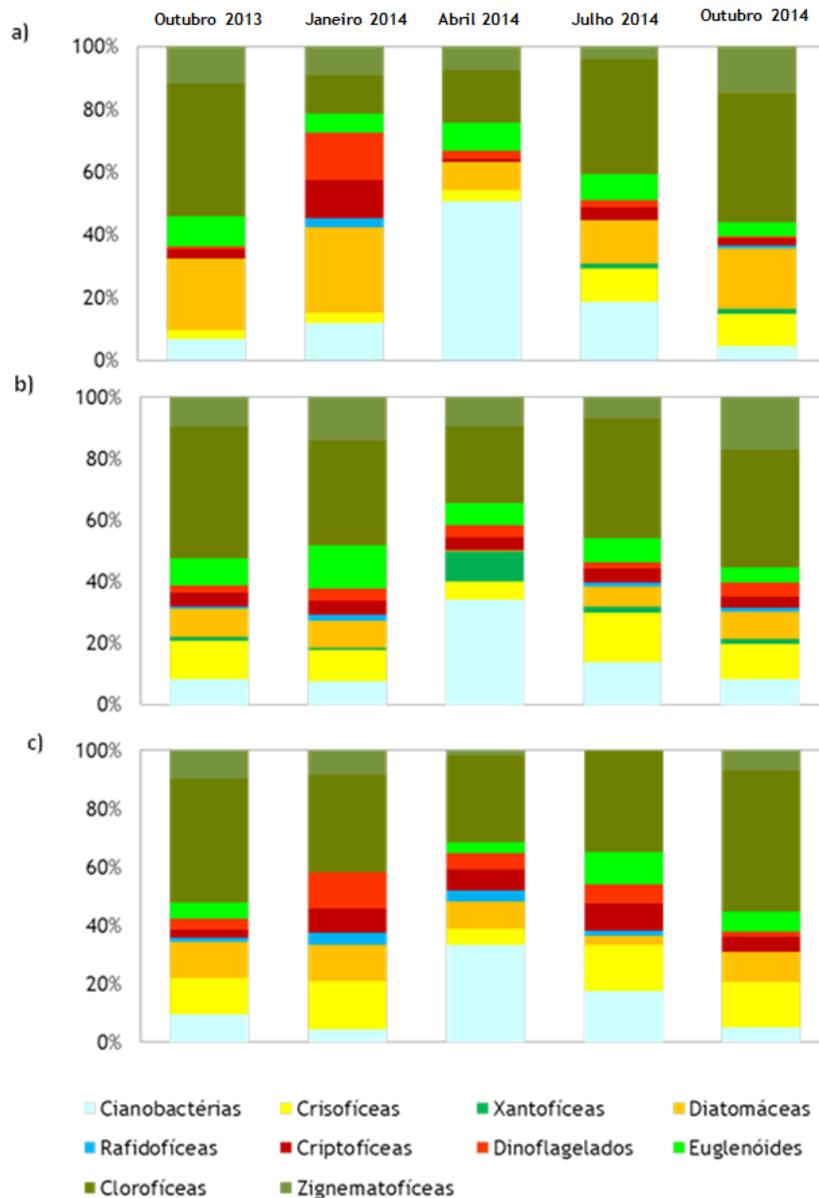


Figura 5.2.1-2 - Contribuição dos táxons para a riqueza taxonômica total (%)
a) rio Madeira, b) tributários e c) lago Cuniã considerando as amostras quantitativas e qualitativas, durante os meses de outubro/2013, janeiro, abril, julho e outubro/2014.

5.2.1.2 - Densidade

As densidades das populações de algas, expressas em indivíduos por mililitro (ind/mL), no rio Madeira, tributários e lago Cuniã durante o mês de outubro de 2014 encontram-se no Anexo 5.2.1-2. Excetuando as unidades amostrais que não apresentaram registros de algas (MON.01, MON.02 e JUS.02 em janeiro/2014), as densidades variaram de 15 ind/mL em JUS.03 em janeiro/2014, chegando ao máximo de 24.251 ind/mL em CAR-F em outubro de 2013, e a densidade média considerando as 139 amostras foi de 2.610 ± 4.051 ind/mL. Ao longo do segundo ano de operação, o rio Madeira apresentou densidade média de 363 ± 351 ind/mL, significativamente menor ($p < 0,05$) que os tributários (3.470 ± 4.565 ind/mL) e significativamente maior no lago Cuniã (4.422 ± 2.935 ind/mL, Figura 5.2.1-3).

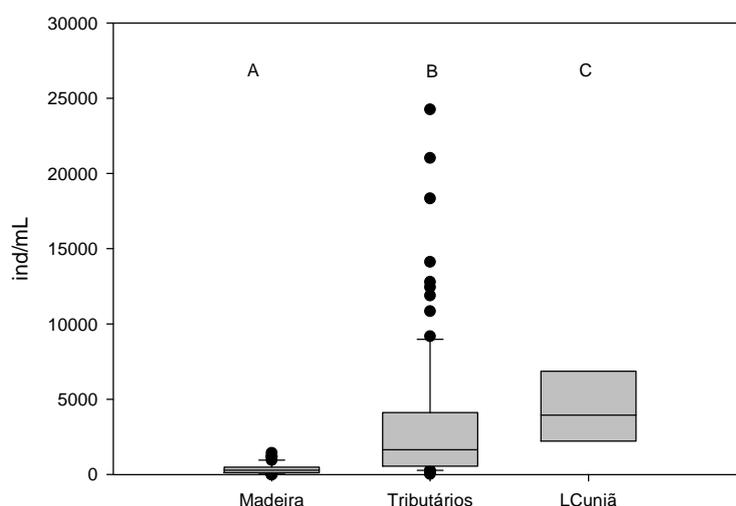


Figura 5.2.1-3 - Densidade total fitoplanctônica (ind/mL) nos diferentes compartimentos do rio Madeira, Tributários e lago Cuniã. Letras diferentes indicam diferenças significativas ($p < 0,05$), considerando os dados de outubro de 2013, janeiro, abril, julho e outubro de 2014.

A seguir, são apresentados os resultados de densidade absoluta e relativa do fitoplâncton no rio Madeira, seus tributários e lago Cuniã em outubro de 2013, janeiro, abril, julho e outubro de 2014.

Rio Madeira

Excetuando-se as unidades amostrais que não apresentaram registros de algas (MON.01, MON.02 e JUS.02 em janeiro/2014), a densidade fitoplanctônica no rio Madeira variou de 15 ind/mL (JUS.03 em janeiro de 2014) a 1.432 ind/mL (JUS.02 em julho/2014). As densidades médias em cada campanha foram de 211 ± 145 ind/mL em outubro/2013, 64 ± 98 ind/mL em janeiro/2014, 221 ± 77 ind/mL em abril/2014, 742 ± 426 ind/mL em julho/2014 e de 577 ± 314 ind/mL em outubro/2014. Entre as diferentes amostragens, a densidade total registrada em janeiro de 2014 (64 ± 98 ind/mL) foi significativamente menor ($p < 0,05$) do que a registrada em julho (742 ± 426 ind/mL) e outubro (577 ± 314 ind/mL) de 2014. Não ocorreram diferenças significativas em relação aos demais períodos amostrados (Figura 5.2.1-4).

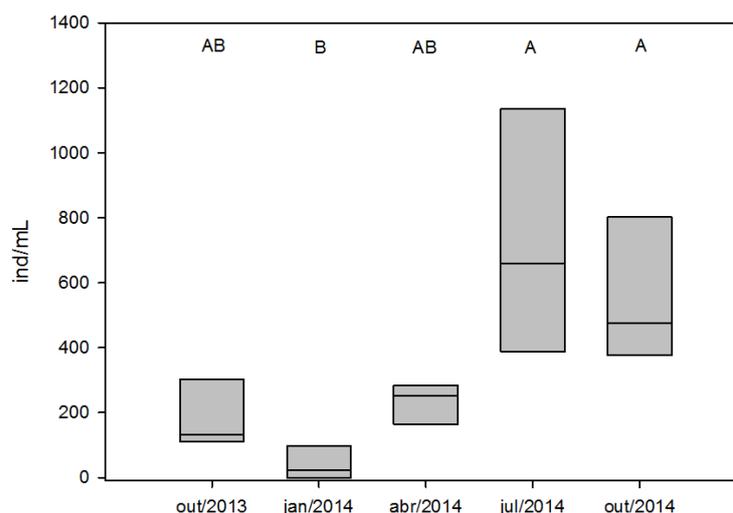


Figura 5.2.1-4 - Densidade total fitoplanctônica (ind/mL) registrada em todas as estações do rio Madeira nos períodos de outubro/2013, janeiro, abril, julho e outubro de 2014. Letras diferentes indicam diferenças significativas ($p < 0,05$).

A composição e contribuição dos diferentes grupos de algas no rio Madeira variaram ao longo das campanhas, sendo verificada uma alteração significativa para as comunidades de cianobactérias ($p < 0,001$), criptofíceas ($p < 0,05$), crisofíceas ($p < 0,001$), diatomáceas ($p < 0,001$) e clorofíceas ($p < 0,001$). As duas primeiras campanhas da fase de operação da UHE Santo Antônio (outubro 2013 e janeiro 2014) foram caracterizadas por maior contribuição de criptofíceas no rio Madeira (Figura 5.2.1-5-a, b, f, g), enquanto que a campanha de abril/2014 foi caracterizada pela grande contribuição de cianobactérias (variação de 60% em JUS.03 a 100% em JUS.01; Figura 5.2.1-5-c, h). Já os períodos de julho e de outubro de 2014 apresentaram contribuição principalmente de

clorofíceas (flutuando de 52,4% em MON.04 a 72,7% em MON.02 em julho/2014 e 25% em MON.05 a 78,6% em MON.02 em outubro/2014; **Figura 5.2.1-5-d, e, i, j**). Crisofíceas também apresentou maior contribuição nestes dois últimos meses amostrados (de 8,0% em JUS.01 a 33,3% em MON.03 em julho/2014) e principalmente em outubro/2014 (de 7,1% em MON.02 a 50,0% em MON.05; (**Figura 5.2.1-5-d, e, i, j**). Diatomáceas apresentaram maior contribuição em outubro/2013 (de 16,7% em MON.03 e JUS.02 a 50,0% em JUS.03; **Figura 5.2.1-5-a, f**) e outubro/2014 (de 12,5% em MON.01 a 27,3% em JUS.01, com exceção de MON.05, onde não foram registradas; (**Figura 5.2.1-5-e, j**).

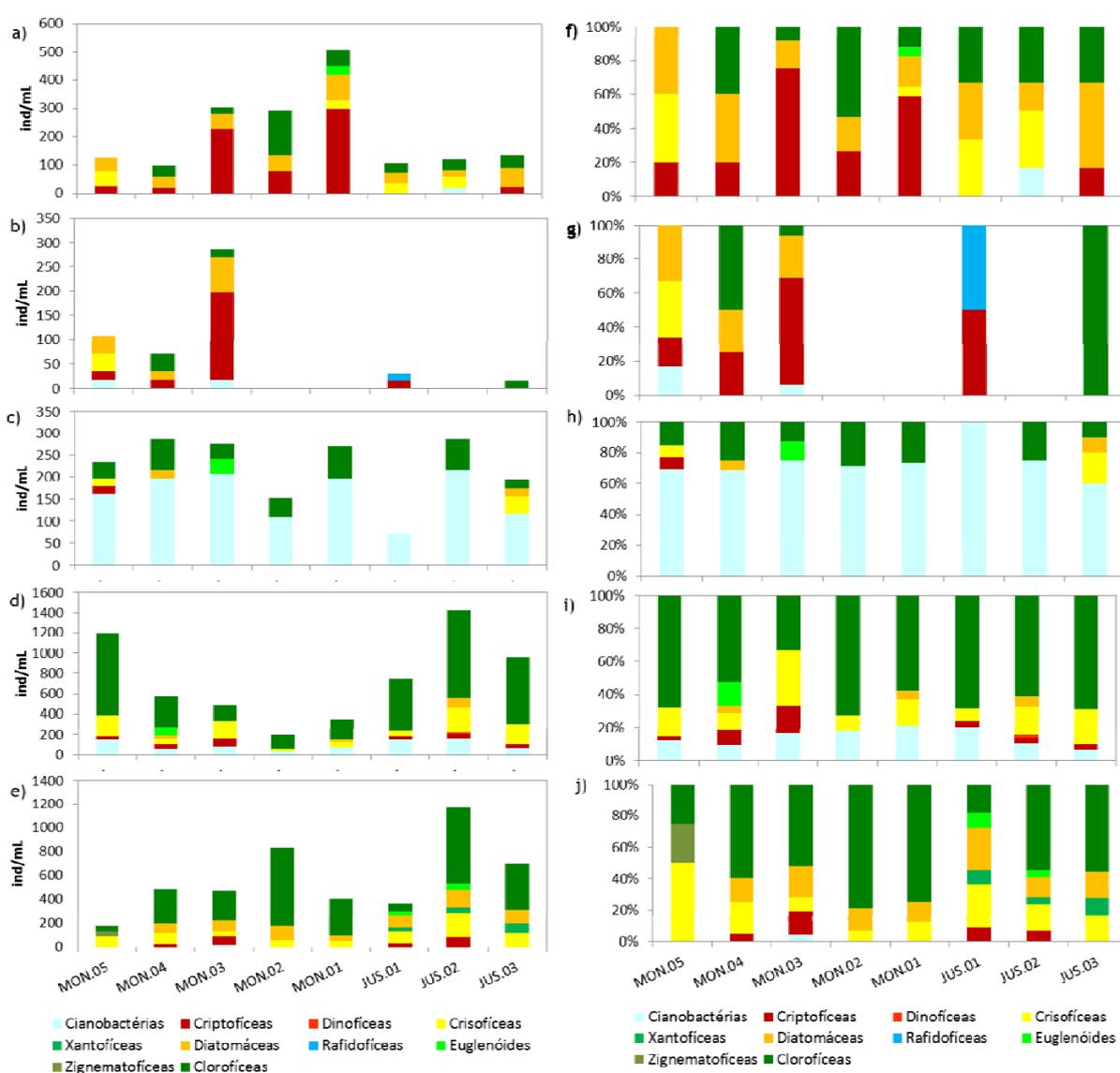


Figura 5.2.1-5 - a-e) Densidade absoluta (ind/mL) e f-j) densidade relativa (%) dos principais grupos taxonômicos da comunidade fitoplânctônica no rio Madeira em outubro 2013 (a, f), janeiro (b, g), abril (c, h), julho (d, i) e outubro 2014 (e, j).

Tributários e LC.01

A densidade fitoplanctônica nos tributários variou de 36 ind/mL em BEL-F (janeiro 2014) a 24.251 ind/mL em CAR-F (outubro/2013) e a densidade média foi de 3.460 ± 4.554 ind/mL. As médias das densidades foram de 5.873 ± 7.309 ind/mL em outubro/2013, 921 ± 934 ind/mL em janeiro/2014, 1.665 ± 5.256 ind/mL em abril/2014, 2.685 ± 2.812 ind/mL em julho/2014 e 6.561 ± 4.855 ind/mL em outubro/2014. As densidades variaram significativamente entre os períodos monitorados ($p < 0,05$), sendo os valores médios de densidade registrados em outubro/2014 significativamente maiores do que os registrados em janeiro/2014 (Figura 5.2.1-6).

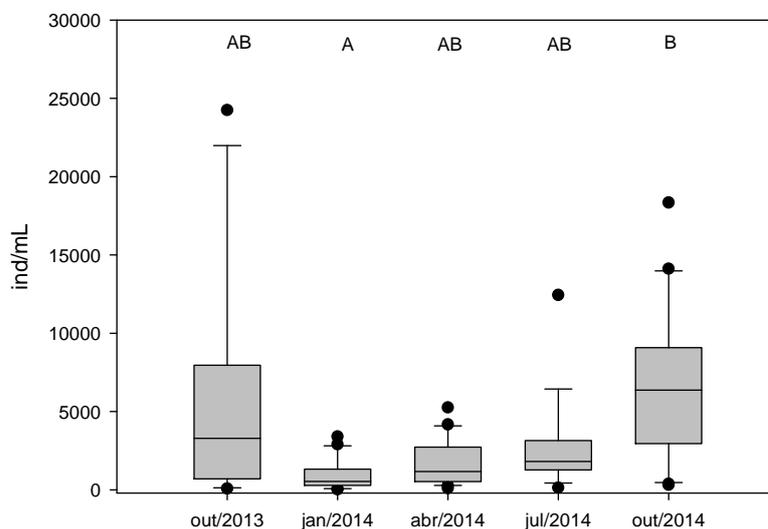


Figura 5.2.1-6 - Densidade total fitoplanctônica (ind/mL) registrada em todas as estações dos tributários do rio Madeira nos períodos de outubro/2013, janeiro, abril, julho e outubro de 2014. Letras diferentes indicam diferenças significativas ($p < 0,05$).

A contribuição das diferentes classes fitoplanctônicas foi bem variável ao longo do tempo nos diferentes pontos amostrados. Os grupos que apresentaram variações significativas ($p < 0,05$) nos diferentes períodos amostrados foram os grupos dos fitoflagelados, criptofíceas, dinoflagelados, crisofíceas, além dos grupos das diatomáceas e clorofíceas. Diatomáceas apresentaram menor contribuição em janeiro/2014 (variando de ausentes a 19,7% em CEA.01-S; Figura 5.2.1-7 -b, g) e criptofíceas, com baixa contribuição em abril/2014 (variando de ausência a 44% em JAC.01-S, Figura 5.2.1-7 -c, h). Crisofíceas apresentaram menor contribuição em janeiro (flutuando de ausentes a um máximo de 26,7% em JAC.02-S, com média de 10% no período, Figura 5.2.1-7 -b, g) e abril de 2014 (flutuando de ausentes a 50% em JAC.02-S, com média de 8,7% no período,

UHE Santo Antônio

2541-00-MLM-RL-0009-00

Monitoramento Limnológico e de Macrófitas Aquáticas -
Relatório 9 / Consolidado das Fases de Instalação e Operação

Figura 5.2.1-7 -c, h). Clorófitas foram as que mais contribuíram para a densidade fitoplanctônica total nas duas últimas campanhas, em praticamente todas as amostras, especialmente em outubro 2014 (flutuando de 18% em JAM-S a 81,8% em JAT.II-S, Figura 5.2.1-7-d, e, i, j).

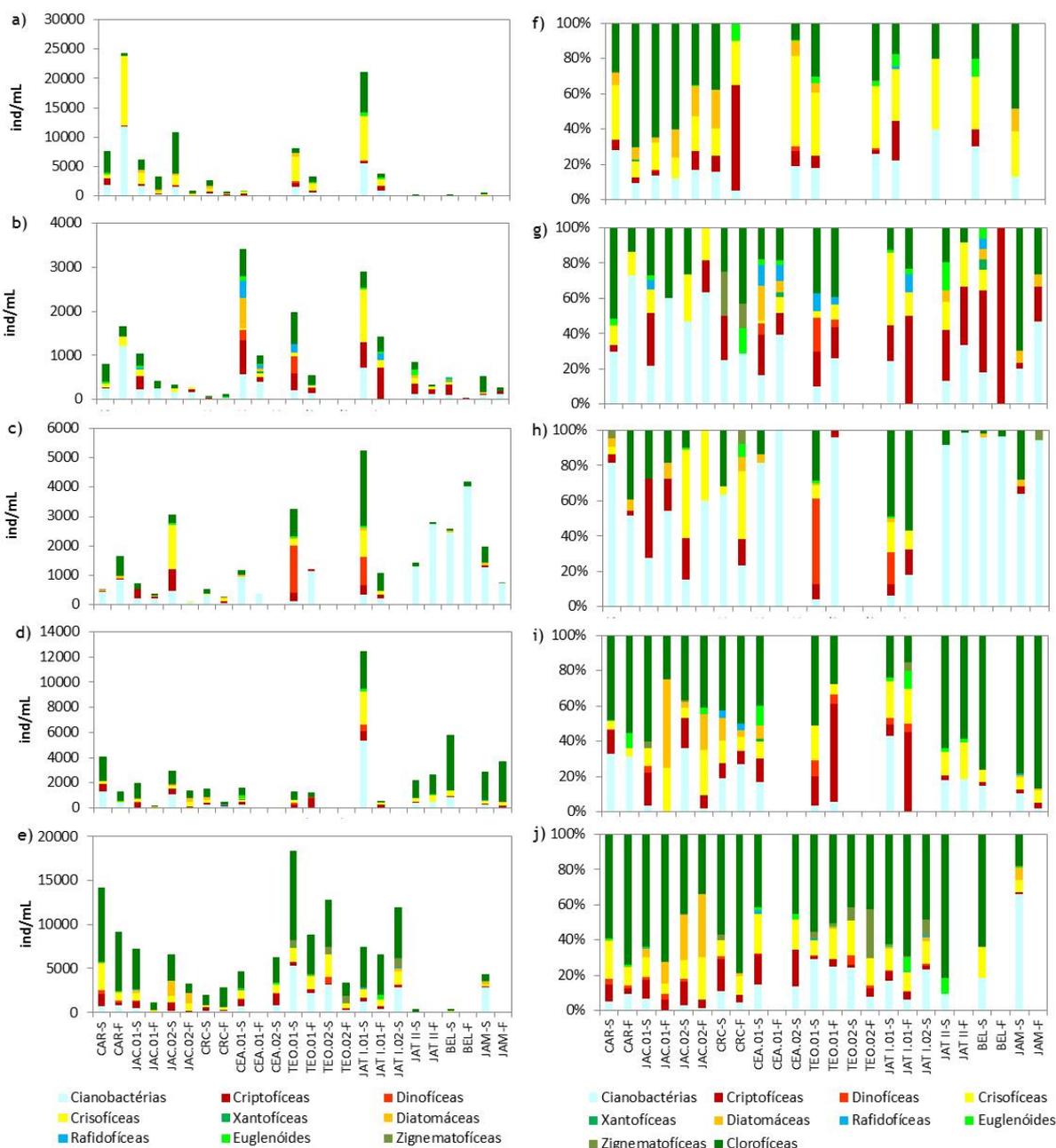


Figura 5.2.1-7 - a-e) Densidade absoluta (ind/mL) e f-j) densidade relativa (%) das principais classes taxonômicas da comunidade fitoplanctônica nos tributários do rio Madeira em outubro 2013 (a, f), janeiro (b, g), abril (c, h), julho (d, i) e outubro de 2014 (e, j).

O lago Cuniã (LC.01) apresentou variação na densidade total fitoplanctônica de 447 ind/mL (LC.01-F) em janeiro/2014 a 9.257 ind/mL em julho de 2014, com média 3.224 ± 2.792 ind/mL. A contribuição da comunidade fitoplanctônica foi variável entre os períodos. O mês de outubro 2013 apresentou uma contribuição de diferentes classes fitoplanctônicas, com predominância de clorofíceas em outubro 2013 (42,3%, LC.01-S), Crisofíceas em janeiro 2014 (43,4%, LC.01-S), cianobactérias em abril 2014 (50%, LC.01-S) e, em julho e outubro 2014, uma predominância novamente de clorofíceas (~57% e 76%, respectivamente, **Figura 5.2.1-8-a, b**).

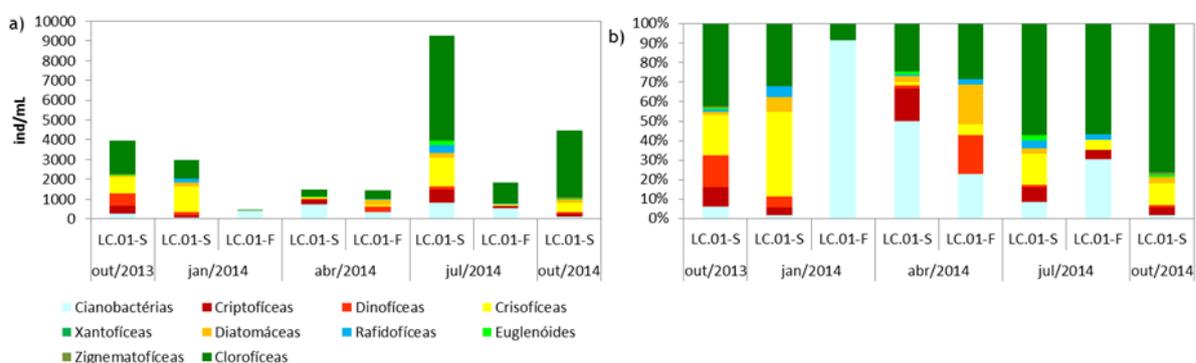


Figura 5.2.1-8 - a) Densidade absoluta (ind/mL) e b) densidade relativa (%) das principais classes taxonômicas da comunidade fitoplanctônica no lago Cuniã em outubro 2013, janeiro, abril, julho e outubro de 2014.

5.2.1.3 - Biovolume

Os dados de biovolume das populações de algas, expressos em milímetros cúbicos por litro (mm^3/L), no mês de outubro de 2014 encontram-se no **Anexo 5.2.1-3**. Excetuando-se as amostras que não apresentaram registro de algas (MON.01, MON.02 e JUS.02 em janeiro/2014), o biovolume variou de $0,001 \text{ mm}^3/\text{L}$ em JUS.02 (abril/2014) a $9,503 \text{ mm}^3/\text{L}$ em LC.01-S (julho/2014- **Figura 5.2.1-11**), com biovolume médio de $0,589 \pm 1,192 \text{ mm}^3/\text{L}$. Considerando o total de amostras em cada compartimento, o biovolume médio do rio Madeira foi de $0,074 \pm 0,081 \text{ mm}^3/\text{L}$, significativamente menor ($p < 0,001$) do que o registrado nos tributários ($0,663 \pm 0,980 \text{ mm}^3/\text{L}$) e no lago Cuniã ($3,313 \pm 3,812 \text{ mm}^3/\text{L}$; **Figura 5.2.1-11**). A seguir, são apresentados os resultados do biovolume absoluto e relativo do fitoplâncton no rio Madeira, seus tributários e lago Cuniã em outubro de 2013, janeiro, abril, julho e outubro de 2014.

UHE Santo Antônio

2541-00-MLM-RL-0009-00

Monitoramento Limnológico e de Macrófitas Aquáticas -
Relatório 9 / Consolidado das Fases de Instalação e Operação

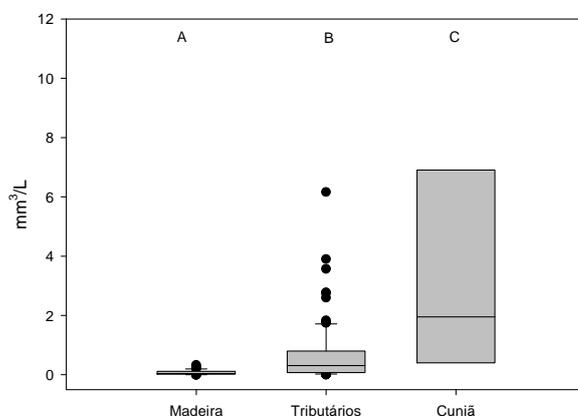


Figura 5.2.1-9 - Biovolume total fitoplanctônica (mm³/mL) nos períodos de outubro/2013, janeiro, abril, julho e outubro de 2014 amostrados nos sistema da UHE Santo Antônio. Letras diferentes indicam diferenças significativas (p<0,05).

Rio Madeira

O biovolume fitoplanctônico no rio Madeira, excetuando as unidades amostrais que não apresentaram registro de algas (MON.01, MON.02 e JUS.02 em janeiro/2014), variou de 0,010 mm³/L (JUS.02 em janeiro/2014) a 0,328 mm³/L (JUS.02), com média de 0,074 ± 0,081 mm³/L. A média do biovolume fitoplanctônico foi de 0,068 ± 0,069 mm³/L em outubro/2013; 0,039 ± 0,083 mm³/L em janeiro/2014; 0,036 ± 0,035 mm³/L em abril/2014; 0,100 ± 0,100 mm³/L em julho/2014 e 0,128 ± 0,080 mm³/L em outubro/2014, com valores significativamente menores (p<0,05) em janeiro/2014 em relação a outubro/2014 (Figura 5.2.1-11).

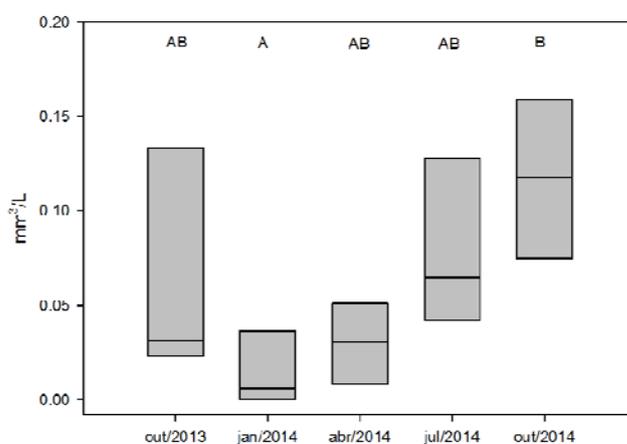


Figura 5.2.1-10 - Biovolume total fitoplanctônico (mm³/L) registrado em todas as estações do rio Madeira nos períodos de outubro/2013, janeiro, abril, julho e outubro de 2014. Letras diferentes indicam diferenças significativas (p<0,05).

A composição fitoplanctônica também variou significativamente nos diferentes períodos amostrados, principalmente cianobactérias ($p < 0,001$), criptofíceas ($p < 0,05$), crisofíceas ($p < 0,001$), diatomáceas ($p < 0,005$) e clorofíceas ($p < 0,001$). Diatomáceas apresentaram menor contribuição no período de abril/2014, sendo registradas apenas em MON.04 (78,5%) e JUS.03 (30,2%; **Figura 5.2.1-11-c, h**), mas com expressiva contribuição nos demais meses, especialmente em outubro/2013 (variando de 15,4% em MON.01 a 96,0% em JUS.03; **Figura 5.2.1-11-a, f**) e outubro/2014 (variando de ausente em MON.05 a 78,6% em JUS.01; **Figura 5.2.1-11-e, j**). Criptofíceas também apresentaram baixa contribuição no mês de abril/2014, quando atingiu o máximo de apenas 2% de contribuição somente em MON.05 (**Figura 5.2.1-11-c, h**). Crisofíceas apresentaram menor contribuição em janeiro/2014 (com um máximo 14% apenas em MON.5, **Figura 5.2.1-11-b, g**) e maior contribuição em outubro/2014, variando de 6,7% em MON.02 a 33,6% em MON.03 (**Figura 5.2.1-11-e, j**). Assim como nos valores observados para densidade e ao contrário das outras classes, cianobactérias apresentaram importante contribuição no mês de abril/2014 (**Figura 5.2.1-11-c, h**), acima de 60% em cinco dos oito pontos (MON.01, MON.02, MON.05, JUS.01 e JUS.02). No entanto, foram quase inexistentes nos meses de outubro/2013 e 2014 e janeiro/2014. Já clorofíceas apresentaram maior contribuição nas duas últimas campanhas, variando de ~4% (JUS.01 e JUS.03) a 50,5% (MON.01) em julho/2014 (**Figura 5.2.1-11-d, i**) e de 7,0% (JUS.03) a 62,9% (MON.04; **Figura 5.2.1-11-e, j**).

UHE Santo Antônio

2541-00-MLM-RL-0009-00

Monitoramento Limnológico e de Macrófitas Aquáticas -
Relatório 9 / Consolidado das Fases de Instalação e Operação

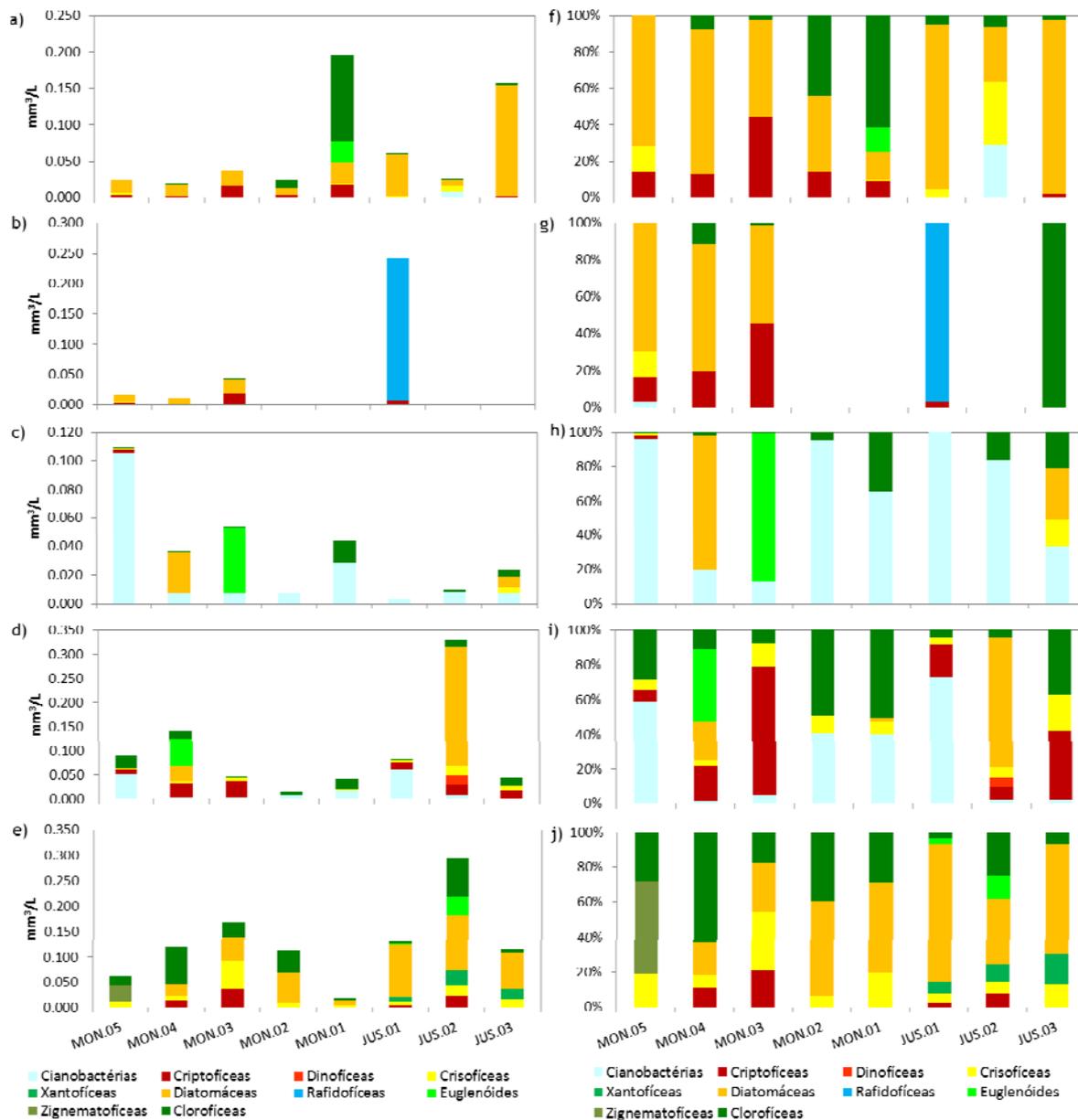


Figura 5.2.1-11 - a-e) Biovolume absoluto (mm³/L) e f-j) biovolume relativo (%) dos principais grupos taxonômicos da comunidade fitoplânctônica no rio Madeira em outubro 2013 (a, f), janeiro (b, g), abril (c, h), julho (d, i) e outubro 2014 (e, j).

Tributários e LC.01

Considerando o conjunto total de dados, o biovolume fitoplanctônico nos tributários variou de 0,003 mm³/L (JAT II-S em outubro/2013) a 6,161 mm³/L (CEA.01-S em janeiro/2014), com média de 0,659 ± 0,971 mm³/L. A média do biovolume foi de 0,842 ± 0,999 mm³/L em outubro/2013; 0,912 ± 1,618 mm³/L em janeiro/2014; 0,132 ± 0,181 mm³/L em abril/2014; 0,518 ± 0,442 mm³/L em julho/2014 e 0,913 ± 0,728 mm³/L em outubro/2014, sendo significativamente menor no período de abril/2014 em relação a outubro/2014 (Figura 5.2.1-11).

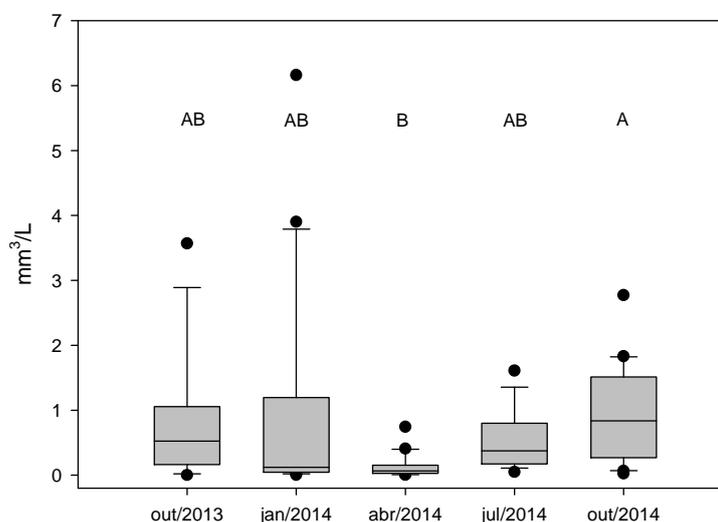


Figura 5.2.1-12 - Biovolume total fitoplanctônico (mm³/L) registrado nos tributários do rio Madeira nos períodos de outubro/2013, janeiro, abril, julho e outubro de 2014. Letras iguais indicam diferenças não significativas ($p > 0,05$).

Entre as contribuições das classes fitoplanctônicas, crisofíceas e clorofíceas apresentaram diferenças significativas ($p < 0,01$) entre os períodos amostrados. Crisofíceas e clorofíceas registraram suas menores contribuições no mês de abril/2014 (Figura 5.2.1-13-c, h) e as maiores principalmente em outubro/2014 (Figura 5.2.1-13-e, j). Crisofíceas foram registradas em oito unidades amostrais (variando de ~2% em JAT I.01 e TEO.01-S a 56,6% em JAC.02-F; Figura 5.2.1-13-c, h). Já as clorofíceas, que também apresentaram baixa contribuição em abril (variando de ausentes a 72,4% em CRC-04; Figura 5.2.1-13-c, h), aumentaram sua contribuição nos meses de outubro/2013 (variando de ~2% em TEO.01-S e CAR-S; Figura 5.2.1-13-a, f) e outubro 2014 (variando de ~4% em JAC.02-F, JAT I.01-F e JAT II-S a 70,7% em BEL-S, Figura 5.2.1-13-e, j). Apesar de rafidofíceas não terem apresentado diferenças significativas entre os períodos, foi possível observar uma maior contribuição em janeiro/2014 (variando de 4,0% em BEL-S a 85,6% em CEA.01-F; Figura 5.2.1-13-b, g). Observou-se, também, uma importante

UHE Santo Antônio

2541-00-MLM-RL-0009-00

Monitoramento Limnológico e de Macrófitas Aquáticas -
Relatório 9 / Consolidado das Fases de Instalação e Operação

contribuição de fitoflagelados (criptofíceas, dinoflagelados, crisofíceas e euglenóides) nas duas últimas campanhas, de julho e outubro/2014 (Figura 5.2.1-13-d, e, i, j).

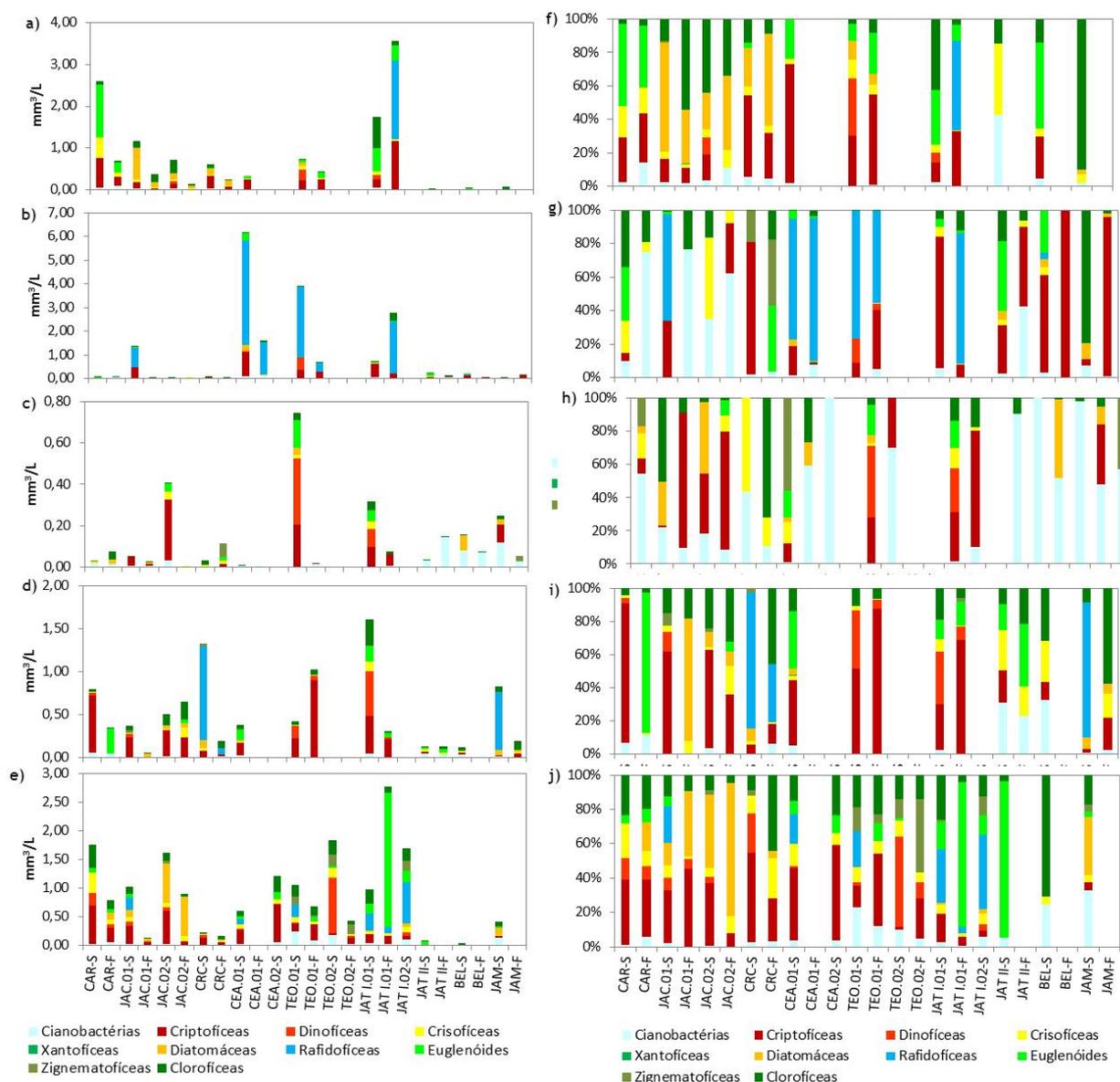


Figura 5.2.1-13 - a-e) Biovolume absoluto (mm^3/L) e f-j) biovolume relativo (%) das principais classes taxonômicas da comunidade fitoplânctônica nos tributários do rio Madeira em outubro 2013 (a, f), janeiro (b, g), abril (c, h), julho (d, i) e outubro de 2014 (e, j).

Considerando o conjunto total dos dados, o biovolume no lago Cuniã (LC.01) variou de 0,073 mm³/L em LC.01-F em janeiro/2014 a 9,503 mm³/L em julho/2014, com média de 2.469 ± 3,152 mm³/L. De maneira geral, a composição fitoplanctônica em biovolume foi representada, principalmente, por fitoflagelados (criptofíceas, dinoflagelados, crisofíceas, rafidofíceas, euglenóides; **Figura 5.2.1-14-a, b**). Rafidofíceas foram dominantes nos meses de janeiro e julho/2014, quando atingiram um máximo de 69,5% e 81,5%, respectivamente. Cianobactérias apresentaram uma maior contribuição em LC.01-F (96,7%) em janeiro/2014 e em LC.01-S no mês de abril/2014 (24,8%). Ao contrário do rio Madeira e tributários, clorofíceas foram menos expressivas, apresentando maior contribuição em outubro/2013 (12,2%, LC.01-S), abril/2014 (14,4%, LC.01-S) e outubro/2014 (20,8%, LC.01-S), enquanto que os dinoflagelados apresentaram importante contribuição em outubro/2013 (77,5%), janeiro/2014 (25,8%, LC.01-S) e abril/2014 (12,1% em LC.01-S e 53,6% em LC.01-F; **Figura 5.2.1-14-a, b**).

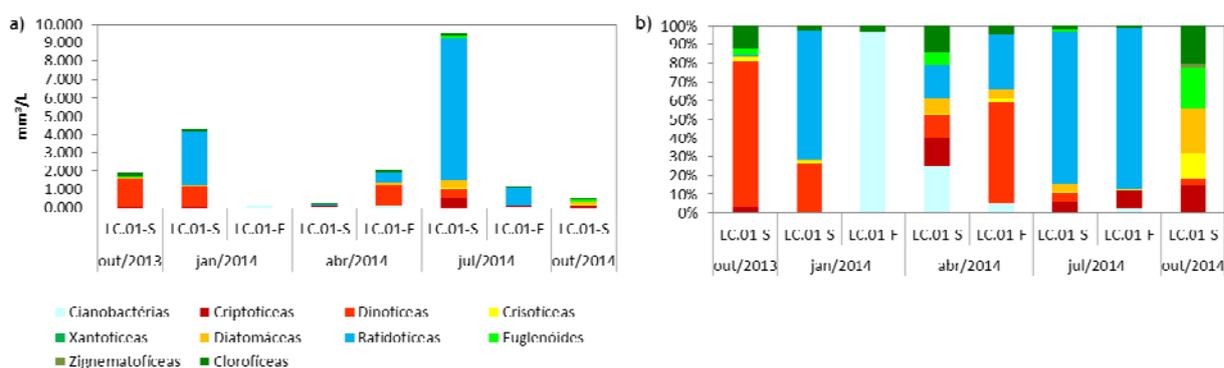


Figura 5.2.1-14 - a) biovolume absoluto (mm³/L) e b) biovolume relativo (%) das principais classes taxonômicas da comunidade fitoplanctônica no lago Cuniã em outubro 2013, janeiro, abril, julho e outubro de 2014.

5.2.1.4 - Riqueza, diversidade específica e equitabilidade

Considerando o rio Madeira, seus tributários e o lago Cuniã, e excetuando as amostras em que não foram registradas algas (MON.01, MON.02 e JUS.02 em janeiro/2014), a riqueza de espécies variou de 1 táxon/amostra (JUS.03, BEL-F em janeiro/2014) a 53 táxons/amostra (JAT I.02-S em outubro/2014), com riqueza de espécies média de 18 ± 12 táxons/amostra. A diversidade variou de 0,0 bit/ind (BEL-F janeiro/2014) a 4,6 bits/ind (CEA.02-S outubro/2014), com média de 3,0 ± 0,9 bit/ind. A equitabilidade variou de 0,0 (BEL-F janeiro/2014) a 1,0 (JUS.02 em outubro/2013, MON.04, JUS.01, CRC-S e F em janeiro/2014; JAC.01-F em julho/2014), com média de 0,8 ± 0,2. Comparando as três regiões, o rio madeira registrou valores significativamente menores de

riqueza e diversidade e maiores de equitabilidade em relação aos tributários e lago Cuniã ($p < 0,001$; Figura 5.2.1-15-a, b, c). A seguir são descritos os resultados de riqueza, diversidade específica e equitabilidade fitoplanctônica para o rio Madeira, seus tributários e lago Cuniã em outubro de 2013, janeiro, abril, julho e outubro de 2014.

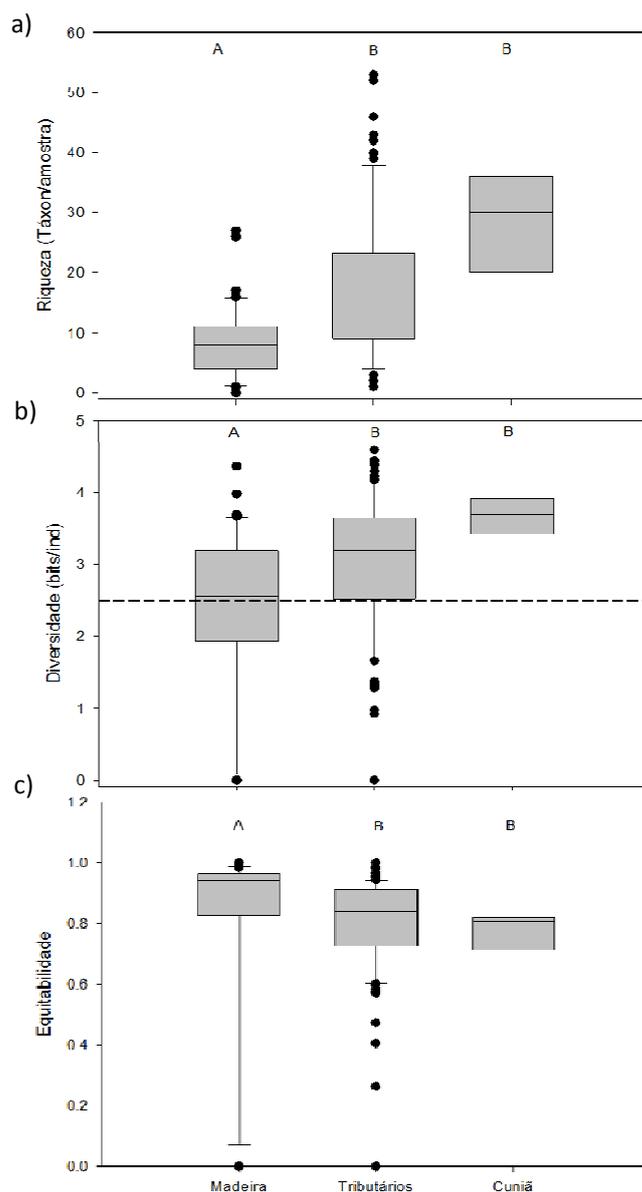


Figura 5.2.1-15 - a) Riqueza (táxon/amostra) b) diversidade (bits/ind), assinalando o limite considerado como alta diversidade (Margalef, 1979) e c) equitabilidade nos períodos de outubro/2013, janeiro, abril, julho e outubro de 2014 amostrados no rio Madeira, tributários e lago Cuniã. Letras diferentes indicam diferenças significativas ($p < 0,05$).

Rio Madeira

Considerando o conjunto total de amostras, a riqueza de espécies variou de 1 táxons/amostra (JUS.03 janeiro/2014) a 27 táxons/amostra (JUS.02 julho/2014- **Figura 5.2.1-16-a**), com uma riqueza média de 8 ± 6 táxons/amostra. A riqueza entre os meses amostrados foi de 4 táxons/amostra (MON.04 e MON.05) a 10 táxons/amostra (MON.02) em julho/2013; 1 táxon/amostra (JUS.03) a 9 táxons/amostra (MON.03) em janeiro/2014; 2 táxons/amostra (JUS.01) a 10 táxons/amostra (MON.01 e JUS.02) em abril/2014; 8 táxons/amostra (MON.02) a 27 táxons/amostra (JUS.02) em julho/2014; e 3 táxons/amostra (MON.05) a 26 táxons/amostra (JUS.02) em outubro/2014.

A diversidade variou de 0,0 bit/ind (MON.01, MON.02, JUS.02, JUS.03 janeiro/2014) a 4,4 bits/ind (JUS.02 outubro/2014; **Figura 5.2.1-16-b**), com média de $2,4 \pm 1,1$ bit/ind. A diversidade foi de 1,9 bit/ind (MON.04 e MON.05) a 3,1 (MON.02) em outubro/2014; 0,0 bit/ind (MON.01, MON.02, JUS.02, JUS.03) a 3,0 bits/ind (MON.03) em janeiro/2014; 0,8 bit/ind (JUS.01) a 3,2 bits/ind (MON.01, JUS.02) em abril/2014; 2,6 bits/ind (JUS.01) a 3,7 bits/ind (MON.04, JUS.02) em julho/2014; e de 1,5 bit/ind (MON.05) a 4,4 bits/ind (JUS.02) em outubro/2014.

A equitabilidade variou de 0,0 (JUS.03 janeiro/2014) a 1,0 (JUS.02 outubro/2013; MON.04 e JUS.01 janeiro/2014), com média de $0,83 \pm 0,29$ (**Figura 5.2.1-16-c**). A equitabilidade registrada em outubro/2013 variou de 0,81 (MON.01) a 1,0 (JUS.02); em janeiro/2014 de 0,0 (MON.01, MON.02, JUS.02, JUS.03) a 1,0 (MON.04, JUS.01); em abril/2014 de 0,81 (JUS.01) a 0,98 (MON.02); em julho/2014 de 0,72 (MON.05) a 0,97 (MON.04); e em outubro/2014 de 0,84 (MON.01) a 0,99 (JUS.01).

A riqueza e diversidade foram significativamente menores no mês de janeiro/2014 ($p < 0,001$) quando comparado ao mês de julho e de outubro/2014, enquanto que a equitabilidade não apresentou diferença significativa entre os meses amostrados.

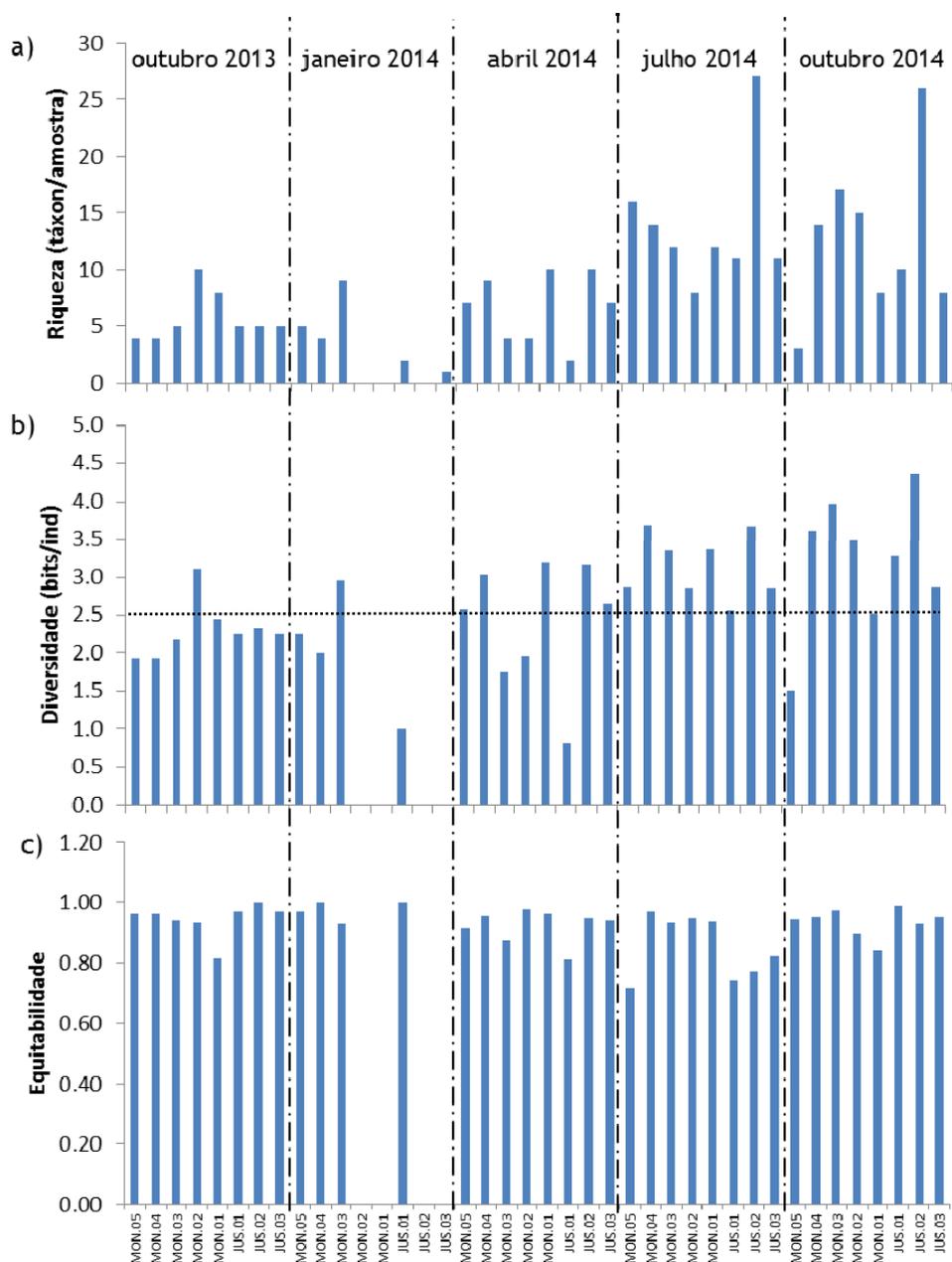


Figura 5.2.1-16 - (a) Riqueza de espécies; (b) diversidade específica, assinalando o limite considerado como alta diversidade (Margaleff, 1979) e (c) equitabilidade no rio Madeira nos meses de outubro/2013, janeiro, abril, julho e outubro de 2014.

Tributários e LC.01

A riqueza de espécies nos tributários variou de 1 táxon/amostra (BEL-F janeiro/2014) a 53 táxons/amostra (JAT I.02-S outubro/2014- **Figura 5.2.1-17-a**), e a riqueza média de 18 ± 12 táxons/amostra. A riqueza entre os períodos amostrados foi de 2 táxons/amostra (JAT II-S) a 38 táxons/amostra (JAC.01-S) em outubro/2013; 1 táxon/amostra (BEL-F) a 21 táxons/amostra (CEA.01-S) em janeiro/2014; 3 táxons/amostra (JAC.02-F, CEA.01-F) a 19 táxons/amostra (JAT I.01-S, JAM-S) em abril/2014; 4 táxons/amostra (JAC.01-F) a 40 táxons/amostra (JAT I.01-S) em julho/2014; e 4 táxons/amostra (JAT II-S) a 53 táxons/amostra em outubro/2014 (JAT I.02-S, **Figura 5.2.1-17-a**), sendo os valores de janeiro e abril/2014 significativamente menores ($p < 0,001$) quando comparados aos de julho e de outubro/2014.

A diversidade variou de 0,0 bit/ind (BEL-F janeiro/2014) a 4,6 bits/ind (CEA.02-S outubro/2014) e a média foi de $3,0 \pm 0,9$ bits/ind. Avaliando os diferentes meses amostrados, a diversidade variou de 0,9 bit/ind (JAT II-S) a 4,2 bits/ind (JAC I.01-S, CRC-S) em outubro/2013; de 0,0 bit/ind (BEL-F) a 4,0 bits/ind (CEA.01-S) em janeiro/2014; de 1,3 bit/ind (JAT II-F, JAM-F, CEA.01-F) a 3,9 bits/ind (JAM-S) em abril/2014; de 2,0 bits/ind (JAC.01-F) a 4,4 bits/ind (CRC-F) em julho/2014; e de 1,3 bits/ind (JAT II-S) a 4,6 bits/ind (CEA.02-S) em outubro/2014 (**Figura 5.2.1-17-b**), com valores de abril/2014 significativamente menores ($p < 0,01$) quando comparados a julho/2014.

A equitabilidade variou de 0,0 (BEL-F) a 1,0 (CRC-S e F em janeiro/2014 e JAC.01-F em julho/2014) e a média foi de $0,80 \pm 0,16$ (**Figura 5.2.1-17-c**). Entre os meses amostrados, a equitabilidade variou de 0,26 (CAR-F) a 0,94 (CRC-F) em outubro/2013; 0,0 (BEL-F) a 1,0 (CRC-S e F) em janeiro/2014; de 0,40 (JAT II-F) a 0,96 (CFC-F) em abril/2014; de 0,47 (BEL-S) a 1,00 (JAC.01-F) em julho/2014; e 0,57 (CAR-F) a 0,85 (CEA.01-S, CEA.02-S) em outubro/2014, sendo os valores registrados neste último mês significativamente maiores ($p < 0,001$) que os registrados para os demais períodos.

UHE Santo Antônio

2541-00-MLM-RL-0009-00

Monitoramento Limnológico e de Macrófitas Aquáticas -
Relatório 9 / Consolidado das Fases de Instalação e Operação

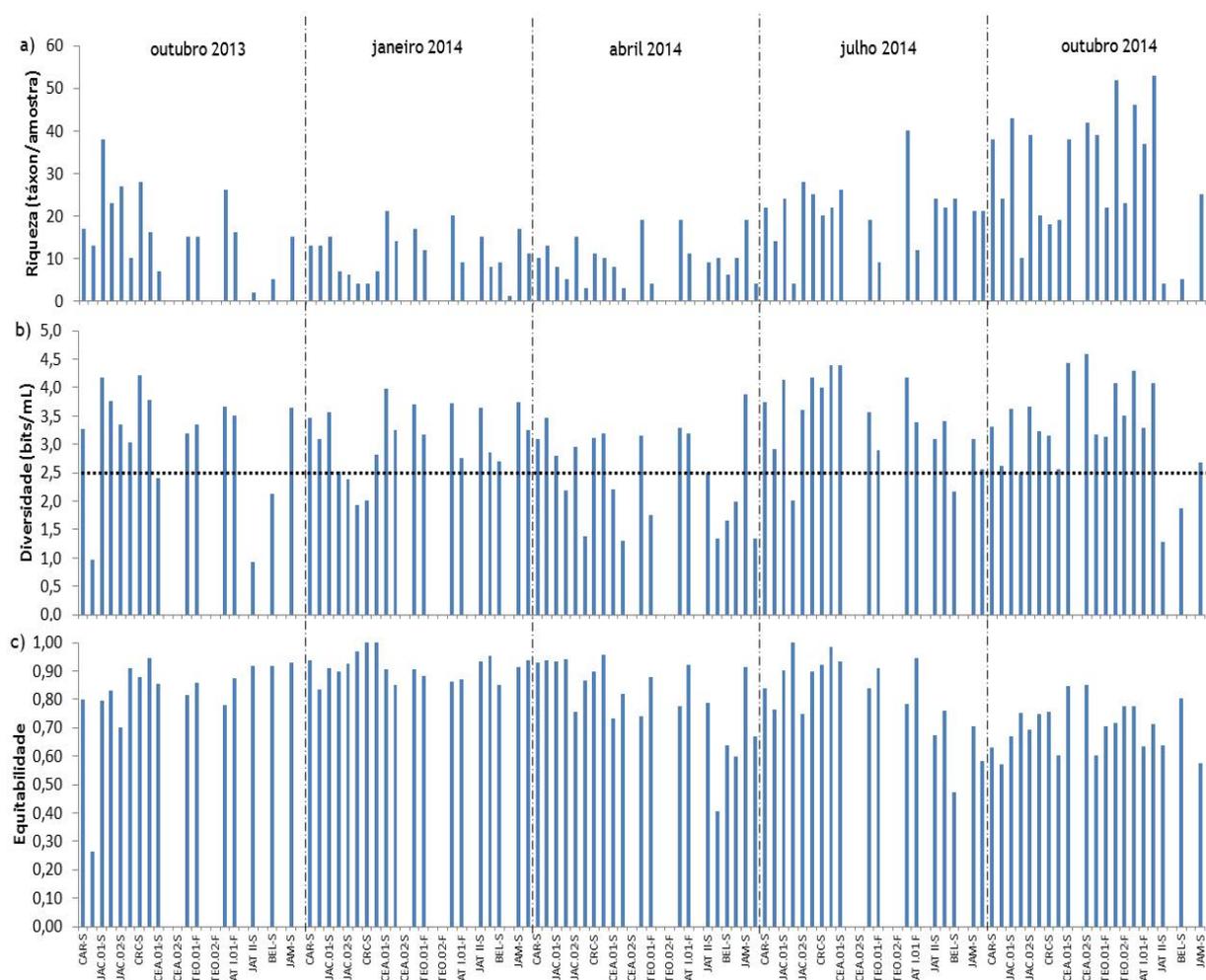


Figura 5.2.1-17 - (a) Riqueza de espécies; (b) diversidade específica, assinalando o limite considerado como alta diversidade (Margalef, 1979) e (c) equitabilidade nos tributários do rio Madeira em outubro/2013, janeiro, abril, julho e outubro 2014.

Em LC.01 a riqueza foi de 5 táxons/amostra (LC.01-F, janeiro/2014) a 38 táxons/amostra (LC.01-S, julho/2014), e média de 23 ± 11 táxons/amostra (Figura 5.2.1-18-a). A diversidade flutuou de 2,0 bits/ind (LC.01-F, janeiro/2014) a 4,0 bits/ind (LC.01-S, abril/2014), com média de $3,4 \pm 0,7$ bits/ind (Figura 5.2.1-18-b) e a equitabilidade variou de 0,70 (LC.01-S, julho/2014) a 0,92 (LC.01-F, abril/2014), com média de $0,80 \pm 0,06$ (Figura 5.2.1-18-c). De maneira geral, os maiores valores de riqueza foram encontrados nas últimas campanhas, em julho e outubro/2014, especialmente em LC.01-S, enquanto que os menores valores de equitabilidade foram registrados nestes mesmos períodos (Figura 5.2.1-18-a,b). Já a diversidade se manteve acima de 2,5 bits/ind ao longo das cinco campanhas, exceto em LC.01-F em janeiro/2014 (Figura 5.2.1-18-c).

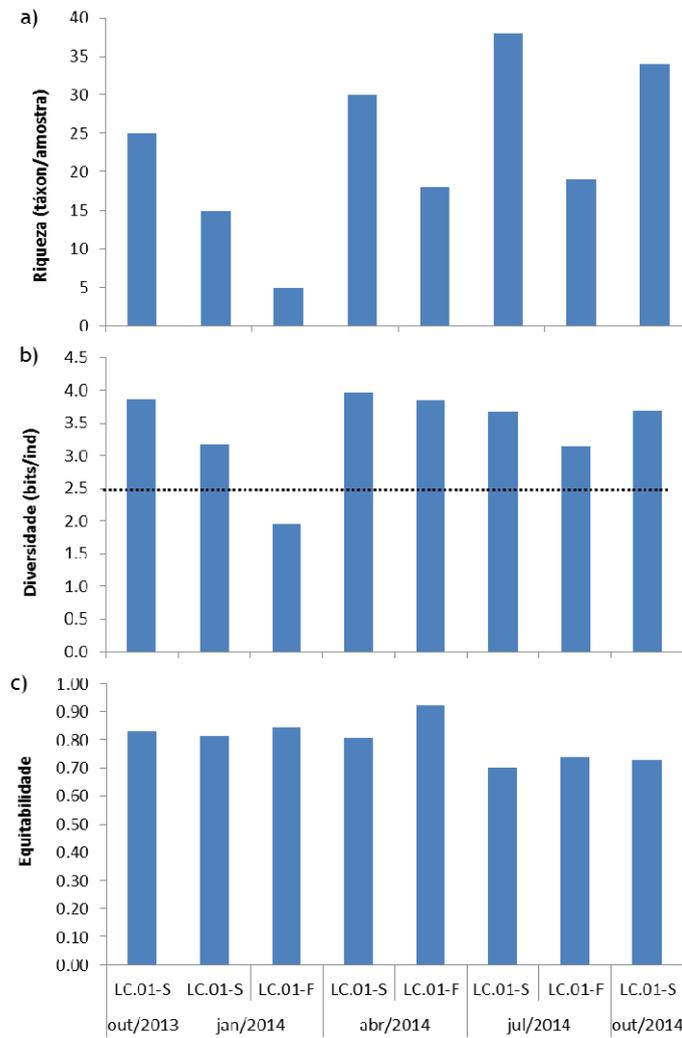


Figura 5.2.1-18 - (a) Riqueza de espécies; (b) diversidade específica, assinalando o limite considerado como alta diversidade (Margalef, 1979) e (c) equitabilidade no lago Cuniã (LC.01-S e F) em outubro/2013, janeiro, abril, julho e outubro 2014.

5.2.1.5 - Diversidades de espécies (α , β , e γ) no conjunto de dados do segundo ano da fase de operação

Considerando apenas as amostras quantitativas (139 unidades amostrais) no conjunto total dos dados nos 3 sistemas (rio Madeira + tributários + lago Cuniã), a **gama diversidade** (ou diversidade regional), expressa como a riqueza total de táxons da comunidade fitoplanctônica observada em toda a área amostrada ao longo das cinco campanhas foi de 427 táxons, sendo 127 táxons registrados em outubro/2013, 119 táxons em janeiro e abril/2014, 183 táxons em julho/2014 e 181 táxons em outubro/2014. Considerando cada sistema, a gama diversidade do rio Madeira variou de 16 táxons (janeiro/2014) a 62 táxons (julho/2014), e no lago Cuniã de 20 táxons (janeiro/2014) a 45 táxons (julho/2014), sendo maior nos tributários, onde variou de 85 táxons (abril/2014) a 159 táxons (outubro/2014; **Quadro 5.2.1-1**).

A **alfa diversidade**, expressa como a média do número de espécies considerando o conjunto total dos dados, foi de 14 táxons em outubro/2013; 9 táxons em janeiro/2014; 10 táxons em abril/2014; 19 táxons em julho/2014 e 25 táxons em outubro/2014. Considerando-se cada sistema, a alfa diversidade no rio Madeira variou de 3 táxons (janeiro/2014) a 14 táxons em julho/2014, de 10 táxons (abril/2014) a 30 táxons nos tributários (outubro/2014) e de 10 táxons (janeiro/2014) a 34 táxons (outubro/2014) em LC.01 (**Quadro 5.2.1-1**).

A **beta diversidade**, que expressa uma estimativa do grau de intercâmbio das espécies entre habitats ou entre pontos de amostragem e que varia de 1% (alto intercâmbio e homogeneidade na composição de espécies) a 100% (baixo intercâmbio e total heterogeneidade na composição de espécies), foi calculada, neste caso, levando-se em conta o intercâmbio entre: (i) os três sistemas no conjunto total dos dados, (ii) os pontos de amostragem de cada sistema e (iii) entre os sistemas a) rio Madeira e tributários, b) rio Madeira e lago Cuniã e c) tributários e lago Cuniã. No conjunto total dos dados, a beta diversidade foi de 34% em outubro/2013, 42% em janeiro/2014, 38% em abril/2014, 31% em julho/2014 e de 22% em outubro/2014, evidenciando um intercâmbio relativamente elevado de espécies, com uma tendência a maior similaridade nos períodos de águas baixas, embora não se tenha grande variação ao longo das cinco campanhas (**Quadro 5.2.1-1**). Considerando cada sistema em separado as estações do rio Madeira apresentaram beta diversidade média de 52%, indicando um intercâmbio intermediário de espécies (variou de 47% em outubro/2014 a 62% em janeiro/2014), enquanto que as estações dos tributários apresentaram um maior intercâmbio de espécies indicada pelos baixos valores de beta diversidade (variou de 17% em janeiro/2014 a 39% em abril/2014; **Quadro 5.2.1-1**). Esse

resultado evidencia, ao longo dessas cinco campanhas do segundo ano da fase de operação do reservatório (outubro/2013 a outubro/2014), uma homogeneidade longitudinal intermediária no rio Madeira e nos tributários uma considerável homogeneidade entre as estações no mesmo período.

Quadro 5.2.1-1 - Diversidades gama, alfa e beta no conjunto de dados (Geral), no rio Madeira, seus tributários e lago Cuniã em outubro/2013, janeiro, abril, julho e outubro de 2014.

Diversidades\compartimentos	Geral	Rio Madeira	Tributários	LC.01
Outubro/2013				
Gama	127	26	110	25
Alfa-média	14	6	18	-
Beta	34	50	34	-
Janeiro/2014				
Gama	119	16	104	20
Alfa-média	9	3	11	10
Beta	42	62	17	100
Abril/2014				
Gama	119	32	85	40
Alfa-média	10	7	10	24
Beta	38	51	39	67
Julho/2014				
Gama	183	62	154	45
Alfa-média	19	14	21	28
Beta	31	50	38	61
Outubro/2014				
Gama	181	54	159	34
Alfa-média	25	13	30	-
Beta	22	47	23	-

Considerando os sistemas aos pares, a beta diversidade evidenciada entre o rio Madeira e os tributários foi de 34% em outubro/2013, 43% em janeiro/2014, 37% em abril/2014; 32% em julho/2014 e 23% em outubro/2014 (**Quadro 5.2.1-2**). A beta diversidade entre o lago Cuniã e o rio Madeira e entre o lago Cuniã e os tributários só foi possível calcular naquelas campanhas em que tiveram mais de uma amostragem - superfície e fundo do lago (LC.01-S e F). Dessa maneira, a beta diversidade entre os tributários e o lago Cuniã foi de 43% em janeiro/2014, 39% em abril/2014 e 36% em julho/2014, e entre o rio Madeira e o lago Cuniã foi de 83% em janeiro/2014; 60% em abril/2014 e de 43% em julho/2014 (**Quadro 5.2.1-2**). Portanto, foi possível observar que ocorreu uma maior homogeneidade entre os pontos amostrados no rio Madeira e tributários e entre tributários e o lago Cuniã, com pouca variação entre as campanhas. Situação diferente foi registrada para o lago Cuniã e o rio Madeira, com maior heterogeneidade

especialmente em janeiro/2014, período de enchente para os sistemas da região amazônica, no qual a heterogeneidade foi máxima. Nesse sentido, é possível que tenha existido uma semelhança na procedência do recrutamento das espécies ao longo das campanhas nos diferentes sistemas, especialmente entre os tributários e demais sistemas, independente do período amostrado, mas não do lago Cuniã para o rio Madeira (e vice-versa). Esse resultado indica um menor intercâmbio de espécies entre o rio Madeira e o lago a jusante da barragem (**Quadro 5.2.1-2**) e sugere que os filtros ambientais de um sistema limitam a colonização e/ou desenvolvimento dos táxons típicos do outro sistema, disponíveis no pool regional de espécies.

Quadro 5.2.1-2 - Diversidades gama, alfa e beta entre rio Madeira e tributários em outubro/2013, janeiro, abril, julho e outubro de 2014.

Compartimentos/diversidades	Gama	Alfa-média	Beta
Outubro/2013			
Rio Madeira vs. Tributários	118	13	34
Janeiro/2014			
Rio Madeira vs. Tributários	113	9	43
Rio Madeira vs. LC.01	34	4	83
Tributários vs. LC.01	110	11	43
Abril/2014			
Rio Madeira vs. Tributários	100	9	37
Rio Madeira vs. LC.01	64	10	60
Tributários vs. LC.01	102	11	39
Julho/2014			
Rio Madeira vs. Tributários	170	19	32
Rio Madeira vs. LC.01	81	17	43
Tributários vs. LC.01	168	22	36
Outubro/2014			
Rio Madeira vs. Tributários	181	25	23

5.2.1.6 - Dominância das populações fitoplanctônicas no conjunto de dados do segundo ano da fase de operação

O número de espécies, por grupo taxonômico, de acordo com sua contribuição para a densidade total encontra-se no **Quadro 5.2.1-3**. A lista das espécies de acordo com sua contribuição para a densidade total da campanha de outubro/2014 encontra-se no **Anexo 5.2.1-4**. Estas informações das campanhas de outubro/2013, janeiro/2014, abril/2014 e julho/2014 podem ser verificadas nos respectivos relatórios. As populações fitoplanctônicas, quando expressas em densidade, foram em sua maioria representadas por espécies raras (contribuição de no máximo 10% da densidade total) nos três sistemas.

No rio Madeira, *Choricystis minor* (clorofícea) foi considerada pouco abundante (PA, contribuição de 10% a 40%) em julho e outubro/2014, juntamente com *Chroococcus minutus* (cianobactéria) em abril/2014, *Cryptomonas brasiliensis* e *Cryptomonas minima* (criptofíceas) em janeiro/2014 e outubro/2013 e *Melosira varians* (diatomácea) em janeiro/2014 (Anexo 5.2.1-4).

Nos tributários os táxons com pouca abundância foram: *Choricystis minor* (clorofícea, em julho/2014 e outubro/2014); *Chlorella minutissima* (clorofícea, em outubro/2013), *Cyanogranis ferruginea* (cianobactéria, em outubro/2014), *Synechocystis aquatilis* (cianobactéria, em abril/2014) e *Synechococcus nidulans* (cianobactéria, em outubro/2013). (Anexo 5.2.1-4).

No lago Cuniã foi observado um número maior de táxons descritos como pouco abundantes, que foram: *Chlorella minutissima* (clorofícea, em janeiro/2014), *Chlorella cf. vulgaris* (clorofícea, em outubro/2013), *Choricystis minor* (clorofícea, em outubro/2014), *Chroomonas acuta* (criptofícea, em outubro/2013), *Chrysococcus* sp. 1 (crisofícea, em janeiro/2014), *Koliella longiseta* f. *tenuis* (clorofícea, em outubro/2013), *Monoraphidium nanum* (clorofícea, em julho/2014), *Peridinium* sp. 1 (dinoflagelado, em outubro/2013), *Synechocystis aquatilis* (cianobactéria, em abril/2014), *Synechococcus nidulans* (cianobactéria, em julho/2014). A única espécie considerada abundante (contribuição de 40% a 70%) ao longo das cinco campanhas amostradas foi *Choricystis minor* (clorofícea), registrada em LC.01, em julho/2014. Não foi registrado nenhum táxon dominante.

Quadro 5.2.1-3 - Número de espécies por classe taxonômica de acordo com a sua contribuição para a densidade total no rio Madeira, seus tributários e lago Cuniã (LC.01) nos meses de outubro/2013, janeiro, abril, julho e outubro de 2014.

Outubro de 2013	Rio Madeira					Tributários					LC.01				
	Raras	Pouco Abundantes	Abundantes	Dominantes	Raras	Pouco Abundantes	Abundantes	Dominantes	Raras	Pouco Abundantes	Abundantes	Dominantes			
Cianobactérias	1	0	0	0	17	1	0	0	1	0	0	0			
Dinoflagelados	0	0	0	0	2	0	0	0	2	1	0	0			
Criptofíceas	1	2	0	0	10	0	0	0	0	1	0	0			
Crisofíceas	2	0	0	0	17	0	0	0	4	0	0	0			
Diatomáceas	8	0	0	0	13	0	0	0	2	0	0	0			
Xantofíceas	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0			
Euglenóides	1	0	0	0	5	0	0	0	1	0	0	0			
Rafidofíceas	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0			
Zignematofíceas	0	0	0	0	4	0	0	0	1	0	0	0			
Clorofíceas	11	0	0	0	38	1	0	0	9	2	0	0			
Total	24	2	0	0	108	2	0	0	21	4	0	0			

UHE Santo Antônio

2541-00-MLM-RL-0009-00

 Monitoramento Limnológico e de Macrófitas Aquáticas -
 Relatório 9 / Consolidado das Fases de Instalação e Operação

Janeiro de 2014	Rio Madeira				Tributários				LC.01			
	Raras	Pouco Abundantes	Abundantes	Dominantes	Raras	Pouco Abundantes	Abundantes	Dominantes	Raras	Pouco Abundantes	Abundantes	Dominantes
Cianobactérias	2	0	0	0	23	0	0	0	5	0	0	0
Dinoflagelados	0	0	0	0	5	0	0	0	1	0	0	0
Criptofíceas	2	2	0	0	11	0	0	0	2	0	0	0
Crisofíceas	1	0	0	0	12	0	0	0	3	1	0	0
Diatomáceas	4	1	0	0	7	0	0	0	2	0	0	0
Xantofíceas	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Euglenóides	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0
Rafidofíceas	1	0	0	0	5	0	0	0	1	0	0	0
Zignematofíceas	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Clorofíceas	3	0	0	0	34	0	0	0	4	1	0	0
Total	13	3	0	0	105	0	0	0	18	2	0	0

Quadro 5.2.1-3 (continuação)- Número de espécies por classe taxonômica de acordo com a sua contribuição para a densidade total no rio Madeira, seus tributários e lago Cuniã (LC.01) nos meses de outubro/2013, janeiro, abril, julho e outubro de 2014.

Abril de 2014	Rio Madeira				Tributários				LC.01			
	Raras	Pouco Abundantes	Abundantes	Dominantes	Raras	Pouco Abundantes	Abundantes	Dominantes	Raras	Pouco Abundantes	Abundantes	Dominantes
Cianobactérias	20	1	0	0	30	1	0	0	14	1	0	0
Dinoflagelados	0	0	0	0	4	0	0	0	2	0	0	0
Criptofíceas	1	0	0	0	8	0	0	0	4	0	0	0
Crisofíceas	3	0	0	0	9	0	0	0	3	0	0	0
Diatomáceas	2	0	0	0	8	0	0	0	3	0	0	0
Xantofíceas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Euglenóides	1	0	0	0	2	0	0	0	2	0	0	0
Rafidofíceas	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Zignematofíceas	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0
Clorofíceas	7	0	0	0	20	0	0	0	10	0	0	0
Total	34	1	0	0	84	1	0	0	39	1	0	0

Julho de 2014	Rio Madeira				Tributários				LC.01			
	Raras	Pouco Abundantes	Abundantes	Dominantes	Raras	Pouco Abundantes	Abundantes	Dominantes	Raras	Pouco Abundantes	Abundantes	Dominantes
Cianobactérias	13	0	0	0	27	0	0	0	9	1	0	0
Dinoflagelados	1	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0
Criptofíceas	4	0	0	0	11	0	0	0	6	0	0	0
Crisofíceas	8	0	0	0	32	0	0	0	8	0	0	0
Diatomáceas	6	0	0	0	9	0	0	0	1	0	0	0
Xantofíceas	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
Euglenóides	2	0	0	0	6	0	0	0	2	0	0	0
Rafidofíceas	0	0	0	0	3	0	0	0	1	0	0	0
Zignematofíceas	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
Clorofíceas	20	1	0	0	56	1	0	0	12	1	1	0
Total	54	1	0	0	151	1	0	0	42	2	1	0

Quadro 5.2.1-3 (continuação)- Número de espécies por classe taxonômica de acordo com a sua contribuição para a densidade total no rio Madeira, seus tributários e lago Cuniã (LC.01) nos meses de outubro/2013, janeiro, abril, julho e outubro de 2014.

Outubro de 2014	Rio Madeira				Tributários				LC.01			
	Raras	Pouco Abundantes	Abundantes	Dominantes	Raras	Pouco Abundantes	Abundantes	Dominantes	Raras	Pouco Abundantes	Abundantes	Dominantes
Cianobactérias	1	0	0	0	16	1	0	0	2	0	0	0
Dinoflagelados	0	0	0	0	9	0	0	0	1	0	0	0
Criptofíceas	3	0	0	0	10	0	0	0	3	0	0	0
Crisofíceas	12	0	0	0	23	0	0	0	8	0	0	0
Diatomáceas	10	0	0	0	12	0	0	0	2	0	0	0
Xantofíceas	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Euglenóides	3	0	0	0	10	0	0	0	2	0	0	0
Rafidofíceas	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0
Zignematofíceas	1	0	0	0	10	0	0	0	2	0	0	0
Clorofíceas	22	1	0	0	63	1	0	0	13	1	0	0
Total	53	1	0	0	157	2	0	0	33	1	0	0

5.2.1.7 - Cianobactérias e cianotoxinas no conjunto de dados do segundo ano da fase de operação

A lista das espécies de cianobactérias registrada em outubro de 2014 e suas respectivas densidades, expressas em céls/mL em cada sistema, encontra-se no Anexo 5.2.1-5. Excetuando-se as unidades amostrais em que não foram registradas algas (MON.01, MON.02 e JUS.02 de janeiro/2014), 21 unidades amostrais não apresentaram registros de cianobactérias (MON.01, MON.02, MON.03, MON.04, MON.05, JUS.01 e JUS.03 de outubro/2014; MON.04, JUS.01, JUS.03, JAT I.01 - F, BEL-F de janeiro/2014; JAC.01-F de julho/2014; MON.01, MON.02, MON.04, MON.05, JUS.01, JUS.02, JUS.03 e JAC.01-F de outubro/2014). Dessa maneira, a densidade de cianobactérias variou de 41 céls/mL em (JAC.02-F em outubro/2014) a 39.013 céls/mL (JAT I.01-S em outubro/2013), com média de 5.467 ± 9.893 céls/mL (Figura 5.2.1-19). As densidades médias em cada período amostrado foram 7.778 ± 10.345 céls/mL em outubro/2013; 1.469 ± 1.478 céls/mL em janeiro/2014; 4.275 ± 4.935 céls/mL em abril/2014; 3.744 ± 6.317 céls/mL em julho/2014; 7.720 ± 10.130 céls/mL em outubro/2014. As densidades de cianobactérias foram sempre inferiores ao limite preconizado pela Resolução CONAMA 357/2005, para águas doces de Classe 2, que é de 50.000 cél/mL. Assumindo todas as 139 unidades amostrais, foi registrado um total de 19 táxons de cianobactérias em outubro/2013, 25 em janeiro/2014, 41 em abril/2014, 34 em julho/2014 e 15 em outubro/2014.

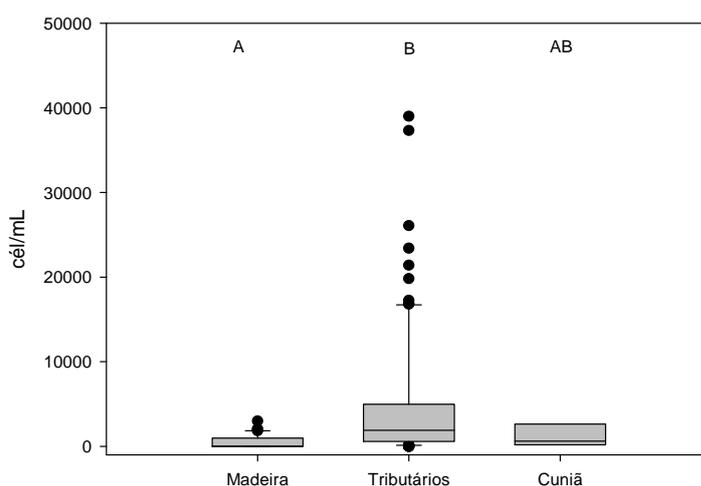


Figura 5.2.1-19 - Densidade de cianobactérias (cél/mL) registrada no rio Madeira, tributários e lago Cuniã. Letras diferentes indicam diferenças significativas ($p < 0,05$).

Rio Madeira

Excetuando as unidades amostrais em que não foram registradas algas (MON.01, MON.02 e JUS.02 de janeiro/2014), 17 unidades amostrais não apresentaram registros de cianobactérias (MON.01, MON.02, MON.03, MON.04, MON.05, JUS.01 e JUS.03 de outubro/2013; MON.04, JUS.01, JUS.03 de janeiro/2014; MON.01, MON.02, MON.04, MON.05, JUS.01, JUS.02 e JUS.03 de outubro/2014). Dessa maneira, o menor e maior valor de densidade de cianobactérias foram registrados em MON.05, sendo 18 céls/mL em janeiro/2014 e 2.989 céls/mL em abril/2014 (Figura 5.2.1-20), com média de 508 ± 793 céls/mL. As densidades médias registradas durante o segundo ano de operação foi de 35 ± 99 céls/mL em outubro/2013; 11 ± 25 céls/mL em janeiro/2014; 1.544 ± 810 céls/mL em abril/2014; 947 ± 747 céls/mL em julho/2014; e de 3 ± 8 céls/mL em outubro/2014, sendo significativamente mais elevadas em abril e julho de 2014. As espécies que mais contribuíram para a densidade total de cianobactérias no rio Madeira foram *Chroococcus minutus* (2.565 céls/mL em abril/2014), *Cyanodictyon imperfectum* (2.023 céls/mL em julho/2014) e *Planktolyngbya limnetica* (2.173 céls/mL em julho/2014), que não são consideradas potencialmente tóxicas (Sant'Anna *et al.*, 2008).

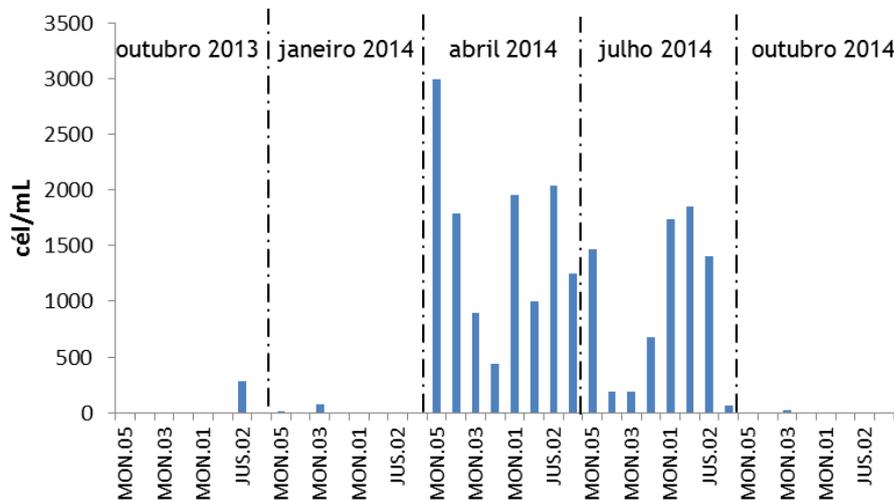


Figura 5.2.1-20 - Densidade de cianobactérias (cél/mL) registrada no rio Madeira nos períodos de outubro/2013, janeiro, abril, julho e outubro/2014.

Tributários e LC.01

Nos tributários, quatro unidades amostrais não apresentaram registros de cianobactérias (JAT I.01-F e BEL-F de janeiro/2014; JAC.01-F de julho/2014; JAC.01-F de outubro/2014). Excluindo estas, a densidade de cianobactérias variou de 41 céls/mL (JAC.02-F em outubro/2014) a 67.626 céls/mL (CAR-S em outubro/2013; **Figura 5.2.1-21**), com média de 5.467 ± 9.893 céls/mL. As densidades médias em cada período amostrado foram 11.077 ± 18.190 céls/mL em outubro/2013; 1.469 ± 1.478 céls/mL em janeiro/2014; 4.275 ± 4.935 céls/mL em abril/2014; 3.744 ± 6.317 céls/mL em julho/2014; 7.720 ± 10.130 céls/mL em outubro/2014. À exceção de CAR-S (67.626 céls/mL; outubro/2013), as densidades de cianobactérias foram sempre inferiores ao limite preconizado pela Resolução CONAMA 357/2005, para águas doces de Classe 2, que é de 50.000 cél/mL.

As espécies que ocorreram em maior densidade nos tributários ao longo das cinco campanhas foram *Aphanocapsa delicatissima* (14.828 céls/mL em JAT I.01-S em julho/2014), *Aphanocapsa holsatica* (14.621 céls/mL em BEL-S em abril/2014), *Chroococcus limneticus* (3.639 céls/mL em CEA.01-F em janeiro/2014), *Cyanogranis ferruginea* (27.035 céls/mL em TEO.01-S em outubro/2014) e *Aphanocapsa incerta* (17.4494 céls/mL em JAT I.01-S em outubro/2013; **Anexo 5.2.1-5**). Das espécies supracitadas, apenas *Aphanocapsa* pode ser considerada potencialmente tóxicas (Sant'Anna *et al.*, 2008). No entanto, ela foi registrada em densidades inferiores ao que preconiza a Resolução CONAMA 357/2005. Ressalta-se que, ainda assim foi realizada análise de cianotoxinas para a estação JAT I.01 (**Anexo 5.2.1-6** - Laudo de Cianotoxinas CAR-S e JAT I.01), não sendo constatada presença de toxinas na água (**Anexo 5.b - Laudos biológicos**).

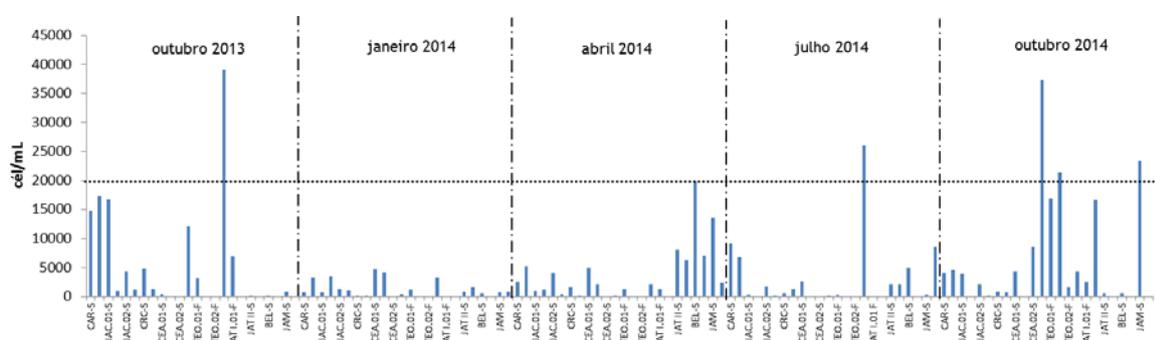


Figura 5.2.1-21 - Densidade de cianobactérias (cél/mL) amostradas nos tributários do rio Madeira em outubro/2013, janeiro, abril, julho e outubro 2014. A linha pontilhada indica o limite de densidade de cianobactérias em cél/mL aceito pelo critério do CONAMA357/2005 de 50.000 cél/mL.

No lago Cuniã, a densidade de cianobactérias variou de 115 céls/mL (LC.01-S em outubro/2014) a 5.853 céls/mL (LC.01-F em janeiro/2014), com média de 2.376 ± 2.284 céls/mL (Figura 5.2.1-22). As médias de densidades em cada período foram de 249 céls/mL em outubro/2013 (apenas LC.01-S); 3.234 ± 3.704 céls/mL em janeiro/2014 (LC.01-S e F); 3.290 ± 1.547 céls/mL em abril/2014 (LC.01-S e F); 2.799 ± 2.693 céls/mL em julho/2014 e 115 céls/mL em outubro/2014 (apenas LC.01-S). Essas densidades também estiveram sempre abaixo do limite de densidade de cianobactérias em céls/mL aceito pelo critério do CONAMA 357/2005, para águas doces de Classe 2 (50.000 céls/mL).

As espécies que mais contribuíram para a densidade total de cianobactérias foram: *Cyanodictyon filiforme* e *Chroococcus limneticus* (3.094 céls/mL e 1.566 céls/mL em janeiro/2014), *Planktolyngbya limnetica* (1.650 céls/mL em abril/2014) e cf. *Chroococcus planctonicus* e *Geitlerinema amphibium* (1.468 céls/mL e 1.537 céls/mL em julho/2014). Entre essas espécies, *G. amphibium* inspira atenção, uma vez que foi identificada potencial produção de toxina (Dogo *et al.*, 2011).

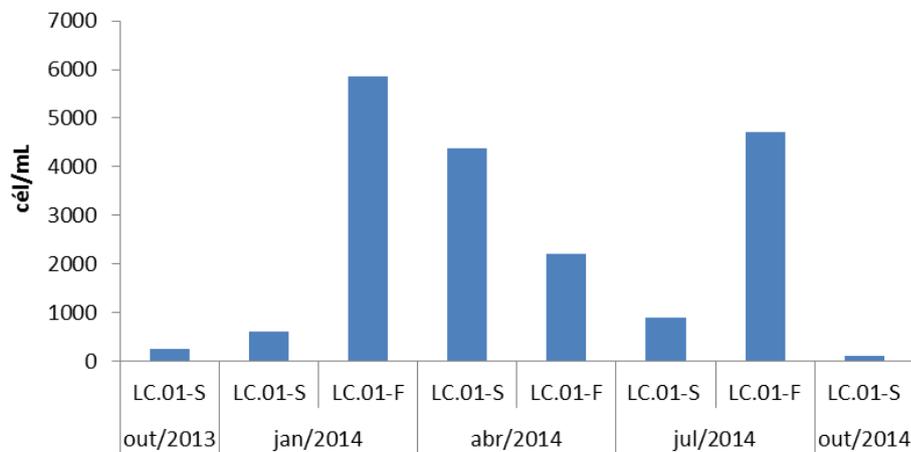


Figura 5.2.1-22 - Densidade de cianobactérias (cél/mL) amostradas no lago Cuniã (LC.01-S e F) em outubro/2013, janeiro, abril, julho e outubro 2014.

No que se refere ao enquadramento das águas e seus usos múltiplos, a Resolução CONAMA 357/2005 inclui a densidade de cianobactérias (céls/mL) como um dos parâmetros a ser analisado, sendo compatível a águas doces de Classe 2 a presença de cianobactérias com densidade inferior a 50.000 céls/mL. Desta forma, considerando o conjunto de amostras analisadas e de acordo com o critério de densidade de cianobactérias, todas as

estações avaliadas apresentaram densidades compatíveis com o limite estabelecido para águas doces de Classe 2 (densidade de cianobactérias < 50.000 céls/mL).

5.2.1.8 - A comunidade fitoplanctônica e o ambiente no conjunto de dados do segundo ano da fase de operação

As DCAs realizadas no rio Madeira e seus tributários e aplicadas aos principais grupos taxonômicos para cada sistema, evidenciaram que os sistemas apresentaram gradientes menores que 3 unidades de desvio padrão (SD), ou seja, as classes taxonômicas apresentaram distribuição unimodal nas amostras e por isso uma análise linear (RDA) foi aplicada.

A RDA aplicada aos grupos taxonômicos em densidade explicou no rio Madeira e nos tributários 59,3% e 32% da variabilidade dos dados, respectivamente (soma de todos os autovalores canônicos). Os eixos 1 e 2 representados na **Figura 5.2.1-23-a** explicaram no rio Madeira 49,3% (eixo 1= 28,8% e eixo2= 20,5%) e, nos tributários, 26,9% (eixo 1= 23,2% e eixo 2= 3,7%-**Figura 5.2.1-23-b**).

No rio Madeira, a porcentagem acumulada nos dois primeiros eixos da relação espécie-ambiente foi 83,3%, sendo Lambda A (λ_A) vezes 100 a porcentagem de contribuição parcial de cada variável (**Quadro 5.2.1-4**). As variáveis selecionadas previamente (*forward selection*) explicaram 62% dessa relação. Dessas, tiveram sua distância ($d=\sqrt{2/n}$; onde n=número de variáveis utilizadas na análise, $d=0,53$, quando $n=7$) ao centro do gráfico (tamanho da seta) suficiente para explicar a variância total, as seguintes variáveis: velocidade da corrente (vel.corr, $d=0,71$, $\lambda_A=0,03$ e $p=0,058$) nitrogênio total (NT, $d=0,63$, $\lambda_A=0,19$ e $p=0,028$) e carbono inorgânico (CI, $d=0,59$, $\lambda_A=0,13$ e $p=0,002$) positivamente relacionadas ao eixo 1. Fósforo total dissolvido apresentou o tamanho da seta marginalmente significativo (PTD, $d=0,50$, $\lambda_A=0,03$ e $p=0,026$). Além dessas variáveis, o íon amônio (NH_4^+ , $d=-0,77$, $\lambda_A=0,17$ e $p=0,002$) se relacionou negativamente com o eixo 2. Essas variáveis contribuíram no total com 55% da relação espécie-ambiente, sendo 49% explicado por NT (19%, $\lambda_A=0,19$), CI (13%, $\lambda_A=0,13$) e NH_4^+ (17%, $\lambda_A=0,17$; **Quadro 5.2.1-5**).

Dentre os 10 grupos taxonômicos considerados na RDA no rio Madeira, os fitoflagelados (criptofíceas, dinoflagelados, euglenóides, rafidofíceas), com exceção de crisofíceas e também zignematofíceas não foram significativos para os dois eixos plotados. Cianobactérias se relacionaram positivamente com o CI ($p=0,01$), NT ($p=0,01$), vel.corr ($p=0,0002$) e PTD ($p=0,0007$) principalmente nas amostras sobre plotadas de abril de 2014. Clorofíceas ($p=0,003$) e crisofíceas

($p=0,007$) se relacionaram positivamente com NNH_4^+ principalmente com as amostras de julho de 2014. Diatomáceas e xantofíceas se relacionaram negativamente ao CI ($p<0,0001$), e à vel.corr ($p=0,0001$) e ainda diatomáceas se relacionou negativamente ao NT ($p=0,006$), principalmente nas amostras de outubro de 2013 e outubro de 2014 (**Figura 5.2.1-23-a**), referentes ao período de águas baixas.

Nos tributários, a RDA explicou 32% da variância dos dados sendo 27% acumulados nos dois primeiros eixos (eixo 1= 23% e eixo 2=4%). A porcentagem acumulada nos dois primeiros eixos da relação espécie-ambiente foi 84,1% sendo Lambda A (λA) vezes 100 a porcentagem de contribuição parcial de cada variável (**Quadro 5.2.1-5**). As variáveis selecionadas previamente (forward selection) explicaram 36% dessa relação. Dessas variáveis, tiveram sua distância ($d=\sqrt{2/n}$; onde n =número de variáveis utilizadas na análise, $d=0,57$, quando $n=6$) ao centro do gráfico (tamanho da seta) suficiente para explicar a variância total: velocidade da corrente (vel.corr, $d=0,59$, $\lambda A=0,08$ e $p=0,002$), sólidos totais (ST, $d=0,60$, $\lambda A=0,04$ e $p=0,024$) e ferro dissolvido (FeD, $d=0,62$, $\lambda A=0,1$ e $p=0,002$) positivamente relacionadas ao eixo 1. Essas variáveis contribuíram no total com 22% da relação espécie-ambiente (**Quadro 5.2.1-5**).

Dentre os 10 grupos taxonômicos considerados na RDA, nos tributários rafidofíceas, euglenóides e xantofíceas não foram significativos para os dois eixos plotados. A exceção do grupo de diatomáceas que se relacionou negativamente ao eixo 2 ($p=0,02$), os demais grupos taxonômicos se relacionaram negativamente ao eixo 1 e com as amostras de outubro de 2014 (águas baixas), sendo eles clorofíceas ($p<0,0001$), cianobactérias ($p=0,01$), crisofíceas ($p=0,02$), criptofíceas ($p=0,0003$), dinoflagelados ($p=0,01$) e zignematofíceas ($p=0,004$). Diatomáceas ($p=0,02$) e criptofíceas ($p=0,0003$). A relação entre criptofíceas com a velocidade da corrente foi negativa, porém marginalmente significativa ($p=0,06$). Cianobactérias e zignematofíceas se relacionaram negativamente com a velocidade da corrente (vel. corr, $p=0,02$ e $p=0,01$ e $p<0,0001$). Crisofíceas e dinoflagelados se relacionaram negativamente com os sólidos totais (ST, $p=0,004$ e $p=0,01$). Ainda, dinoflagelados se relacionaram negativamente com o ferro dissolvido (FeD, $p=0,02$ - **Figura 5.2.1-23-b**).

No lago Cuniã, apesar do baixo n amostral para uma análise de ordenação ($n=7$) e da provável baixa dissimilaridade nas amostras (todas provenientes de uma mesma estação amostral) foi realizado os passos da RDA com a intenção de comparar os resultados com base em um mesmo método. Para diminuir o erro, o número de variáveis selecionadas (2 em biovolume e 3 em densidade) não ultrapassou o número de amostras (Gotelli & Ellison, 2011).

A RDA com os grupos taxonômicos expressos em biovolume explicou 88% da variabilidade dos dados sendo acumulados nos dois primeiros eixos (eixo 1= 85% e eixo 2= 3%). A distância significativa da seta foi $d=1$ e as variáveis selecionadas que tiveram $d<1$ foram transparência da água (Transp, $d=0,76$, $\lambda A=0,51$ e $p=0,01$) e sólidos em suspensão (SS, $d=-0,85$, $\lambda A=0,33$ e $p=0,002$). A relação espécie-ambiente acumulada nos dois primeiros eixos foi de 100%. Os grupos taxonômicos significativos para os dois primeiros eixos foram dinoflagelados ($p=0,0006$) e rafidofíceas ($p=0,001$) positivamente relacionados ao eixo 1. Rafidofíceas se relacionaram positivamente com a transparência da água na amostra de janeiro/2014 (enchente). Diatomáceas ($p=0,03$) positivamente relacionadas ao eixo 2 e com sólidos em suspensão ($p=0,03$) nas amostras de abril (águas altas) e outubro de 2014 (águas baixas).

Quando expressa em densidade, as variáveis selecionadas previamente explicaram 87% da relação espécie-ambiente sendo 80% acumulado nos dois primeiros eixos (eixo 1, 50% e eixo 2, 30%). A porcentagem da relação espécie-ambiente acumulados nos dois primeiros eixos foi de 92,4%. Apesar dos quatro eixos canônicos juntos terem sido significativos ($p=0,004$) o primeiro eixo da análise de ordenação não foi significativo ($p=0,12$) muito provavelmente devido ao baixo n amostral no lago Cuniã ($n<12$ e $=7$). A distância significativa da seta foi $d=0,81$ e, as variáveis selecionadas foram: nitrogênio total (NT, $d=-0,99$, $\lambda A=0,49$ e $p=0,002$), fósforo total (PT, $d=-0,83$, $\lambda A=0,13$ e $p=0,056$) negativamente relacionados com o eixo 1 e positivamente relacionados com cianobactérias (porém a relação não foi significativa) e sólidos totais (SS, $d=-0,75$, $\lambda A=0,25$ e $p=0,006$) negativamente relacionada ao eixo 2 e positivamente relacionado com diatomáceas ($p=0,01$) e dinoflagelados ($p=0,05$). Ainda, criptofíceas, crisofíceas e zignematofíceas se relacionaram negativamente com o fósforo total ($p=0,03$; $p=0,006$ e $p=0,005$, respectivamente). O grupo das zignematofíceas relacionou-se negativamente também com nitrogênio total ($p=0,02$) assim como os euglenóides ($p=0,01$). Porém, a distribuição das amostras não ficou claramente relacionada com esses resultados.

Quadro 5.2.1-4 - Autovalores e porcentagem da variância explicada nos dois primeiros eixos da RDA aplicada nas amostras do segundo ano da fase de pós-enchimento e aos grupos taxonômicos em densidade ($\log_{\text{ind/mL}+1}$) no rio Madeira e seus tributários.

Resultados das RDAs	Rio Madeira		Tributários	
	1	2	1	2
Eixos				
Autovalores	0,288	0,205	0,232	0,037
Porcentagem acumulada da variância das espécies da relação espécies-ambiente	28,8	49,3	23,2	26,9
	48,7	83,3	72,6	84,1
Soma de todos os autovalores canonicos	0,593		0,32	
Variância total	1000		1000	

Quadro 5.2.1-5 - Valores absolutos da explicabilidade total (LambdaA) e de cada variável previamente selecionada pela RDA aplicada nas amostras do segundo ano da fase de pós-enchimento e aos grupos taxonômicos em densidade ($\log_{\text{ind/mL}+1}$) no rio Madeira e seus tributários.

Sistemas Variáveis	sigla	Rio Madeira		Tributários	
		LambdaA	P	LambdaA	P
Carbono inorgânico (mgL^{-1})	CI	0,13	0,002		
Carbono orgânico dissolvido (mgL^{-1})	COD	0,03	0,044	0,03	0,046
Ferro dissolvido (mgL^{-1})	FeD			0,1	0,002
Fósforo total dissolvido (μgL^{-1})	PTD	0,03	0,026		
Nitrogênio total (μgL^{-1})	NT	0,19	0,002	0,05	0,028
Íon amônio (μgL^{-1})	NNH4+	0,17	0,002	0,03	0,044
Sólidos totais (mgL^{-1})	ST			0,04	0,024
Temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$)	Tar	0,04	0,02		
Velocidade da corrente (kmh^{-1})	vel.corr	0,03	0,058	0,08	0,002
Profundidade máxima (m)	Zmax			0,03	0,026
total LambdaA (variância da relação espécie-ambient)		0,62		0,36	

UHE Santo Antônio

2541-00-MLM-RL-0009-00

Monitoramento Limnológico e de Macrófitas Aquáticas -
Relatório 9 / Consolidado das Fases de Instalação e Operação

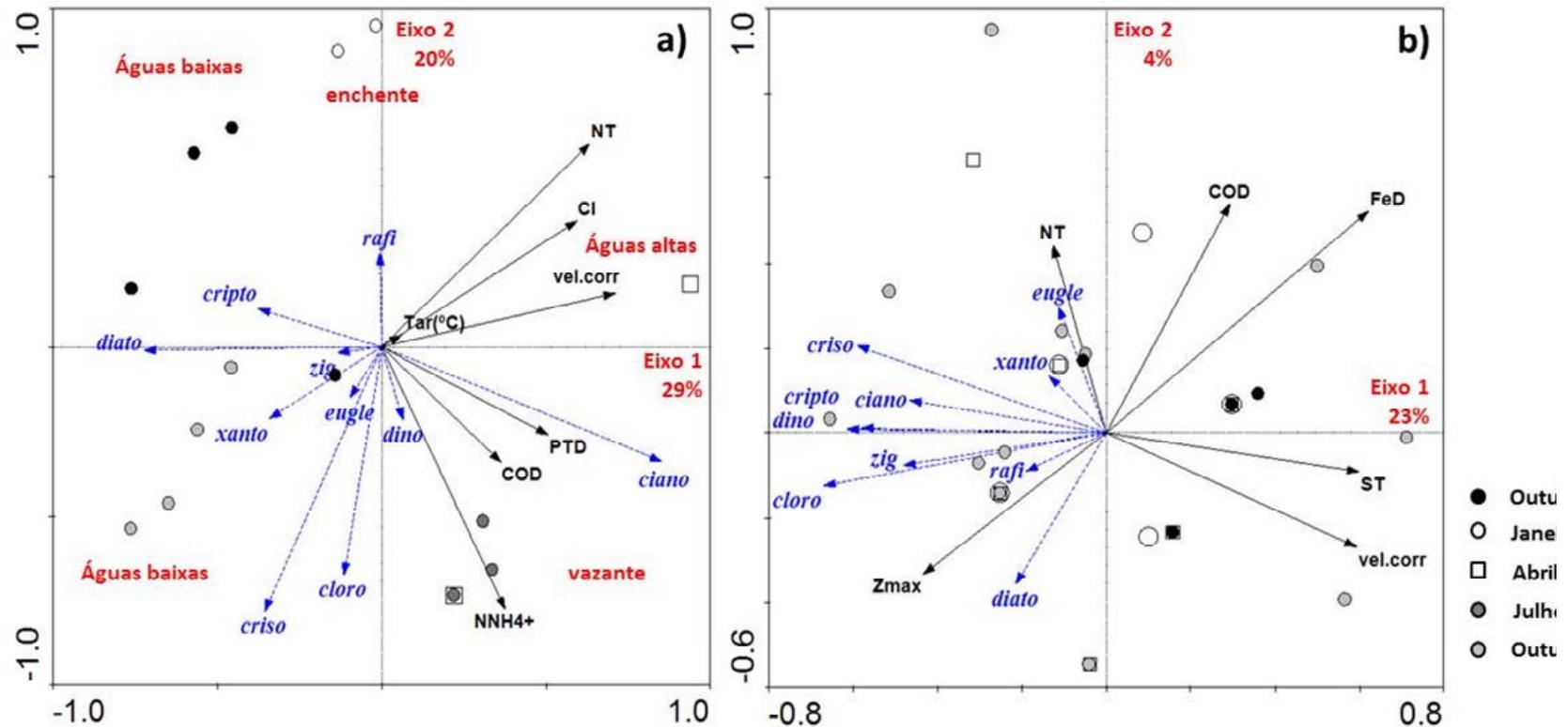


Figura 5.2.1-23 - Diagramas de ordenação derivados das Análises de Redundância (RDA) aplicadas às variáveis ambientais previamente selecionadas e ao logaritmo da densidade (ind/mL) das principais classes taxonômicas a) no rio Madeira e b) seus Tributários no segundo ano da fase de operação. Legenda das variáveis ambientais no Quadro 5.2.1-4: ciano= cianobactérias, cloro=clorofíceas, criso=crisofíceas, cripto=criptofíceas, eugle=euglenóides, diato=diatomáceas, dino=dinoflagelados, rafi=rafidofíceas, xanto=xantofíceas. Outubro refere-se ao período de águas baixas; janeiro = enchente; abril, águas altas e julho, vazante.

5.2.1.9 - Análises Consolidadas do Monitoramento Limnológico

5.2.1.9.1 - Densidade absoluta

As densidades das populações de algas, expressas em indivíduos por mililitro (ind mL^{-1}) no rio Madeira, tributários e lago Cuniã (LC.01) encontram-se nos relatórios já apresentados anteriormente. Os valores de densidade foram significativamente diferentes entre os compartimentos ($p < 0,001$), sendo menor no rio Madeira ($596 \pm 546 \text{ ind mL}^{-1}$), seguido dos tributários ($2.159 \pm 2.167 \text{ ind mL}^{-1}$) e lago Cuniã ($2.367 \pm 1.477 \text{ ind mL}^{-1}$). Considerando o conjunto total de amostras, é possível observar que as fases do empreendimento (pré e pós-enchimento) foram caracterizadas por comportamentos diferentes em cada um dos compartimentos (Figura 5.2.1-1 - a, b, c).

No rio Madeira, a fase de pré-enchimento foi caracterizada por maior densidade em relação ao pós-enchimento ($p < 0,05$; Figura 5.2.1-1 - a), enquanto que nos tributários essa relação foi inversa ($p < 0,05$; Figura 5.2.1-1 - b). Não foi possível observar variações na densidade total fitoplanctônica do lago Cuniã entre as duas fases (Figura 5.2.1-1 - c).

Quando comparados os oito conjuntos de dados referentes aos 4 períodos hidrológicos amostrados pré e pós-enchimento em cada sistema, o rio Madeira apresentou densidade fitoplanctônica significativamente maior no período de águas baixas da fase de pré-enchimento se comparada aos períodos hidrológicos de enchente e vazante da fase de pós-enchimento ($p < 0,001$; Figura 5.2.1-1 - d). Os tributários apresentaram ampla variabilidade dos dados, especialmente na fase de pós-enchimento, sendo que apenas o período de águas altas da fase de pré-enchimento diferiu das águas baixas de pós-enchimento (Figura 5.2.1-1 - e). Já o lago Cuniã não apresentou diferenças significativas entre os períodos estudados (Figura 5.2.1-1 - f).

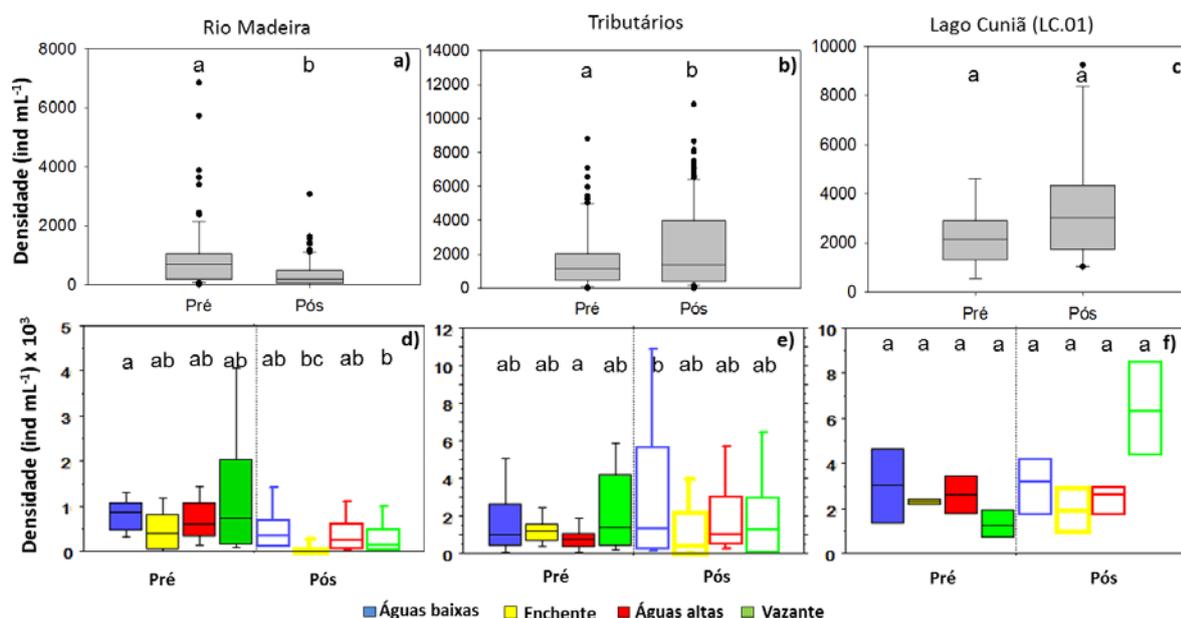


Figura 5.2.1-24 - Densidade total fitoplanctônica (ind mL^{-1}) nos diferentes compartimentos do rio Madeira, Tributários e lago Cuniã, durante as fases de pré e pós-enchimento (a, b, c) e nos períodos de águas baixas, enchente, águas altas e vazante (d, e, f). Letras diferentes indicam variações significativas ($p < 0,05$).

Em relação aos diferentes grupos taxonômicos do fitoplâncton, cianobactérias, diatomáceas e clorofíceas apresentaram variação significativa ao longo dos períodos estudados no rio Madeira ($p < 0,01$; Quadro 5.2.1-6). Cianobactérias apresentaram maiores densidades na fase de pós-enchimento, especialmente entre as águas altas e vazante em relação à enchente da fase de pré-enchimento. Diatomáceas apresentaram densidades significativamente maiores no período de águas baixas, em ambas as fases do empreendimento quando comparado aos outros períodos avaliados, enquanto que clorofíceas foram registradas com menores densidades no período de enchente da fase pós-enchimento (Quadro 5.2.1-6).

Já nos tributários, cianobactérias, diatomáceas e clorofíceas também apresentaram diferenças significativas ($p < 0,005$; Quadro 5.2.1-6), sendo que foram registradas maiores densidades de diatomáceas no período de águas baixas do pós-enchimento em relação às águas altas do pré-enchimento, enquanto que as clorofíceas apresentaram suas maiores diferenças na fase de pós-enchimento, com maiores densidades nas águas baixas em relação ao período de enchente e águas altas. As cianobactérias apresentaram diferenças nas densidades na vazante da fase de pré-enchimento em relação aos períodos de águas altas e vazante da fase de pós-enchimento,

com maiores densidades nestes dois últimos períodos. Não foi possível observar diferenças significativas no lago Cuniã (Quadro 5.2.1-6).

Quadro 5.2.1-6 - Densidade (ind mL⁻¹) dos diferentes grupos taxonômicos do fitoplâncton norio Madeira, tributários e lago Cuniã nas fases de pré e de pós-enchimento. Os asteriscos indicam os grupos que apresentaram variações significativas ($p < 0,05$).

Fase\compartimentos	Pré-enchimento					Pós-enchimento					
	Densidade (ind mL ⁻¹)	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	DP	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	DP
Rio Madeira											
Cianobactérias*	68	0	0	976	150	74	34	0	497	101	
Criptofíceas	52	0	0	488	97	16	0	0	298	44	
Dinofíceas	14	0	0	358	50	0	0	0	22	2	
Crisofíceas*	36	0	0	358	60	27	0	0	246	52	
Diatomáceas*	68	44	0	582	103	35	12	0	224	50	
Euglenóides	14	0	0	224	38	4	0	0	81	14	
Zignematofíceas	4	0	0	119	17	4	0	0	249	26	
Clorofíceas*	694	306	0	6501	1176	192	34	0	2734	387	
Xantofíceas	6	0	0	239	30	2	0	0	78	10	
Rafidofíceas	0	0	0	0	0	1	0	0	60	6	
Tributários											
Cianobactérias*	200	80	0	1790	338	877	275	0	13959	1748	
Criptofíceas	155	60	0	1214	249	260	75	0	2088	407	
Dinofíceas	3	0	0	60	12	60	0	0	1586	193	
Crisofíceas	114	22	0	856	176	387	56	0	7427	962	
Diatomáceas*	144	0	0	3460	493	279	0	0	16744	1465	
Euglenóides	8	0	0	119	23	51	0	0	1646	161	
Zignematofíceas	6	0	0	90	18	39	0	0	1478	175	
Clorofíceas*	1059	519	0	6622	1451	1127	383	0	10162	1720	
Xantofíceas	3	0	0	81	14	2	0	0	64	9	
Rafidofíceas	11	0	0	179	34	20	0	0	391	60	
lago Cuniã											
Cianobactérias	252	128	0	1244	395	376	154	0	1611	490	
Criptofíceas	595	206	0	3388	1073	396	231	0	1143	395	
Dinofíceas	14	0	0	128	43	103	29	0	640	182	
Crisofíceas	176	69	0	703	249	932	717	23	3927	1043	
Diatomáceas	60	60	0	140	52	89	23	0	341	120	
Euglenóides	37	0	0	178	66	48	29	0	241	69	
Zignematofíceas	10	0	0	60	22	79	0	0	511	160	
Clorofíceas	1085	775	60	2843	1005	1466	923	251	5300	1485	
Xantofíceas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Rafidofíceas	7	0	0	64	21	49	0	0	379	114	

5.2.1.9.2 - Biovolume absoluto

Os dados de biovolume das populações de algas, expressos em milímetros cúbicos por litro ($\text{mm}^3 \text{L}^{-1}$) no rio Madeira, tributários e lago Cuniã (LC.01) encontram-se nos relatórios já apresentados anteriormente. O biovolume foi significativamente diferente entre os compartimentos ($p < 0,001$), sendo menor no rio Madeira ($0,104 \pm 0,106 \text{ mm}^3 \text{L}^{-1}$), seguido dos tributários ($0,626 \pm 0,767 \text{ mm}^3 \text{L}^{-1}$) e lago Cuniã ($1,139 \pm 1,284 \text{ mm}^3 \text{L}^{-1}$). Considerando o conjunto total de amostras, as fases do empreendimento (pré e pós-enchimento) apresentaram o mesmo comportamento observado para a densidade fitoplanctônica, significativamente diferentes em cada um dos compartimentos (**Figura 5.2.1-25-a, b, c**). No rio Madeira, a fase de pré-enchimento foi caracterizada por maior biovolume em relação ao pós-enchimento ($p < 0,05$; **Figura 5.2.1-25-a**), enquanto que nos tributários essa relação foi inversa ($p < 0,05$; **Figura 5.2.1-25-b**). Novamente, não foi possível observar variações no biovolume total fitoplanctônico do lago Cuniã (**Figura 5.2.1-25-c**).

No conjunto total dos dados amostrados pré e pós o enchimento em cada sistema, as principais variações foram observadas no rio Madeira e tributários ($p < 0,001$), sem variações no lago Cuniã. O rio Madeira apresentou biovolume fitoplanctônico significativamente maior no período de águas baixas da fase de pré-enchimento quando comparado aos períodos de enchente, águas altas e vazante da fase de pós-enchimento, e o período de vazante de pré-enchimento maior que o de enchente na fase pós-enchimento (**Figura 5.2.1-25-d**). Os tributários apresentaram maiores biovolume nos períodos de águas baixas e vazante na fase de pós-enchimento quando comparados aos períodos de águas altas e vazante na fase de pré-enchimento (**Figura 5.2.1-25-e**). O lago Cuniã não apresentou variações significativas entre os períodos amostrados, apenas uma tendência ao aumento do biovolume na fase de pós-enchimento (**Figura 5.2.1-25-f**).

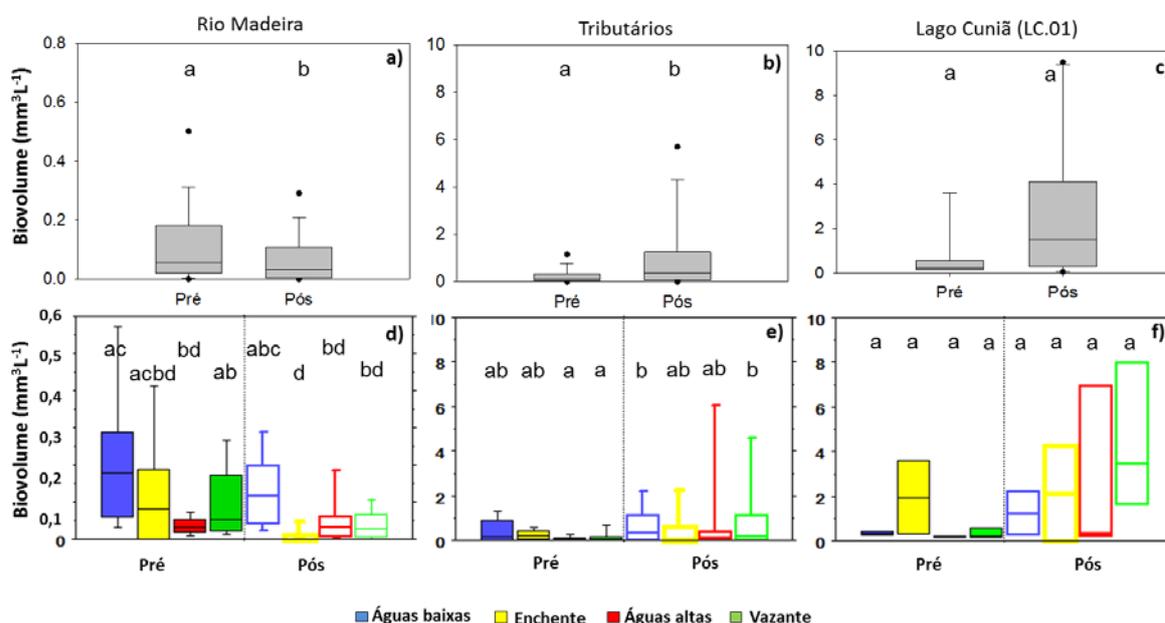


Figura 5.2.1-25 - Biovolume absoluto ($\text{mm}^3 \text{L}^{-1}$) nos diferentes compartimentos do rio Madeira, Tributários e lago Cuniã, durante as fases de pré e de pós-enchimento (a, b, c) e nos períodos de águas baixas, enchente, águas altas e vazante (d, e, f). Letras diferentes indicam variações significativas ($p < 0,05$).

Os diferentes grupos taxonômicos fitoplanctônicos também apresentaram variações significativas do biovolume entre os oitos períodos amostrados. Para o rio Madeira, cianobactérias e clorofíceas apresentaram essas diferenças, destacando um aumento no biovolume de cianobactérias na fase de pós-enchimento, enquanto que uma redução do biovolume de clorofíceas na fase de pós-enchimento ($p < 0,005$; Quadro 5.2.1-7).

Na região dos tributários, cianobactérias ($p < 0,001$) e clorofíceas ($p < 0,05$) apresentaram diferenças significativas (Quadro 5.2.1-7). Os períodos de águas baixas, águas altas e vazante foram caracterizados por maiores biovolumes de cianobactérias quando comparados à vazante do pré-enchimento. Também foi observado maior biovolume de clorofíceas no período de águas baixas da fase de pós-enchimento em relação ao período de águas altas da fase de pré-enchimento. O lago Cuniã não apresentou variações significativas dos diferentes grupos taxonômicos entre os períodos amostrados (Quadro 5.2.1-7).

Quadro 5.2.1-7 - Biovolume ($\text{mm}^3 \text{mL}^{-1}$) dos diferentes grupos taxonômicos do fitoplâncton no rio Madeira, tributários e lago Cuniã nas fases de pré e pós-enchimento. Os asteriscos indicam os grupos com que apresentaram variações significativas ($p < 0,05$).

Fase\compartimentos Biovolume ($\text{mm}^3 \text{mL}^{-1}$)	Pré-enchimento					Pós-enchimento				
	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	DP	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	DP
Rio Madeira										
Cianobactérias*	0.004	0.000	0.000	0.040	0.008	0.011	0.002	0.000	0.176	0.024
Criptofíceas	0.008	0.000	0.000	0.080	0.016	0.004	0.000	0.000	0.105	0.013
Dinofíceas	0.003	0.000	0.000	0.200	0.024	0.000	0.000	0.000	0.019	0.002
Crisofíceas	0.003	0.000	0.000	0.070	0.009	0.004	0.000	0.000	0.056	0.010
Diatomáceas	0.060	0.005	0.000	0.510	0.107	0.028	0.002	0.000	0.246	0.049
Euglenóides	0.025	0.000	0.000	0.610	0.090	0.003	0.000	0.000	0.082	0.012
Zignematofíceas	0.002	0.000	0.000	0.090	0.011	0.003	0.000	0.000	0.183	0.020
Clorofíceas*	0.018	0.012	0.000	0.100	0.022	0.008	0.001	0.000	0.120	0.018
Xantofíceas	0.000	0.000	0.000	0.010	0.001	0.001	0.000	0.000	0.030	0.004
Rafidofíceas	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.030	0.000	0.000	2.399	0.239
Tributários										
Cianobactérias*	0.022	0.004	0.000	0.700	0.090	0.031	0.008	0.000	0.380	0.057
Criptofíceas	0.037	0.010	0.000	0.300	0.070	0.211	0.040	0.000	4.750	0.484
Dinofíceas	0.009	0.000	0.000	0.200	0.040	0.060	0.000	0.000	1.820	0.202
Crisofíceas	0.011	0.002	0.000	0.200	0.030	0.023	0.002	0.000	0.480	0.057
Diatomáceas	0.099	0.000	0.000	2.300	0.340	0.137	0.000	0.000	4.520	0.467
Euglenóides	0.005	0.000	0.000	0.200	0.020	0.100	0.000	0.000	4.920	0.474
Zignematofíceas	0.004	0.000	0.000	0.100	0.020	0.029	0.000	0.000	2.100	0.179
Clorofíceas*	0.040	0.014	0.000	0.300	0.070	0.079	0.024	0.000	0.840	0.129
Xantofíceas	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.010	0.001
Rafidofíceas	0.022	0.000	0.000	0.500	0.080	0.293	0.000	0.000	5.410	0.936
lago Cuniã										
Cianobactérias	0.023	0.004	0.000	0.117	0.039	0.010	0.003	0.000	0.060	0.018
Criptofíceas	0.140	0.039	0.000	0.875	0.280	0.165	0.073	0.000	0.602	0.208
Dinofíceas	0.035	0.000	0.000	0.312	0.104	0.346	0.014	0.000	1.515	0.549
Crisofíceas	0.021	0.003	0.000	0.115	0.037	0.047	0.039	0.001	0.165	0.044
Diatomáceas	0.093	0.018	0.000	0.612	0.197	0.092	0.007	0.000	0.512	0.175
Euglenóides	0.015	0.000	0.000	0.066	0.024	0.083	0.036	0.000	0.439	0.126
Zignematofíceas	0.000	0.000	0.000	0.002	0.001	0.052	0.000	0.000	0.462	0.135
Clorofíceas	0.073	0.054	0.008	0.230	0.074	0.843	0.092	0.012	9.066	2.591
Xantofíceas	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Rafidofíceas	0.260	0.000	0.000	2.342	0.781	1.142	0.000	0.000	7.730	2.367

5.2.1.9.3 - Riqueza taxonômica

O número de espécies registrado por amostra variou significativamente entre os compartimentos ($p < 0,001$), onde o rio Madeira apresentou uma menor riqueza taxonômica (média de 6 ± 4 táxons/amostra), seguido dos tributários (11 ± 7 táxons/amostra) e o lago Cuniã (14 ± 6 táxons/amostra). Comparando o conjunto total de dados entre as fases do empreendimento (pré e pós-enchimento), observa-se uma variação significativa ($p < 0,05$) entre as duas fases, sendo a

fase de pós-enchimento caracterizada por uma menor riqueza no rio Madeira (Figura 5.2.1-26-a) e maior nos tributários (Figura 5.2.1-26-b). O lago Cuniã não apresentou variação entre as duas fases (Figura 5.2.1-26-c).

No conjunto total dos dados em cada sistema, observa-se que não há variações expressivas entre os períodos hidrológicos de pré e de pós-enchimento (Figura 5.2.1-26-d, e, f), especialmente nos tributários (Figura 5.2.1-26-e) e nenhuma variação no lago Cuniã (Figura 5.2.1-26-f). No rio Madeira, as principais diferenças observadas foram registradas na fase de pós-enchimento, com maior número de táxons por amostra no período de águas baixas e menor no período de enchente ($p < 0,001$; Figura 5.2.1-26-d). Já nos tributários, o período de águas baixas da fase de pré-enchimento foi significativamente menor ($p < 0,005$) que a observada no mesmo período da fase de pós-enchimento.

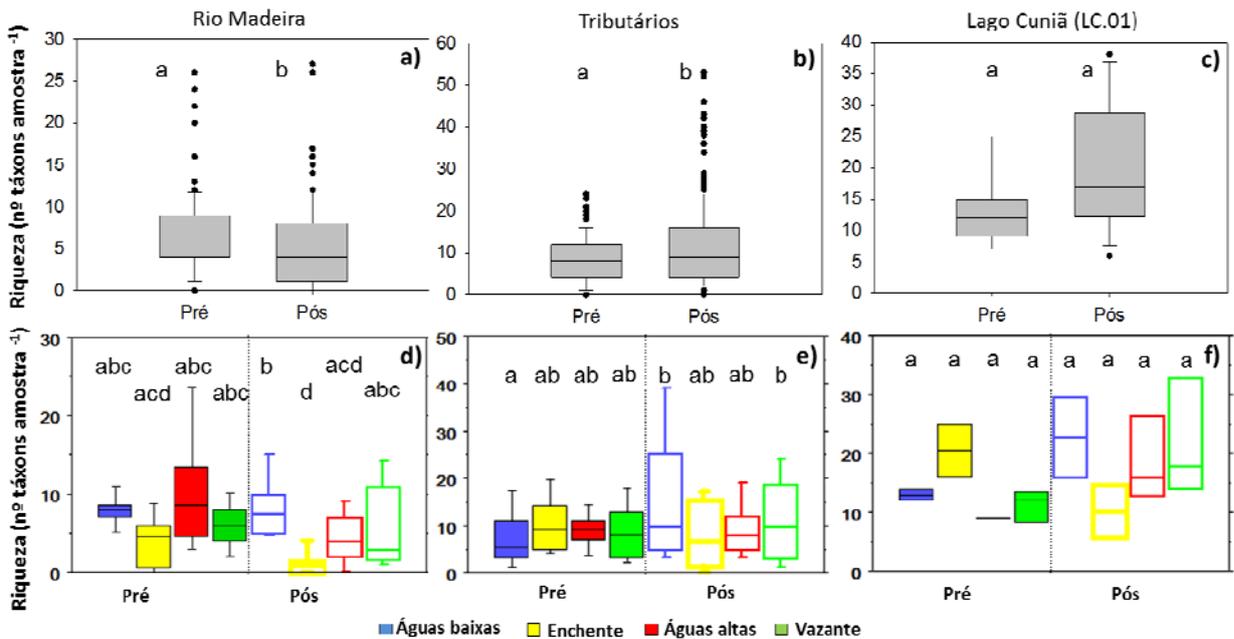


Figura 5.2.1-26 - Riqueza taxonômica total rio Madeira, tributários e lago Cuniã considerando as amostras quantitativas, durante as fases de pré e pós-enchimento (a, b, c) e nos períodos de águas baixas, enchente, águas altas e vazante (d, e, f). Letras diferentes indicam variações significativas ($p < 0,05$).

5.2.1.9.4 - Índice de Diversidade

A diversidade, estimada pelo índice de Shannon-Winner, foi significativamente menor no rio Madeira ($1,8 \pm 1,0$ bits ind⁻¹) em relação à diversidade registrada nos tributários ($2,3 \pm 1,0$ bits ind⁻¹; $p < 0,001$), enquanto que estes não variaram significativamente do lago Cuniã ($2,8 \pm 0,8$ bits ind⁻¹). Os valores registrados nos tributários e, especialmente, no lago Cuniã indicam elevada diversidade (valores acima de 2,5 bits ind⁻¹; Margalef, 1972; **Figura 5.2.1-27**). Comparando o conjunto total de dados entre as fases do empreendimento (pré e pós-enchimento), observa-se uma redução significativa ($p < 0,05$) na diversidade na fase de pós-enchimento no rio Madeira e um aumento nos tributários. Já o lago Cuniã não apresentou variação entre as fases do empreendimento (**Figura 5.2.1-27-a, b, c**).

No conjunto total dos dados amostrados foram observadas variações pouco expressivas na diversidade nos tributários, valores expressivamente menores no rio Madeira (**Figura 5.2.1-27-d, e, f**) e nenhuma variação no lago Cuniã (**Figura 5.2.1-27-f**). No rio Madeira, as principais diferenças observadas foram registradas na fase de pós-enchimento, com menor diversidade no período de enchente ($p < 0,001$; **Figura 5.2.1-27-d**), porém sem se diferenciar do respectivo período na fase de pré-enchimento. Já nos tributários, o período de vazante variou significativamente entre a fase de pré e de pós-enchimento, com menores valores na primeira ($p < 0,005$; **Figura 5.2.1-27-e**). Apesar da ampla variação entre os períodos hidrológicos observados no lago Cuniã, essa variabilidade não foi estatisticamente diferente, não sendo possível observar um padrão (**Figura 5.2.1-27-f**).

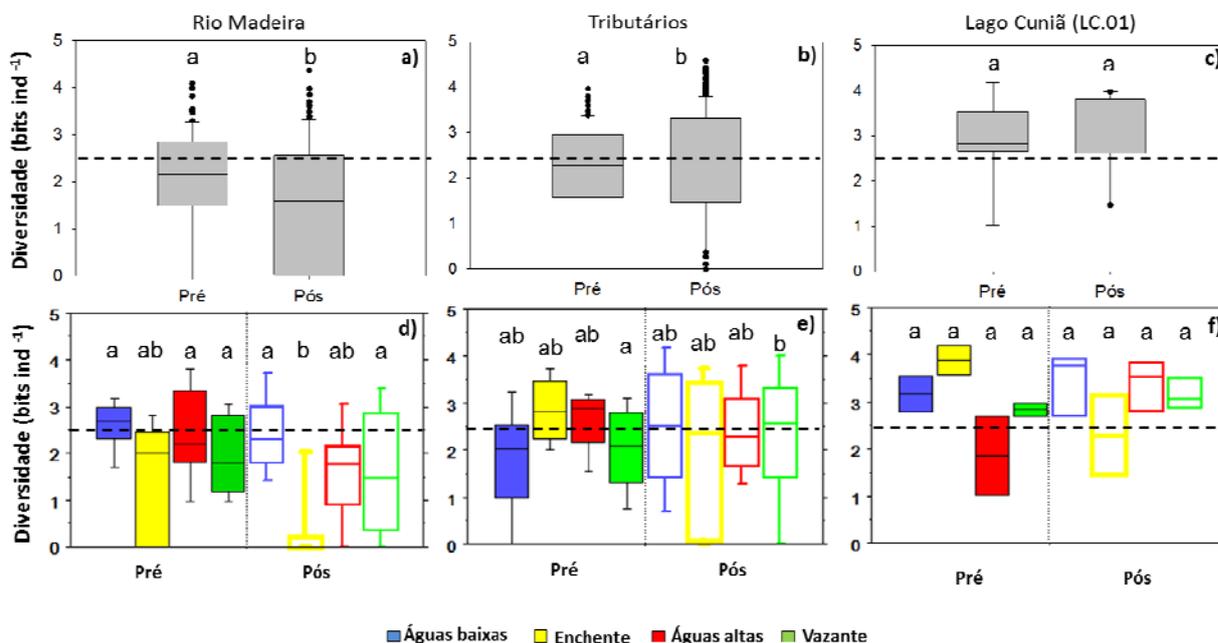


Figura 5.2.1-27 - Diversidade específica (bits ind^{-1}) rio Madeira, tributários e lago Cuniã considerando as amostras quantitativas, durante as fases de pré e pós-enchimento (a, b, c) e nos períodos de águas baixas, enchente, águas altas e vazante (d, e, f). Letras diferentes indicam variações significativas ($p < 0,05$). A linha tracejada indica o limite considerado como alta diversidade (Margalef, 1972).

5.2.1.9.5 - Diversidades de espécies (α , β , e γ)

Considerando todas as amostras quantitativas (622 unidades amostrais) no conjunto total dos dados (rio Madeira + tributários + lago Cuniã), a **gama diversidade** (ou diversidade regional), expressa como a riqueza total de táxons da comunidade fitoplanctônica observada em toda a área amostrada ao longo das campanhas foi de 676 táxons, sendo 334 táxons registrados na fase de pré-enchimento e 574 na fase de pós-enchimento. Considerando cada sistema, a gama diversidade no rio Madeira foi de 155 táxons na fase de pré-enchimento e 180 no de pós-enchimento, nos tributários foi de 258 táxons na fase de pré e 498 na fase de pós-enchimento e, no lago Cuniã, de 132 táxons na fase de pré e de 188 táxons na fase de pós-enchimento.

A **alfa diversidade**, expressa como a média do número de espécies considerando o conjunto total dos dados, foi de 8 e 12 táxons na fase de pré e de pós-enchimento, respectivamente. Considerando cada sistema, a alfa diversidade no rio Madeira foi de 6 táxons na fase de pré-enchimento e de 5 táxons na fase de pós-enchimento. Nos tributários, a alfa diversidade foi de 9 táxons na fase de pré e de 12 táxons na fase de pós-enchimento, enquanto que no lago Cuniã, foi registrada uma alfa diversidade média um pouco maior, de 11 táxons na fase de pré e de 16 táxons na fase de pós-enchimento (Quadro 5.2.1-8).

A **beta diversidade**, que expressa uma estimativa do grau de intercâmbio das espécies entre habitats ou entre pontos de amostragem e que varia de 1% (alto intercâmbio e homogeneidade na composição de espécies) a 100% (baixo intercâmbio e total heterogeneidade na composição de espécies), foi calculada, neste caso, levando-se em conta o intercâmbio entre: (i) os três sistemas no conjunto total dos dados, (ii) os pontos de amostragem de cada sistema e (iii) entre os sistemas a) rio Madeira e tributários, b) rio Madeira e lago Cuniã e c) tributários e lago Cuniã. No conjunto total dos dados, a beta diversidade nas fases de pré e de pós-enchimento foi reduzida, sendo de 16% e 12% respectivamente, evidenciando um elevado intercâmbio de espécies, especialmente na fase de pós-enchimento (**Quadro 5.2.1-8**). Considerando cada sistema em separado as estações do rio Madeira também apresentaram beta diversidade média relativamente reduzida, de 28% na fase de pré-enchimento e de 36% na de pós-enchimento, indicando valores intermediários de homogeneidade de espécies, com uma redução de intercâmbio na segunda fase do empreendimento. As estações dos tributários apresentaram um maior intercâmbio de espécies, indicada pelos reduzidos valores de beta diversidade, que foi de 20% na fase de pré-enchimento, e uma redução para 15% na fase de pós-enchimento (**Quadro 5.2.1-8**). Esses resultados, evidenciados ao longo desses cinco anos de monitoramento, indicam uma homogeneidade longitudinal intermediária no rio Madeira, com uma tendência a registrar uma maior heterogeneidade neste sistema. Já nos tributários, a beta diversidade indicou uma maior homogeneidade com tendências a um maior intercâmbio de espécies neste sistema.

Quadro 5.2.1-8 - Diversidades gama, alfa e beta no conjunto de dados (Geral), no rio Madeira, seus tributários nas fases de pré e pós-enchimento.

Diversidades\compartimentos	Geral	Rio Madeira	Tributários
Pré-enchimento			
Gama	334	155	258
Alfa-média	8	6	9
Beta	16	28	20
Pós-enchimento			
Gama	574	180	498
Alfa-média	12	5	12
Beta	12	36	15

Considerando os sistemas aos pares, a beta diversidade evidenciada entre o rio Madeira e tributários foi baixa, na fase de pré e de pós-enchimento (**Quadro 5.2.1-9**). Já a beta diversidade entre os tributários e o lago Cuniã foi de 19% na fase de pré e de 14% na fase de pós-enchimento, e entre o rio Madeira e o lago foi de 26% na fase de pré e 30% na fase de pós-

enchimento (**Quadro 5.2.1-9**). Portanto, é possível observar que há uma maior homogeneidade entre os pontos amostrados no rio Madeira e tributários e entre tributários e lago. A variação entre as duas fases do empreendimento não foram expressivas. No entanto, a relação entre o lago Cuniã e o rio Madeira indica uma maior heterogeneidade, especialmente na fase de pós-enchimento. Essa maior heterogeneidade também pode ser observada na relação entre o rio Madeira e tributários na fase de pós-enchimento, se dando de maneira inversa entre os tributários e o lago. Nesse sentido, é possível que exista uma semelhança na procedência do recrutamento das espécies ao longo das campanhas nos diferentes sistemas, especialmente entre os tributários e rio Madeira e entre os tributários e o lago Cuniã, mas não para o lago Cuniã e rio Madeira. Esse resultado pode indicar uma tendência a um menor intercâmbio de espécies entre o rio Madeira e o lago a jusante da barragem (**Quadro 5.2.1-9**).

Quadro 5.2.1-9 - Diversidades gama, alfa e beta entre rio Madeira, tributários e lago Cuniã nas fases de pré e pós-enchimento.

Compartimentos / diversidades	Gama	Alfa-média	Beta
Pré-enchimento			
Rio Madeira vs. Tributários	205	8	11
Rio Madeira vs. LC.01	218	7	26
Tributários vs. LC.01	298	9	19
Pós-enchimento			
Rio Madeira vs. Tributários	541	10	14
Rio Madeira vs. LC.01	287	8	30
Tributários vs. LC.01	534	12	14

5.2.1.9.6 - Curva de rarefação ao longo dos cinco anos de monitoramento

É reconhecido que a riqueza de espécies das comunidades é influenciada pelo número de amostras e pela abundância em que as populações ocorrem (Williams 1964). Com o objetivo de comparar a riqueza de espécies encontrada nos três compartimentos estudados, tendo como base um número idêntico de indivíduos, foi utilizada a curva de rarefação proposta por Gotelli & Colwell (2011). Para tanto, foram consideradas todas as amostras no conjunto total dos dados (cinco anos de monitoramento) para cada sistema.

Os resultados da curva de rarefação apontam que a riqueza de espécies, considerando um esforço amostral padronizado, é maior no lago Cuniã e nos tributários e menor no rio Madeira (**Figura 5.2.1-28**). Do total de 676 táxons registrados, 18% foram estivessem presentes em todos

os três sistemas (122 táxons), enquanto que os tributários apresentaram 40% exclusivos (271 táxons), o rio Madeira apenas 8% (52 táxons) e o lago Cuniã, 6% (38 táxons). Dessa maneira, ainda é possível observar que, mesmo ao longo de cinco anos de amostragem, a curva de rarefação não atingiu a estabilização, especialmente nos tributários e lago Cuniã (Figura 5.2.1-28).

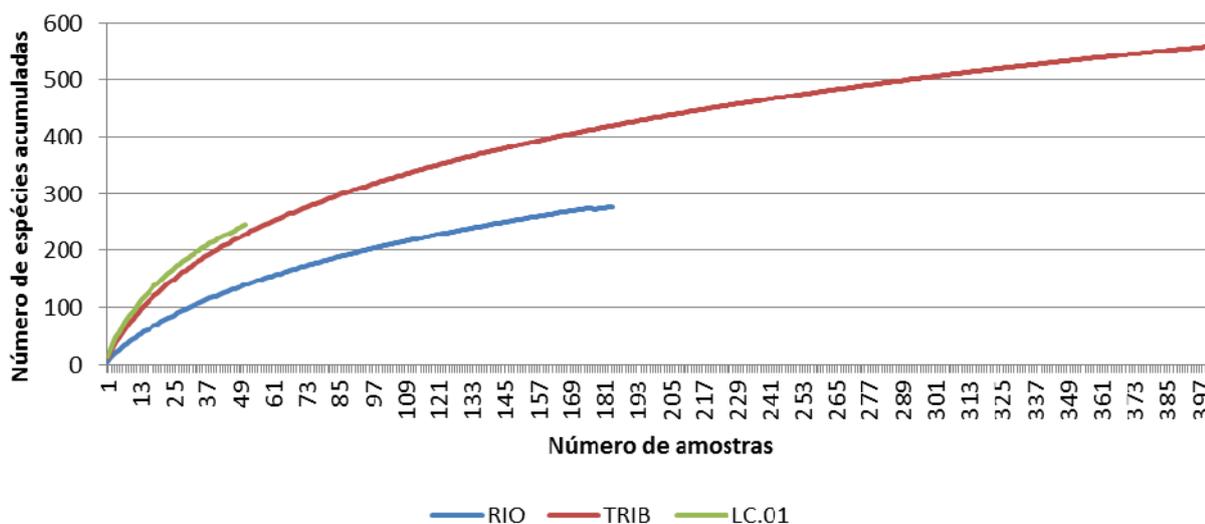


Figura 5.2.1-28 - Curva de acúmulo de espécies e riqueza observada ao longo dos cinco anos de amostragem do fitoplâncton no rio Madeira (RIO), seus tributários (TRIB) e lago Cuniã (LC.01).

5.2.1.9.7 - Cianobactérias e toxinas nos diferentes compartimentos e por períodos hidrológicos ao longo dos cinco anos de monitoramento

As listas das espécies de cianobactérias registradas em todas as campanhas realizadas e suas densidades, expressas em céls/mL em cada sistema podem ser acessadas nos respectivos relatórios e seus anexos. A densidade de cianobactérias foi significativamente diferente entre os sistemas, com maior densidade registrada nos tributários (4.246 ± 13.845 céls/mL, $p < 0,001$) em relação ao rio Madeira (556 ± 1.481 céls/mL) e sem diferença entre o rio Madeira e Lago Cuniã (1.050 ± 1.292 céls/mL). Comparando o conjunto total de dados, apenas os tributários apresentaram variação significativa entre as fases do empreendimento ($p < 0,001$), sendo a fase de pré-enchimento (4.031 ± 19.675 céls/mL) caracterizada por uma menor densidade em relação ao pós-enchimento (4.363 ± 9.349 céls/mL). O rio Madeira não apresentou variação significativa entre as fases do empreendimento, assim como o lago Cuniã.

No entanto, ao avaliar o conjunto total dos dados amostrados em cada sistema, o rio Madeira apresentou variações significativas ($p < 0,001$), com o período hidrológico das águas altas na fase

de pré-enchimento e pós-enchimento caracterizados por maiores densidades de células de cianobactérias quando comparado aos períodos de enchente de ambas as fases do empreendimento (Figura 5.2.1-29-a). Os tributários também apresentaram variação significativa ($p < 0,001$), sendo o período de vazante da fase de pré-enchimento com menor densidade de cianobactérias em relação às águas altas do pré-enchimento, águas baixas, águas altas e vazante na fase de pós-enchimento (Figura 5.2.1-29-b). Apesar da ampla variação observada no lago Cuniã, não foi possível observar variações significativas na densidade de cianobactérias entre os períodos hidrológicos e fases do empreendimento (Figura 5.2.1-29-c).

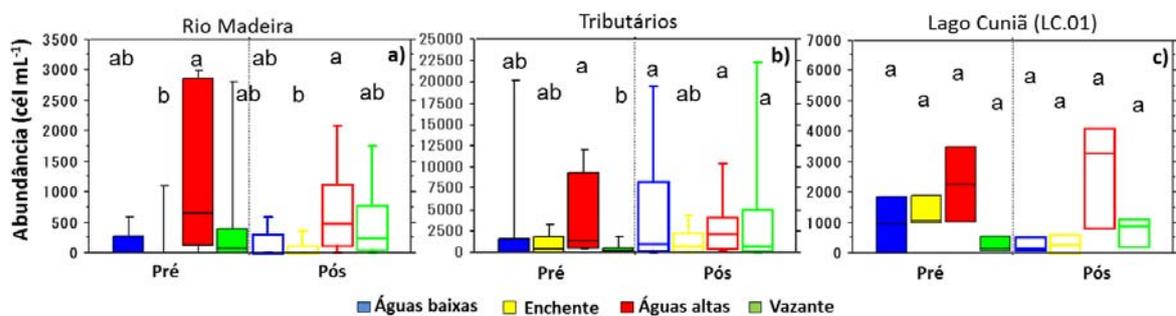


Figura 5.2.1-29 - Densidade de cianobactérias (cél mL⁻¹) observada rio Madeira, tributários e lago Cuniã durante as fases de pré e pós-enchimento nos períodos de águas baixas, enchente, águas altas e vazante (a, b, c). Letras diferentes indicam variações significativas ($p < 0,05$).

No que se refere ao enquadramento das águas e seus usos múltiplos, a Resolução CONAMA 357/2005 inclui a densidade de cianobactérias (cél.s.mL⁻¹) como um dos parâmetros a ser analisado, sendo de Classe 2 as águas com densidade de cianobactérias até 50.000 células.mL⁻¹. Desta forma, considerando o conjunto de amostras analisadas, de acordo com o critério de densidade de cianobactérias, JAM no período de águas baixas de 2009 (176.204 células mL⁻¹, com dominância de *Anathece delicatissima*) ultrapassou o limite especificado na Resolução CONAMA 357/2005. Por sua vez, elevadas densidades de cianobactérias também foram registradas no período de águas baixas de 2010 (26.953 células.mL⁻¹, com dominância de *Aphanocapsa holsatica*), águas baixas de 2013 (39.013 células.mL⁻¹ em JAT I.01-S), vazante de 2014 (26.077 células.mL⁻¹ em JAT I.01-F), e águas baixas de 2014 (37.325 células.mL⁻¹ em TEO.01-S; 21.408 células.mL⁻¹ em TEO.02-S; e 23.405 células.mL⁻¹ em JAM-S), sem, no entanto, ultrapassar os limites especificados na legislação.

As espécies que ocorreram em maior densidade nesses tributários e nas campanhas citadas acima foram *Aphanocapsa holsatica* (22.368 células/mL- JAM águas baixas/2010), *Aphanocapsa incerta* (17.449 células/mL) e *Anathece minutissima* (14.585 células/mL-JAT I.01-S) durante as águas baixas de

2013. Nas águas baixas de 2014 *Cyanogranis ferruginea* em TEO.01-S (27.035 cél/mL), TEO.02-S (17.166) e JAM-S (17.098 cél/mL). Essas espécies não são consideradas potencialmente tóxicas (Sant'Anna *et al.*, 2008).

5.2.1.9.8 - A comunidade fitoplanctônica e o ambiente: comparação da densidade e biovolume ao longo dos cinco anos de monitoramento

Para o rio Madeira, apesar da extensa lista de variáveis abióticas, nenhuma foi selecionada como significativa para explicar o conjunto biótico fitoplanctônico em biovolume. Para o conjunto total dos grupos taxonômicos, quando expresso em densidade, a RDA explicou 25% da variabilidade dos dados, sendo 21% acumulados nos dois primeiros eixos (eixo 1=16% e eixo 2=5%; Quadro 5.2.1-10 e **Figura 5.2.1-30**). As variáveis selecionadas foram: cota ($p=0,004$), velocidade da corrente (Vel. corr; $p=0,002$), CO_2 livre ($\text{CO}_{2\text{free}}$; $p=0,002$), íon amônio (NNH_4^+ ; $p=0,004$), profundidade máxima (Z_{max} ; $p=0,004$), zona eufótica (Z_{eu} ; $p=0,002$), e fósforo particulado (P_{part} ; $p=0,014$; **Figura 5.2.1-30**). Dessas, tiveram sua distância ao centro do gráfico significativa ($d \geq 0,53$ quando $n=7$) e ao todo explicaram 17% ($\lambda_A = 0,17$) da variabilidade dos dados apenas cota [$d=0,75$; $\lambda_A=0,12$ (12% de 25%)], positivamente relacionada ao eixo 1, velocidade da corrente [$d=-0,86$; $\lambda_A=0,01$ (1% de 25%)], negativamente relacionada ao eixo 1, e $\text{CO}_{2\text{free}}$, [$d=0,77$; $\lambda_A=0,04$ (4% de 25%)], positivamente relacionado ao eixo 2 (Quadro 5.2.1-11).

Entre os 10 grupos taxonômicos, não foram significativos para os 2 eixos plotados ($p > 0,05$), rafidofíceas (rafi), euglenóides (eugle) e zignematofíceas (zig; **Figura 5.2.1-30**). À exceção de cianobactérias (ciano), que se relacionou negativamente ao eixo 1, os demais grupos taxonômicos relacionaram-se positivamente ao eixo 1 e com as amostras principalmente da fase de pré-enchimento. Cianobactérias relacionaram-se positivamente com a velocidade da corrente ($p < 0,0001$) principalmente nas amostras da fase de pós-enchimento (estabilização 3 e 5; **Figura 5.2.1-30**). Clorofíceas ($p < 0,0001$), crisofíceas ($p < 0,001$), criptofíceas ($p < 0,03$), diatomáceas ($p < 0,0003$) e dinoflagelados ($p < 0,0006$) relacionaram-se positivamente com a cota principalmente nas amostras da fase de pré-enchimento. Clorofíceas ($p=0,0001$), crisofíceas ($p=0,01$), diatomáceas ($p < 0,0001$) e xantofíceas ($p=0,01$) relacionaram-se negativamente com a velocidade da corrente. Ainda, clorofíceas ($p < 0,0001$) relacionaram-se positivamente com o $\text{CO}_{2\text{free}}$ e diatomáceas ($p=0,005$) e crisofíceas relacionaram-se negativamente com o fósforo particulado. Ainda, a partir das águas altas de 2011 as amostras assemelharam-se com a fase pós. A primeira campanha (vazante de 2009) foi diferente das demais. Amostras da fase pós-enchimento foram muito semelhantes entre si e estão sobre-plotadas no diagrama de ordenação.

Esse resultado mostra que o sistema tornou-se mais homogêneo na fase pós-enchimento e indica a importância do pulso de inundação para a dinâmica da comunidade fitoplanctônica e conseqüentemente para a diversidade (dada pela variedade de classes taxonômicas).

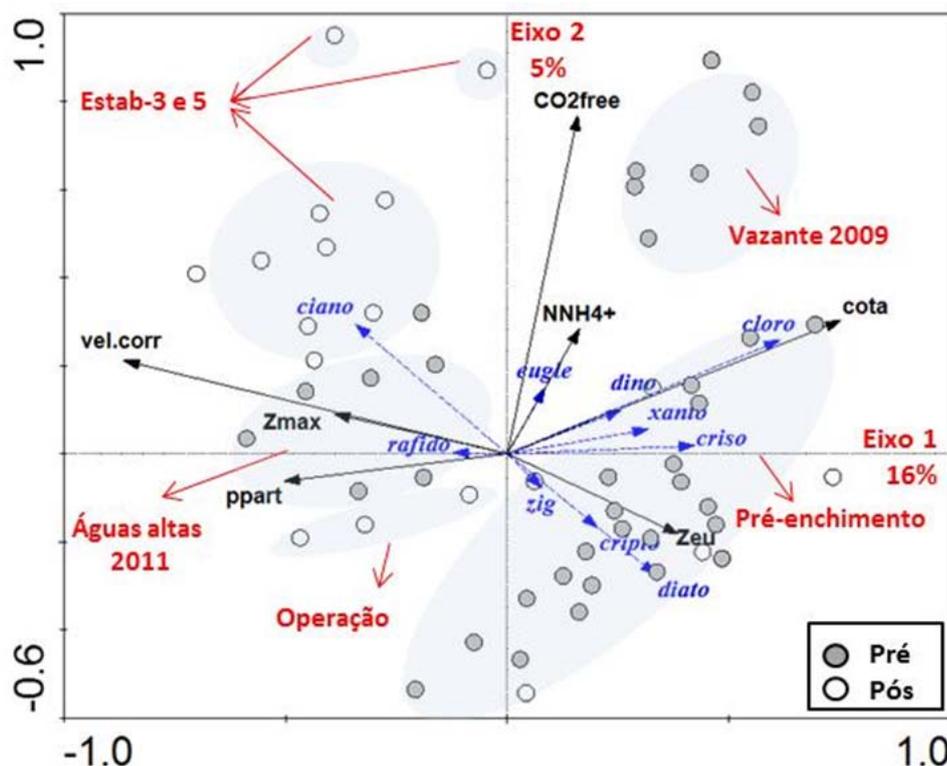


Figura 5.2.1-30 - Diagrama de ordenação derivado da análise de redundância (RDA) aplicadas às variáveis ambientais e à densidade das classes fitoplanctônicas no rio Madeira. Círculos cinza referem-se às amostragens de pré-enchimento e círculos brancos, do pós-enchimento. NNH_4^+ = íon amônio, Z_{max} = profundidade máxima, CO_2free = CO_2 livre, Cota = cota do reservatório, ppart = fósforo particulado, vel.corr = Velocidade da corrente, ciano = Cianobactérias, eugle = Euglenóides, dino = Dinoflagelados, cloro = Clorofíceas, xanto = Xantofíceas, criso = Crisofíceas, diato = Diatomáceas, cripo = Criptofíceas, zig = Zignematofíceas, rafido = Rafidofíceas.

Para os tributários, a RDA com as variáveis selecionadas para o conjunto biótico em biovolume explicou apenas 9% da variabilidade dos dados, sendo 8% acumulados nos dois primeiros eixos (eixo 1, 5% e eixo 2, 3%; Quadro 5.2.1-10; Figura 5.2.1-31-a). As variáveis selecionadas foram: profundidade máxima (Z_{max} ; $p=0,002$), fósforo total dissolvido (PTD; $p=0,006$), oxigênio dissolvido (O_2 ; $p=0,02$), CO_2 livre ($\text{CO}_{2\text{free}}$; $p=0,004$) e carbono orgânico dissolvido (COD; $p=0,05$). Dessas tiveram sua distância ao centro do gráfico significativa ($d \geq 0,58$ quando $n=6$) e ao todo explicaram apenas 6% da variabilidade dos dados (λ), Z_{max} [$d=0,63$; $\lambda=0,02$ (2% de 9%)], PTD [$d=0,58$; $\lambda=0,02$ (2% de 9%)] positivamente relacionada ao eixo 1 e O_2 [$d=0,60$; $\lambda=0,02$ (2% de

9%]] positivamente relacionada ao eixo 2 (Quadro 5.2.1-11). Entre os 10 grupos taxonômicos, apenas xantofíceas (xanto) não foi significativo ($p < 0,05$) para os dois eixos plotados. À exceção de diatomáceas (diato), que se relacionou positivamente, e cianobactérias (ciano) que se relacionou negativamente ao eixo 2, os demais grupos taxonômicos se relacionaram negativamente ao eixo 1 e com as amostras da fase de pós-enchimento, principalmente, dos tributários localizados a montante da barragem (Figura 5.2.1-31-a). Clorofíceas ($p=0,02$), dinoflagelados ($p=0,01$), criptofíceas ($p=0,002$) e crisofíceas ($p=0,03$) se relacionaram positivamente à profundidade máxima em algumas amostras de tributários localizados a montante da barragem e na fase de pós-enchimento. Diatomáceas ($p=0,006$), clorofíceas ($p=0,01$), criptofíceas ($p=0,002$) e crisofíceas ($p=0,02$) se relacionaram negativamente ao PTD principalmente nas amostras da fase de pós-enchimento. Diatomáceas se relacionaram positivamente com o O₂ ($p=0,03$) em algumas amostras da fase de pré-enchimento e crisofíceas ($p < 0,0001$) e cianobactérias ($p=0,0006$) se relacionaram negativamente com o O₂ principalmente em amostras da fase de pós-enchimento nos tributários CAR, JAC.01 e JAC.02.

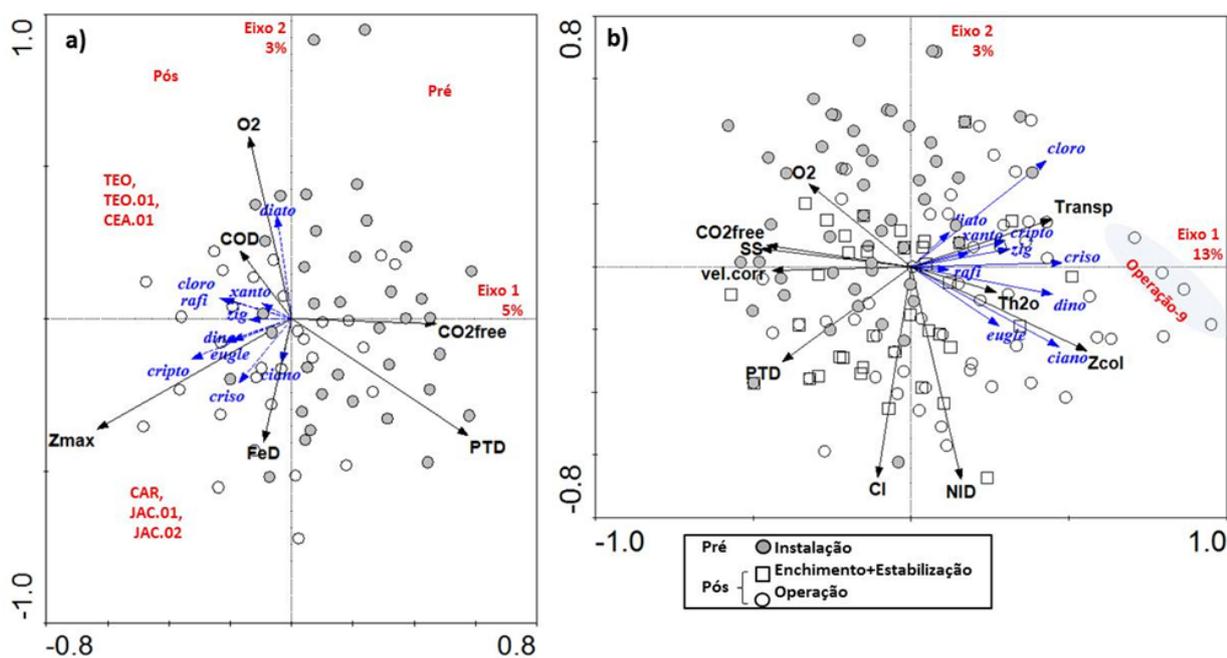


Figura 5.2.1-31 - Diagramas de ordenação derivados da análise de redundância (RDA) aplicadas às variáveis ambientais e ao biovolume (a) e densidade (b) das classes fitoplantônicas nos Tributários. Círculos cinza referem-se às amostragens de pré-enchimento (instalação), símbolos abertos (quadrado e círculo) de pós-enchimento. Zmax=profundidade máxima, CO₂free = CO₂ livre, vel.corr=Velocidade da corrente, O₂=oxigênio dissolvido, Transp=Transparência da água, Th20=Temperatura da água, Zcol=Profundidade da Coleta, NID=Nitrogênio inorgânico dissolvido, Cl=Carbono inorgânico, PTD=Fósforo total dissolvido, SS=sólidos solúveis, FeD=Ferro dissolvido, COD=Carbono orgânico dissolvido, ciano=Cianobactérias, eugle=Euglenóides, dino=Dinoflagelados, cloro=Clorofíceas, xanto=Xantofíceas, criso=Crisofíceas, diato=Diatomáceas, cripto=Criptofíceas, zig=Zignematofíceas, rafido=Rafidofíceas.

Para o conjunto biótico em densidade, a RDA nos tributários selecionou previamente 16 variáveis que ao todo explicaram 25% da variabilidade dos dados, no entanto 5 delas foram retiradas da análise por apresentarem colinearidade ($VIF > 10$) com outras variáveis. A RDA final com 11 variáveis explicou 21%, sendo 16% acumulados nos dois primeiros eixos (eixo 1, 13% e eixo 2, 3%; Quadro 5.2.1-10; **Figura 5.2.1-31-b**). As variáveis selecionadas foram: transparência da água (Transp.; $p=0,002$), velocidade da corrente (Vel. corr; $p=0,004$), CO_{2free} ($p=0,002$), temperatura da água (Th2o; $p=0,01$), carbono inorgânico (CI; $p=0,006$), fósforo total dissolvido (PTD; $p=0,01$), O_2 ($p=0,03$), sólidos solúveis (SS; $p=0,004$), nitrogênio inorgânico dissolvido (NID, $p=0,02$) e profundidade do ponto de coleta (Zcol; $p=0,028$). Dessas, tiveram sua distância ao centro do gráfico significativa ($d \geq 0,43$ quando $n=11$) e ao todo explicaram 20% da variabilidade dos dados (λA), Zcol [$d=0,56$; $\lambda A=0,05$ (5% de 20%)], Transp. [$d=0,45$; $\lambda A=0,03$ (2% de 20%)], positivamente relacionadas ao eixo 1, vel.corr [$d=0,44$; $\lambda A=0,02$ (2% de 20%)], CO_{2free} [$d=0,45$; $\lambda A=0,02$ (2% de 20%)], negativamente relacionadas ao eixo 1, CI [$d=0,67$; $\lambda A=0,02$ (2% de 20%)] e NID [$d=0,68$; $\lambda A=0,02$ (2% de 20%)] negativamente relacionadas ao eixo 2 (Quadro 5.2.1-11). Entre os 10 grupos taxonômicos apenas rafidofíceas (rafi) não foi significativo ($p < 0,05$) para os dois eixos plotados. Diatomáceas foi um grupo marginalmente significativo ($p=0,053$) e foi o único grupo positivamente relacionado ao eixo 2. Os demais grupos foram relacionados positivamente ao eixo 1 e com algumas amostras da fase de pós-enchimento. Ainda, a fase de enchimento e estabilização (plotadas em quadrado branco na **Figura 5.2.1-31-b**) se agrupou com as amostras da fase de pré-enchimento principalmente devido a maior velocidade da corrente, concentração de sólidos em suspensão e de fósforo total dissolvido.

No lago Cuniã para o conjunto biótico em biovolume, a RDA explicou 25% da variabilidade dos dados, sendo 24% acumulados nos dois primeiros eixos (eixo 1, 20% e eixo 2, 4%; Quadro 5.2.1-10; **Figura 5.2.1-31-a**). As variáveis previamente selecionadas foram: zona eufótica (Zeu; $p=0,02$), nitrogênio particulado (Npart; $p=0,02$) e fósforo solúvel reativo (SRP; $p=0,004$). Dessas, tiveram sua distância ao centro do gráfico significativa ($d \geq 0,81$ quando $n=3$) apenas SRP [$d=-0,88$; $\lambda A=0,16$ (16% de 25%)] (Quadro 5.2.1-11). Entre os 10 grupos taxonômicos, não foram significativos para os dois eixos plotados cianobactérias, crisofíceas, diatomáceas e zignematofíceas. Euglenóides ($p=0,01$), criptofíceas ($p=0,0002$) e rafidofíceas ($p < 0,0001$), foram positivamente relacionadas com o eixo 1 e negativamente relacionadas com o SRP ($p=0,007$, $p=0,0007$ e $p < 0,0001$, respectivamente) nas duas amostras da estabilização-5 (**Figura 5.2.1-1 - a**). Por conta da dissimilaridade dessas amostras em relação ao conjunto total dos dados, as demais amostras ficaram localizadas próximas ao centro do gráfico. Clorofíceas relacionaram-se

negativamente ao eixo 2 ($p=0,03$) e positivamente à zona eufótica ($p=0,04$) nas amostras da fase de operação 3, 4 e 6. Dinoflagelados relacionaram-se também negativamente ao eixo 2 ($p=0,04$), porém não tiveram relação com nenhuma variável selecionada.

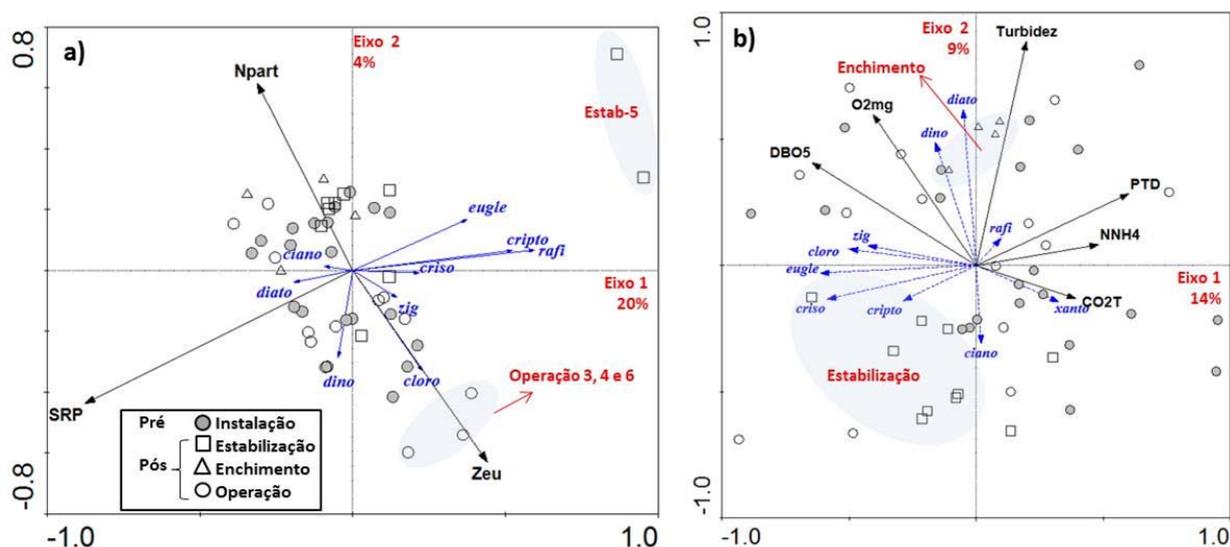


Figura 5.2.1-32 - Diagramas de ordenação derivados da análise de redundância (RDA) aplicadas às variáveis ambientais e ao biovolume (a) e densidade (b) das classes fitoplanctônicas no lago Cuniã. Círculos cinza referem-se às amostragens de pré-enchimento (instalação), símbolos abertos (quadrado, triângulo e círculo) de pós-enchimento. O₂ mg=oxigênio dissolvido, Turbidez=Turbidez, PTD=Fósforo total dissolvido, NNH_4^+ = íon amônio, CO₂T=Gás Carbônico Total, DBO₅ = demanda bioquímica de oxigênio em 5 dias, Zeu=Zona eufótica, SRP=Fórforo solúvel reativo, Npart=Nitrogênio particulado, ciano=Cianobactérias, eugle=Euglenóides, dino=Dinoflagelados, cloro=Clorofíceas, xanto=Xantofíceas, criso=Crisofíceas, diato=Diatomáceas, crpto=Criptofíceas, zig=Zignematofíceas, rafid=Rafidofíceas.

Para o conjunto biótico em densidade para o lago Cuniã, a RDA explicou 32%, sendo 23% acumulados nos dois primeiros eixos (eixo 1, 14% e eixo 2, 9%; Quadro 5.2.1-10; Figura 5.2.1-32-b). As variáveis previamente selecionadas foram: turbidez (Turb; $p=0,002$), demanda bioquímica de oxigênio (DBO₅; $p=0,002$), oxigênio dissolvido (O₂; $p=0,004$), gás carbônico total (CO₂T; $p=0,05$), fósforo solúvel reativo (SRP; $p=0,01$) e marginalmente significativo, porém com valor ecológico, o íon amônio (NNH_4^+ ; $p=0,06$). Dessas tiveram sua distância ao centro do gráfico significativa ($d \geq 0,57$ quando $n=6$), DBO₅ [$d=-0,64$; $\lambda A=0,09$ (9% de 32%)], PTD [$d=-0,60$; $\lambda A=0,05$ (5% de 32%)], negativamente e positivamente relacionados ao eixo 1, respectivamente; turb [$d=-0,88$; $\lambda A=0,08$ (8% de 32%)] e O₂ [$d=-0,59$; $\lambda A=0,05$ (5% de 32%)].

Para o lago Cuniã, as amostras do período de enchimento e estabilização (pós-enchimento) foram plotadas com símbolos diferenciados da fase de operação devido a dissimilaridade entre essas fases. Quando expressa em biovolume a comunidade fitoplanctônica evidenciou uma

dissimilaridade nas amostras da operação, principalmente pelo aumento de clorofíceas relacionadas com o aumento da zona eufótica (Figura 5.2.1-32-a). Esse resultado pode estar evidenciando a influência das águas do rio Madeira na dissimilaridade dessas amostras durante esses períodos visto que correspondem aos períodos hidrológicos de águas altas, vazante e enchente, respectivamente. Os períodos de águas altas e enchente foram registrados, anteriormente, como exercendo tal dissimilaridade no conjunto dos dados no lago Cuniã, positivamente relacionados à profundidade e negativamente à turbidez.

Quadro 5.2.1-10 - Valores absolutos da explicabilidade total (LambdaA) e de cada variável previamente selecionada pela RDA aplicada ao conjunto total dos dados e aos grupos taxonômicos em densidade ($\log \text{ind/mL}+1$) e biovolume ($\log \text{mm}^3/\text{L}+1$) no rio Madeira, seus tributários e lago Cuniã.

Sistemas	Rio Madeira				Tributários				Lago Cuniã			
Medida fitoplanctônica	densidade		densidade		biovolume		densidade		biovolume			
Variáveis	sigla	LambdaA	P	LambdaA	P	LambdaA	P	LambdaA	P	LambdaA	P	
Carbono inorgânico (mgL^{-1})	CI			0,01	0,006							
Carbono orgânico dissolvido (mgL^{-1})	COD					0,00	0,048					
Cota (m)	cota	0,01	0,004									
Demanda bioquímica de oxigênio 5 dias (mgL^{-1})	DBO5							0,09	0,002			
Ferro dissolvido (mgL^{-1})	FeD					0,02	0,054					
Fósforo particulado (μgL^{-1})	PP	0,01	0,014									
Fósforo solúvel reativo	SRP									0,16	0,004	
Fósforo total dissolvido (μgL^{-1})	PTD			0,01	0,014	0,02	0,006	0,05	0,012			
Gás carbônico livre (mgL^{-1})	CO _{2free}	0,04	0,002	0,02	0,002	0,02	0,004					
Gás carbônico total (mgL^{-1})	CO _{2T}							0,03	0,046			
Íon amônio (μgL^{-1})	NNH4+	0,02	0,004					0,03	0,058			
Nitrogênio inorgânico dissolvido (μgL^{-1})	NID			0,01	0,018							
Nitrogênio particulado (μgL^{-1})	Npart									0,06	0,022	
Oxigênio dissolvido (mgL^{-1})	O ₂			0,01	0,026	0,02	0,018	0,05	0,004			
Profundidade de coleta (m)	Z _{col}			0,01	0,028							
Profundidade máxima (m)	Z _{max}	0,02	0,004			0,02	0,002					
Sólidos em suspensão (mgL^{-1})	SS			0,01	0,004							
Temperatura da água (°C)	T _{H2O}			0,01	0,012							
Transparência da água (m)	Transp.			0,03	0,002							
Turbidez (NTU)	turbidez							0,08	0,002			
Velocidade da corrente (kmh^{-1})	vel.corr	0,12	0,002	0,02	0,004							
Zona eufótica (m)	Z _{eu}	0,02	0,002							0,05	0,022	
total LambdaA (variância da relação espécie-ambiente)		0,24		0,14		0,10		0,33		0,27		

Quadro 5.2.1-11 - Autovalores e porcentagem da variância explicada nos dois primeiros eixos da RDA aplicada ao conjunto total dos dados e aos grupos taxonômicos em densidade ($\log \text{ind/mL}+1$) e biovolume ($\log \text{mm}^3/\text{L}+1$) no rio Madeira, seus tributários e lago Cuniã.

Sistema	Madeira		Tributários		Lago Cuniã (LC,01)					
Medida fitoplanctônica	densidade		densidade		biovolume		densidade		biovolume	
Eixos	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Autovalores	0,156	0,047	0,134	0,029	0,05	0,028	0,14	0,094	0,203	0,043
Porcentagem acumulada da variância das espécies	15,6	20,4	13,4	16,3	5,0	7,8	14	23,4	20,3	24,5
da relação espécies-ambiente	63,3	82,4	68,3	83,1	55,3	86,9	43,7	73,1	82	99,3
Soma de todos os autovalores canonicos	0,247		0,196		0,09		0,32		0,247	
Variância total	1.000		1.000		1.000		1.000		1.000	

5.2.1.10 - Discussão

No conjunto total de dados no mês de outubro de 2014 foram registrados 332 táxons, distribuídos em dez classes taxonômicas (26 cianobactérias, 11 criptofíceas, 13 dinoflagelados, 32 crisofíceas, 39 diatomáceas, 03 rafidofíceas, 17 euglenóides, 127 clorofíceas e 59 zignematofíceas). Ao todo, foram registrados, no rio Madeira, nos tributários e no lago Cuniã, 54, 159 e 34 táxons, respectivamente. Em outubro/2014, as clorofíceas e as zignematofíceas apresentaram a maior contribuição entre os táxons, no conjunto total dos dados (38% e 18%, respectivamente). Esse padrão de dominância das clorofíceas já vinha sendo registrado para a comunidade fitoplanctônica, no entanto, neste período de águas baixas/2014, as zignematofíceas apresentaram maior riqueza do que das cianobactérias, segundo grupo com maior representatividade até então, no segundo ano de operação. No lago Cuniã, as crisofíceas também foram representativas, ao longo deste período hidrológico.

Em rios o regime hidrológico é visto como a variável mestra a moldar as características ecológicas fundamentais para a integridade biótica (Poff & Zimmerman 2010). Em se tratando de grandes rios submetidos ao pulso de inundação, a força hídrica é apontada como responsável por manter a homogeneidade longitudinal do sistema e o pulso de inundação com suas variações hidrológicas, por manter a biodiversidade (Zalocar de Domitrovic 2005). Estudos apontam como principais mudanças ambientais relevantes ao fitoplâncton, à partir da implantação de reservatórios: i) aumento da transparência da água e diminuição da concentração de fósforo; ii) diminuição da conectividade entre sistemas adjacentes; iii) diminuição da densidade e biodiversidade fitoplanctônica; iv) substituição de diatomáceas por criptofíceas; v) aumento de cianobactérias a jusante da barragem; entre outras (Devercelli *et al* 2014).

No rio Madeira, dado seu forte, previsível e constante escoamento hidráulico, a dinâmica do sistema foi mantida com baixas contribuições algais, representada por indivíduos pequenos com curto tempo de geração. Os períodos hidrológicos influenciam diretamente essa dinâmica com maiores contribuições de clorofíceas e diatomáceas nas águas baixas e de cianobactérias nas enchentes e águas altas. Criptofíceas sempre estiveram presentes no rio Madeira com contribuições reduzidas (5-10%), com algumas exceções na fase de pré-enchimento (Ex.: enchente de 2011). Durante a fase de enchimento (pós-enchimento), criptofíceas apresentaram reduzida contribuição, sendo o oposto observado para as cianobactérias, principalmente durante o início da fase de operação, no primeiro ano do pós-enchimento (Ex.: campanha de julho de 2013). Observando a comunidade fitoplanctônica neste segundo ano de operação, evidencia-se o

retorno da contribuição das criptofíceas nos meses de outubro/2013 e janeiro/2014 (águas baixas e enchente, respectivamente), e a substituição delas pelo aumento da contribuição de cianobactérias no mês de abril/2014 (águas altas). Da mesma forma que o observado no início da fase de pós-enchimento (enchimento do reservatório) no rio Madeira, ocorreu um aumento de cianobactérias nas águas altas de 2014 e também de maiores contribuições de clorofíceas em densidade e de diatomáceas em biovolume.

Nos tributários o cenário se difere uma vez que o escoamento hidráulico é menor e os sistemas diferentes entre si. Nesses, a contribuição algal sempre foi maior e mais diversa quando comparadas ao rio Madeira. Em relação às diferentes fases, pode-se observar uma tendência do aumento dos valores máximos de densidade e de biovolume nesses sistemas no pós-enchimento quando comparado aos valores máximos da fase de pré-enchimento. Não foram observados padrões claros na contribuição dos grupos taxonômicos, porém, ocorreu uma tendência de maior contribuição de cianobactérias nos períodos de enchente e águas altas e de fitoflagelados nos períodos de vazante e águas baixas no final do segundo ano de operação.

No rio Madeira, o aumento de cianobactérias no pós-enchimento permanece positivamente relacionado com a velocidade da corrente, evidenciando uma situação recorrente, também registrada nos períodos de enchente e águas altas da fase de pré-enchimento. Porém inspira atenção uma vez que: i) a diminuição da biodiversidade ocorre geralmente com dominância em quantidade de indivíduos e biomassa de espécies ou grupos semelhantes; e ii) cianobactérias são organismos resistentes que geralmente dominam em situações de baixa diversidade. Dado o intenso escoamento hidráulico no rio Madeira, as espécies presentes são representadas por indivíduos pequenos de rápido tempo de geração e não potencialmente tóxicos, muito embora na literatura exista tanto a ocorrência de florações quanto o registro de toxicidade em *Synechocystis aquatilis* (Nascimento & Azevedo 1999; Magalhães *et al.* 2003) e *Synechococcus nidulans* (Sant'Anna *et al.* 2008). O lago Cuniã também apresentou aumento de cianobactérias no período de águas altas/2014. Na fase de pré-enchimento, maiores contribuições de cianobactérias no lago Cuniã também foram registradas no período águas altas, mesmo sem diferenças significativas. De forma geral, o aumento de cianobactérias no lago, no período de águas altas pode estar diretamente relacionado à dinâmica hidrológica da região.

Em síntese, as cianobactérias nunca atingiram limites superiores ao proposto pela legislação no rio Madeira e raramente nos tributários. No segundo ano da fase de operação, cianobactérias ultrapassaram os limites impostos pela Resolução CONAMA 357/2005 para águas doces de Classe 2

(> 50.000 cél/mL) apenas em JAM no período de águas baixas de 2009 (176.204 céls mL⁻¹, com dominância de *Anathece delicatissima*). No entanto as espécies registradas não são potencialmente tóxicas. Já no lago Cuniã, foi registrada uma espécie potencialmente tóxica que inspira atenção (*Geitlerinema amphibium*), porém sua densidade foi baixa (1.537 céls/mL em julho/2014). Em um estudo no reservatório de Yacyretá (rio Paraná, Argentina), o registro de aumento da densidade de cianobactérias ocorreu somente 10 anos após o enchimento e a 220 km a jusante da barragem (Devercelli *et al.* 2014). Apesar das densidades relativamente reduzidas de cianobactérias, foi observada que estas foram significativamente maiores após o enchimento nos tributários, porém não há indícios de riscos associados a proliferação das espécies já registradas.

No rio Madeira houve uma diminuição nos valores de riqueza e diversidade durante o primeiro ano da fase de operação, sendo a riqueza média de 3 táxons/amostra e a diversidade 1,2 bits/ind. No presente relatório, pode ser observado o retorno da riqueza (8 táxons/amostra) e da diversidade média (2,4 bits/ind) às condições da fase de pré-enchimento, quando a média dessas variáveis foi de 8 táxons/amostra e a diversidade superior a 2,5 bits/ind. Situação inversa ocorreu nos tributários, onde maiores riquezas e diversidades foram registradas na fase de pós-enchimento (especialmente nas estações amostrais dos tributários situadas mais a montante) e no período de águas baixas de 2014 (especialmente em JAT I.02 com 53 táxons/amostra e CEA.02-S com 4,6 bits/ind). Na fase de pré-enchimento a riqueza e a diversidade foram maiores apenas nos períodos de enchente e águas altas, com média de 12 táxons/amostra e diversidade com média de 2,0 bits/ind. Durante a fase de enchimento (primeiro ano do pós-enchimento) essas variáveis mantiveram-se baixas à exceção dos tributários mais a montante da barragem (CAR, JAC e CRC - relatório consolidado do enchimento). No presente relatório pode-se observar que a riqueza média no segundo ano de operação foi de 18 táxons/amostra e a diversidade manteve-se acima de 2,5 bits/ind com média de 3,0 bits/ind. Esses resultados sugerem a relevância da redução do escoamento hidráulico e aumento no tempo de residência da água na dinâmica da comunidade fitoplanctônica nesses sistemas.

No lago Cuniã (somente LC.01), à exceção da fase de enchimento, onde foi observado um declínio na riqueza e diversidade, principalmente durante as águas baixas de 2011 (outubro/2011), a riqueza foi em média de 20 táxons/amostra e a diversidade acima de 2,5 bits/ind. Um lago inserido numa planície de inundação é influenciado diretamente pelo regime hidrológico do rio principal, sendo maior essa influência quando se encontram conectados. Porém

outros fatores podem contribuir para essa dinâmica como, por exemplo, sua própria bacia de captação e fatores intrínsecos ao lago, como suas propriedades físico-químicas e interações biológicas. O intercâmbio de espécies entre o rio Madeira e o lago Cuniã sempre foi menor do que entre rio Madeira e os tributários. Porém é possível observar que a dinâmica hidrológica do pulso de inundação no rio Madeira exerce influência sobre o intercâmbio de espécies entre este sistema e o lago Cuniã. Em relação ao intercâmbio de espécie entre o rio Madeira e os tributários, o segundo ano de operação indica uma contribuição de diferentes fontes no recrutamento de espécies, nos períodos de enchente e águas altas (43% e 37% em janeiro e abril de 2014, respectivamente) como, por exemplo, a planície de inundação, levando a uma maior heterogeneidade dos sistemas.

A diminuição dos atributos da comunidade fitoplanctônica na fase de pós-enchimento no rio Madeira e o aumento nos tributários chama a atenção, principalmente no segundo ano de operação. O aumento da contribuição algal nos tributários pode ser consequência da alteração da dinâmica hidrológica desses sistemas e consequente aumento no tempo de residência da água. A relação com essa variável não foi testada, porém os grupos taxonômicos se relacionaram inversamente com a velocidade da corrente, indicando que a diminuição desta pode ter influenciado o aumento da contribuição algal.

Considerando a densidade dos grupos taxonômicos, a RDA evidenciou um gradiente de diminuição da contribuição de alguns grupos no rio Madeira, relacionados negativamente com a velocidade da corrente, como por exemplo, diatomáceas e, o aumento de cianobactérias positivamente relacionado a esta variável. Isso reforça os resultados da composição dos grupos taxonômicos onde foi observado que cianobactérias tenderam a contribuir mais durante a enchente e águas altas, o que sugere um favorecimento deste grupo mediante condições mais lóticas do rio Madeira em oposição ao registrado nos tributários, onde sua contribuição para a composição da comunidade foi maior nos períodos de maior tempo de residência da água (águas baixas e vazante). De forma geral, a RDA evidenciou a importância dos diferentes períodos hidrológicos para a dinâmica do fitoplâncton no rio Madeira. Apesar da cota do rio Madeira ter sido a variável mais importante na fase de pré-enchimento, para explicar o biovolume das classes fitoplanctônicas, a manutenção da homogeneidade longitudinal do rio Madeira, dada pela ausência de diferenças significativas entre montante e jusante da barragem, é possível supor que a força hídrica seja mais importante do que o barramento do rio para a dinâmica fitoplanctônica no rio Madeira. Uma das preocupações quanto ao barramento de um rio é a quebra da

homogeneidade longitudinal e o surgimento de diferenças entre os trechos à montante em comparação ao trecho à jusante da barragem. No rio Madeira dois fatores podem contribuir para a manutenção dessa homogeneidade: i) o tipo de barragem (fio d'água) que permite manter o escoamento hidráulico e ii) a dimensão da força hídrica do próprio rio, que sobrepuja a barreira física. Assim é que nenhum parâmetro fitoplanctônico apresentou diferença estatística entre os trechos de montante e jusante, tanto na fase pré, quanto na fase pós-enchimento.

Nos tributários foi evidenciado um aumento tanto em biovolume como em densidade das classes taxonômicas, principalmente em outubro de 2014 (águas baixas), estando negativamente relacionado à velocidade da corrente (principalmente cianobactérias e zignematófitas) e aos sólidos totais (crisofíceas e dinoflagelados). Isso pode estar relacionado à maior incidência luminosa (pela redução da turbidez) e o maior efeito de barreira hidráulica (pela diminuição da velocidade da corrente) nos tributários - o que representam fortes moduladores da dinâmica fitoplanctônica.

No lago Cuniã, a RDA com dados de biovolume evidenciou um gradiente de luminosidade com aumento de clorofíceas positivamente relacionadas à zona eufótica e de diatomáceas, positivamente relacionadas ao fósforo solúvel reativo. Foi observado que o enchimento e estabilização (fase de pós-enchimento) foram dissimilares das demais etapas de implementação do empreendimento, muito provavelmente responsáveis pela explicabilidade da variância total dos dados. Ainda em biovolume, a dissimilaridade ocorreu durante a última campanha de estabilização (na vazante de 2012) e no meio da fase de operação (águas altas, vazante e enchente de 2013).