

## ÍNDICE

5.2 - Bióticos.....	1/31
5.2.1 - Fitoplâncton.....	1/31
5.2.1.1 - Riqueza de espécies no conjunto de dados .....	1/31
5.2.1.2 - Densidade absoluta e densidade relativa .....	3/31
5.2.1.3 - Biovolume absoluto e biovolume relativo.....	6/31
5.2.1.4 - Riqueza, diversidade específica e equitabilidade no conjunto de dados considerando a densidade fitoplanctônica.....	10/31
5.2.1.5 - Diversidades de espécies ( $\alpha$ , $\beta$ , e $\gamma$ ) .....	14/31
5.2.1.6 - Dominância das populações fitoplanctônicas.....	15/31
5.2.1.7 - Cianobactérias e cianotoxinas .....	17/31
5.2.1.8 - Curva de rarefação .....	20/31
5.2.1.9 - A comunidade fitoplanctônica e o ambiente: comparação da biomassa, da riqueza e da diversidade específica nos períodos de enchente de 2010, 2011, 2012 e 2013. ....	21/31
5.2.1.10 - Discussão .....	29/31

## ANEXOS

Anexo 5.2.1-1 - Lista de espécies fitoplanctônicas no mês de novembro de 2012

Anexo 5.2.1-2 - Densidade fitoplanctônica no mês de novembro 2011

Anexo 5.2.1-3 - Biovolume fitoplanctônico ( $\text{mm}^3 \text{L}^{-1}$ ) do Rio Madeira, seus tributários e lagos e canais, na região de influência da UHE Santo Antônio do Rio Madeira, no mês de novembro/2012)

Anexo 5.2.1-4 - Abundância relativa das populações fitoplanctônicas no mês de novembro de 2012

Anexo 5.2.1-5 - Abundância de espécies de cianobactérias no mês de novembro de 2012

Anexo 5.2.1-6 - Resultados da análise de cianotoxinas no Lago Cujubim no mês de novembro 2012.

## 5.2 - BIÓTICOS

### 5.2.1 - Fitoplâncton

O presente relatório refere-se às amostragens realizadas no rio Madeira, seus tributários e lagos e canais no mês de janeiro de 2013. No presente relatório são apresentados dados de Riqueza, Densidade Absoluta e Densidade Relativa e Biovolume das populações das algas planctônicas durante o mês de janeiro de 2013 (período de enchente) referentes a 48 amostras quantitativas e 29 amostras qualitativas.

#### 5.2.1.1 - Riqueza de espécies no conjunto de dados

A lista das espécies registradas no rio Madeira, seus tributários e lagos e canais em janeiro de 2013, considerando as amostras quantitativas e qualitativas, encontra-se no **Anexo 5.2.1-1**. No conjunto total de dados no mês de janeiro de 2013 foram registrados 310 táxons também distribuídos em 10 classes taxonômicas (65 cianobactérias, 12 criptofíceas, 12 dinoflagelados, 26 crisofíceas, 04 xantofíceas, 42 diatomáceas, 01 rafidofíceas, 22 euglenóides, 94 clorofíceas e 32 zignematofíceas - **Figura 5.2.1-1**).

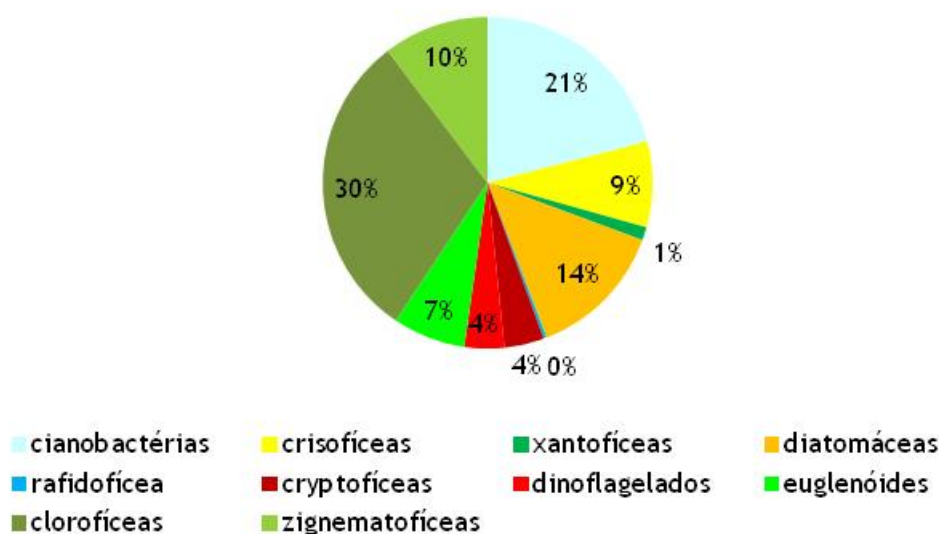


Figura 5.2.1-1 - Riqueza taxonômica total (%) considerando as amostras quantitativas e qualitativas nos três sistemas (rio Madeira, tributários e lagos e canais) avaliados em janeiro de 2013.

As clorofíceas apresentaram a maior contribuição entre os táxons, no conjunto total dos dados (~35%). Considerando-se os sistemas em separado, o rio Madeira apresentou maiores contribuições de cianobactérias (34%) e diatomáceas (28%); tributários apresentaram maiores contribuições de clorofíceas (33%) e cianobactérias (22%) para a riqueza de espécies. Nos lagos e canais, clorofíceas (24%), cianobactérias (20%) e diatomáceas (20%) contribuíram mais para a riqueza de espécies. Outras classes taxonômicas contribuíram para a riqueza de espécies como clorofíceas (16%) no rio Madeira, euglenóides no rio Madeira e lagos e canais (9%), diatomáceas (12%) nos tributários e, crisofíceas (8%) nos tributários e lagos e cabais e zignematofíceas (8% e 13%) nos tributários e nos lagos e canais, respectivamente (Figura 5.2.1-2).

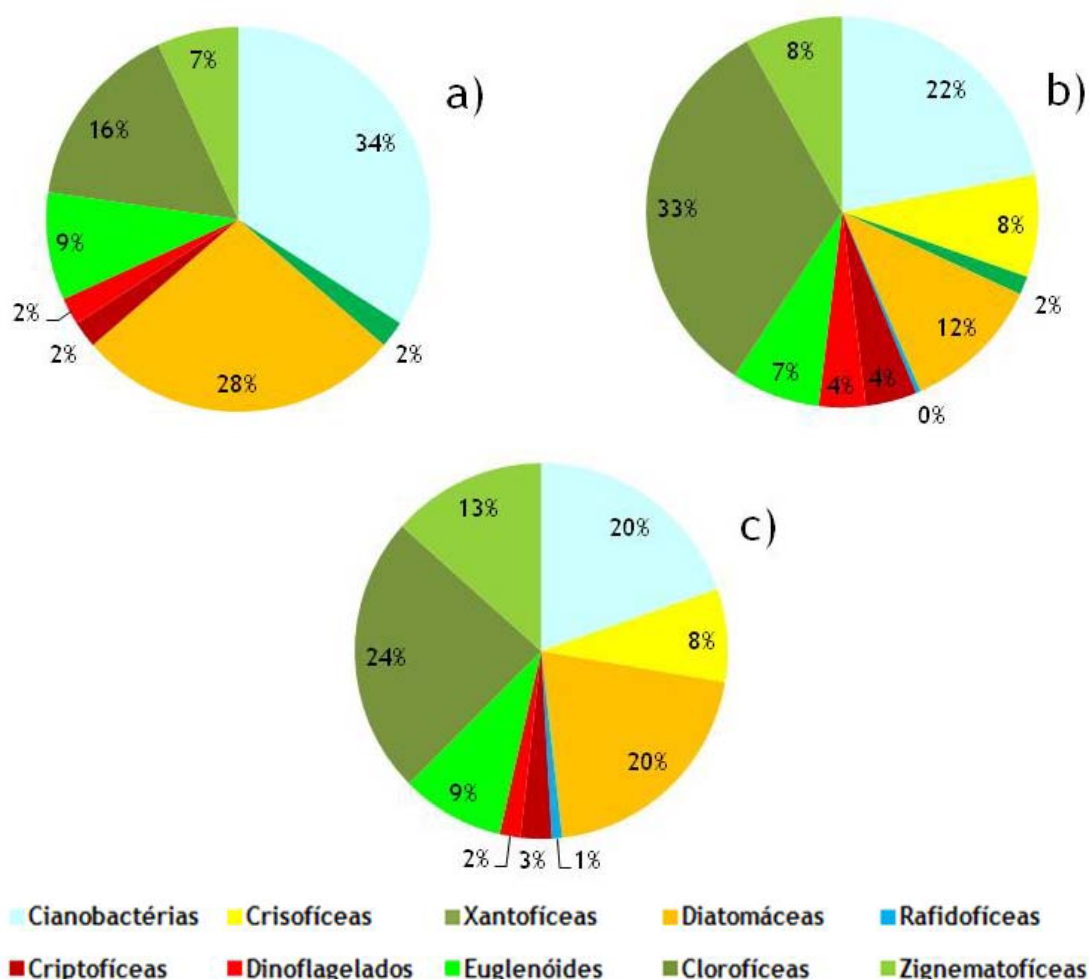


Figura 5.2.1-2 - Riqueza taxonômica total (%) a) rio Madeira, b) tributários e c) lagos e canais, considerando as amostras quantitativas e qualitativas, em janeiro de 2013.

### 5.2.1.2 - Densidade absoluta e densidade relativa

As densidades das populações de algas, expressas em indivíduos por mililitro (ind/mL), no rio Madeira, tributários e lagos e canais no mês de janeiro de 2013 encontram-se no Anexo 5.2.1-2. As densidades variaram desde ausência total de algas no rio Madeira (MON.05 e MON.02) e nos tributários JAC.01-F, CRC-S, TEO-M, TEO-F, JAT I-M e JAT I-F a 38.674 ind/mL em CUJ. As densidades médias foram de 113 ind/mL no rio Madeira, 1.666 ind/mL nos tributários e 6.380 ind/mL nos lagos e canais. A seguir, são apresentados os resultados de densidade absoluta e relativa do fitoplâncton no rio Madeira, seus tributários, bem como nos lagos e canais.

#### Rio Madeira

Excluindo as amostras com ausência de algas a densidade fitoplanctônica no rio Madeira variou de 18 ind/mL (MON.04) a 298 ind/mL (JUS.01 Figura 5.2.1-3a). A densidade média foi de 113 ind/mL. A composição das classes taxonômicas foi representada exclusivamente por cianobactérias, exceto em JUS.01 e JUS.03 onde diatomáceas representaram cerca de 10% e 30% respectivamente da densidade total do fitoplâncton (Figura 5.2.1-3b).

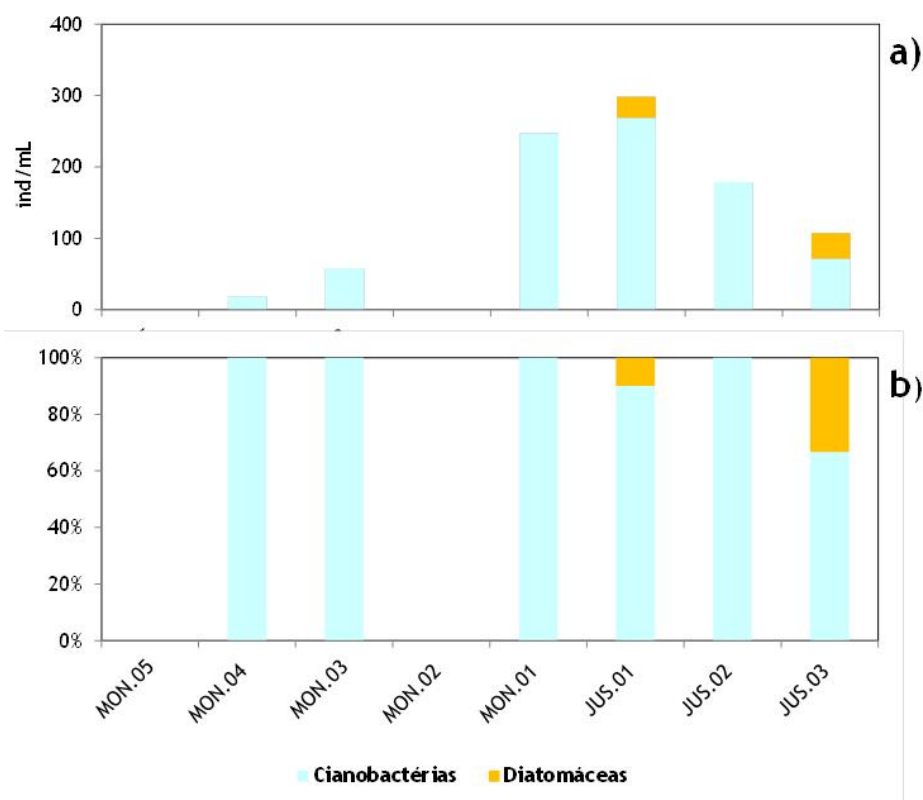


Figura 5.2.1-3 - a) Densidade absoluta (ind/mL) e b) densidade relativa (%) dos principais grupos taxonômicos da comunidade fitoplanctônica no rio Madeira, em janeiro 2013.

## Tributários

Excluindo as amostras com ausência de algas no mês de janeiro de 2013 a densidade fitoplanctônica nos tributários variou de 34 ind/mL (CRC-F) a 8.152 ind/mL (JAT II-S - **Figura 5.2.1-4a**). A densidade média foi de 1.666 ind/mL. A densidade das classes taxonômicas nos tributários apresentou marcada variabilidade. De forma geral, ocorreram maiores contribuições de cianobactérias (entre 5% a 100%) e clorofíceas (entre 3% a 80%). Criptofíceas contribuíram com aproximadamente 50% em JAC.01-S e JAT I-S e zignematofíceas com 100% para a densidade total do fitoplâncton em CRC-F (**Figura 5.2.1-4b**).

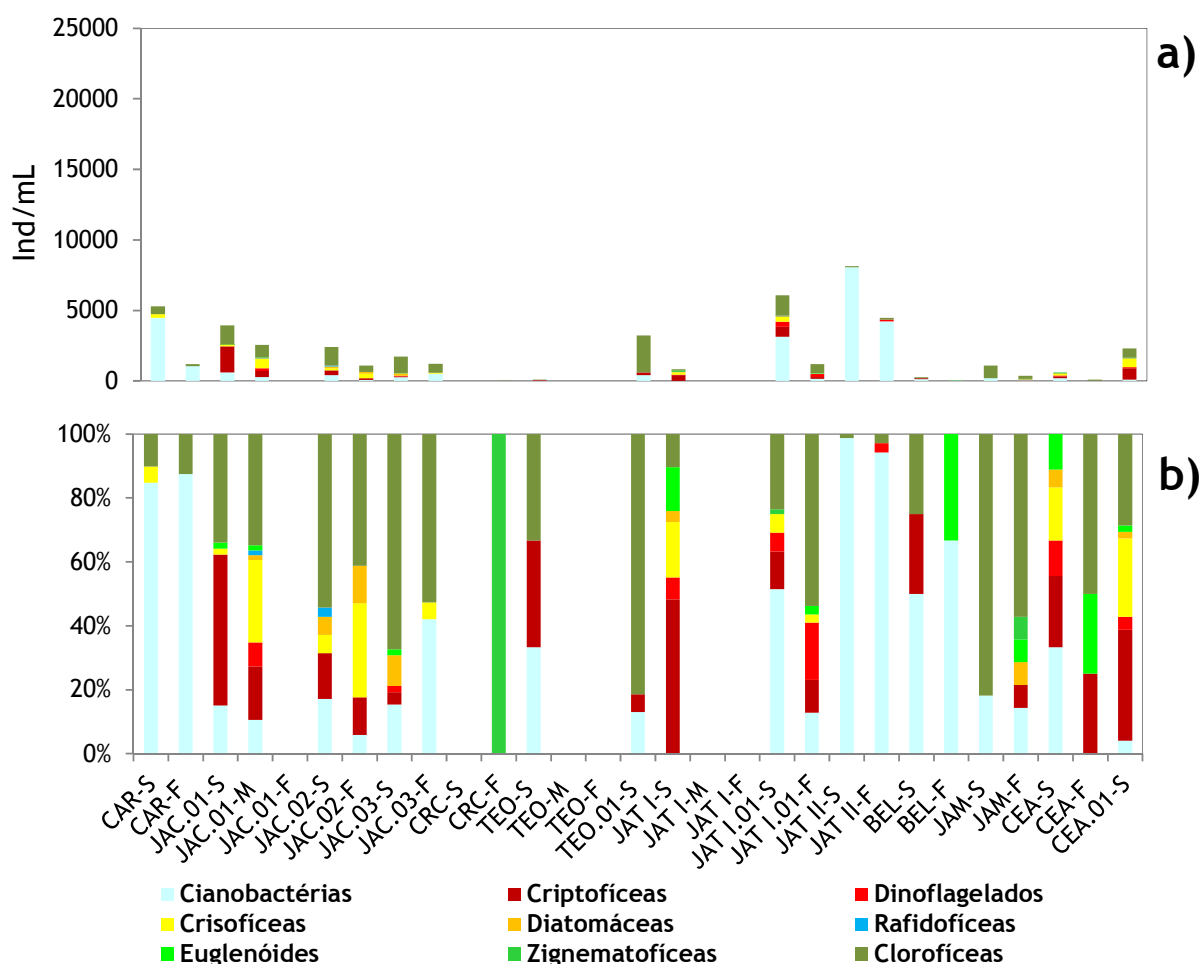


Figura 5.2.1-4 - a) Densidade absoluta (ind/mL) e b) densidade relativa (%) das principais classes taxonômicas da comunidade fitoplanctônica nos tributários em janeiro de 2013.

## Lagos e canais

A densidade fitoplanctônica variou de 90 ind/mL (LC.03) a 38.674 ind/mL (CUJ - Figura 5.2.1-5a) sendo a densidade média de 6.380 ind/mL. A densidade das classes taxonômicas apresentou maiores contribuições de cianobactérias (entre 10% a 95%), diatomáceas (entre 5% a 95%) e crisofíceas (entre 5% a 75%). Criptofíceas contribuíram com cerca de 40% para a densidade total do fitoplâncton em LC.03 - Figura 5.2.1-5b).

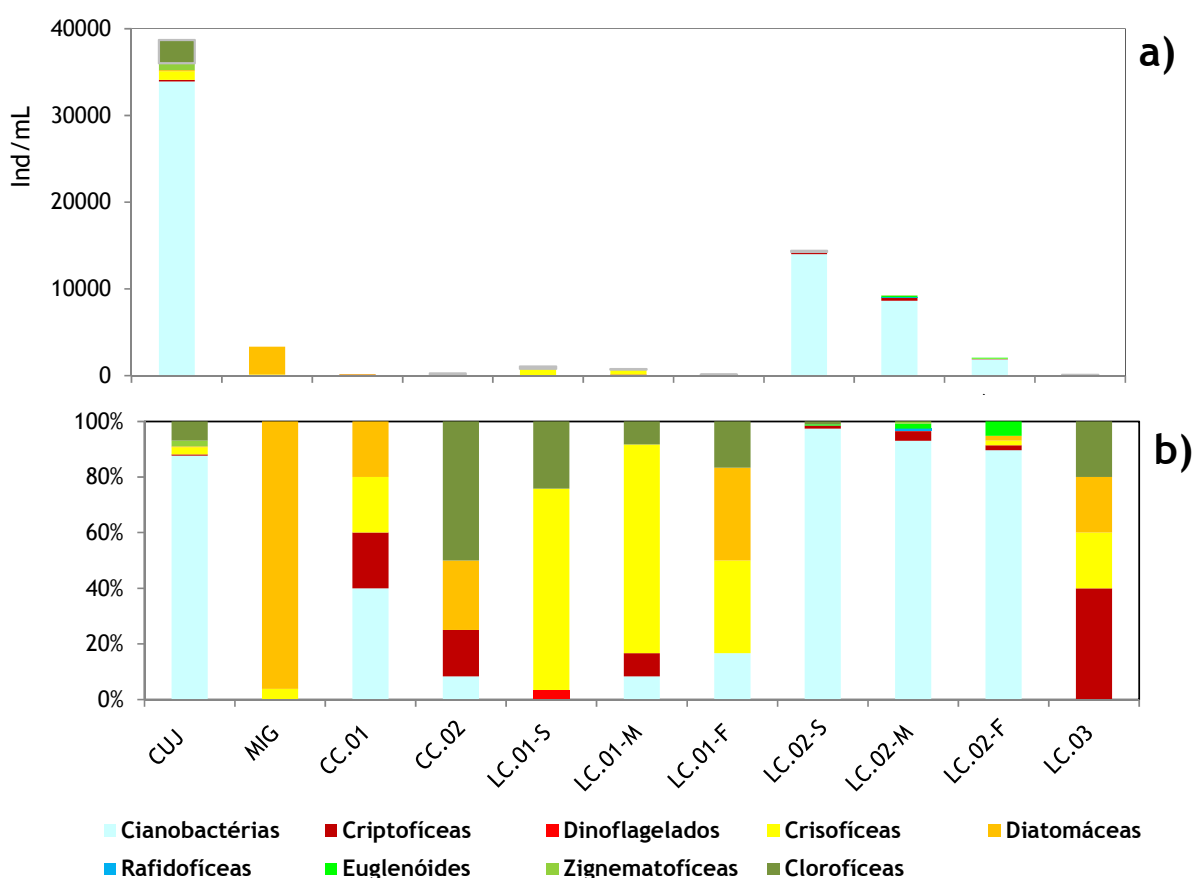


Figura 5.2.1-5 - a) Densidade absoluta (ind/mL) e b) densidade relativa (%) das principais classes taxonômicas da comunidade fitoplanctônica nos lagos e canais em janeiro de 2013.

### 5.2.1.3 - Biovolume absoluto e biovolume relativo

Os dados de biovolume das populações de algas, expressos em milímetros cúbicos por litro ( $\text{mm}^3/\text{L}$ ), no mês de janeiro de 2013 encontram-se no Anexo 5.2.1-3. O biovolume das populações de algas variou desde ausência total de algas no rio Madeira (MON.05 e MON.02) e nos tributários JAC.01-F, CRC-S, TEO-M, TEO-F, JAT I-M e JAT I-F a  $18,44 \text{ mm}^3/\text{L}$  em CUJ. A seguir são descritos os resultados do biovolume fitoplanctônico para o rio Madeira, seus tributários e lagos e Canais.

#### Rio Madeira

O biovolume fitoplanctônico no rio Madeira variou de  $0,001 \text{ mm}^3/\text{L}$  (MON.04) a  $0,07 \text{ mm}^3/\text{L}$  (JUS.01 -Figura 5.2.1-6a). O biovolume médio foi de  $0,014 \text{ mm}^3/\text{L}$ . Assim como a composição das classes taxonômicas expressa em densidade, a composição expressa em biovolume foi predominante de cianobactérias (entre 5% a 100%) e diatomáceas (90% em JUS.01 e JUS.03 - (Figura 5.2.1-6b).

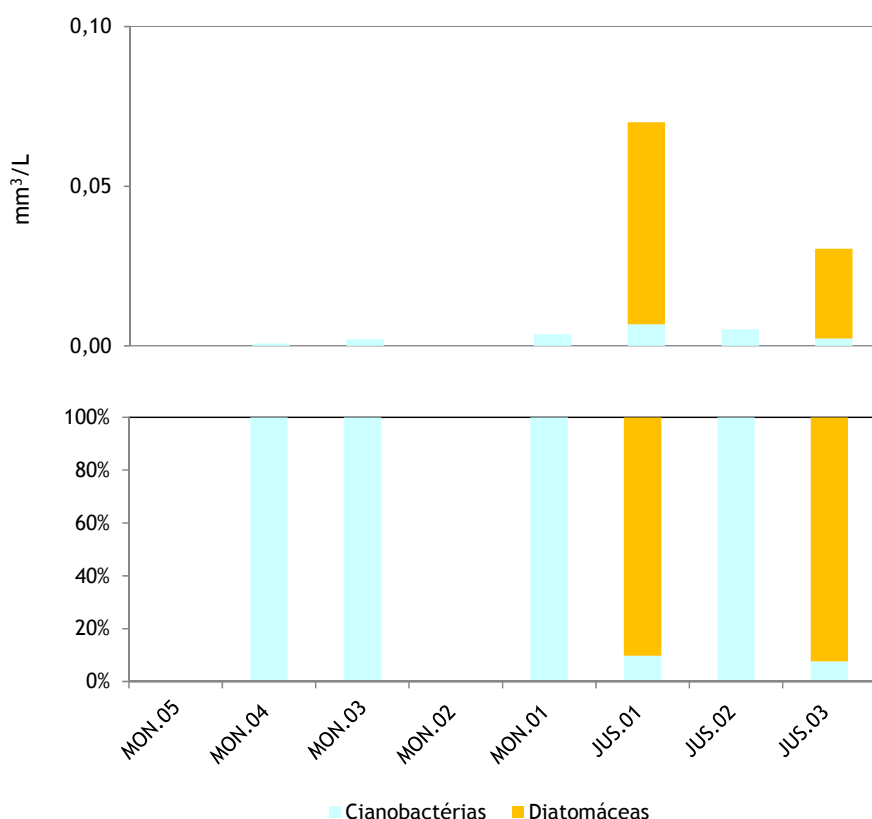


Figura 5.2.1-6 - a) Biovolume absoluto ( $\text{mm}^3/\text{L}$ ) e b) biovolume relativo (%) das principais classes taxonômicas da comunidade fitoplanctônica no Rio Madeira em janeiro de 2013.



## Tributários

Desconsiderando as amostras com ausência de algas, o biovolume fitoplanctônico nos tributários, variou de 0,02 mm<sup>3</sup>/L (JAC.03-F) a 1,85 mm<sup>3</sup>/L (JAT I.01-S - **Figura 5.2.1-7a**). O biovolume médio foi de 0,37 mm<sup>3</sup>/L. O biovolume das classes taxonômicas nos tributários no mês de janeiro de 2013, apresentou marcada variabilidade. De uma forma geral, criptofíceas (entre 10% a 97%), clorofíceas (entre 5% a 95%) e cianobactérias (entre 5% a 100%) foram as classes que mais contribuíram para o biovolume. As exceções foram rafidofíceas que contribuíram mais para o biovolume em JAC.01-M (45%) e em JAC.02-S (85%) e zignematofíceas que foram exclusivas em CRC-F (**Figura 5.2.1-7b**).

UHE SANTO ANTÔNIO NO RIO MADEIRA

2541-00-MLM-RL-0002-00

Monitoramento Limnológico e de Macrófitas Aquáticas -  
Relatório 2/Fase de Operação

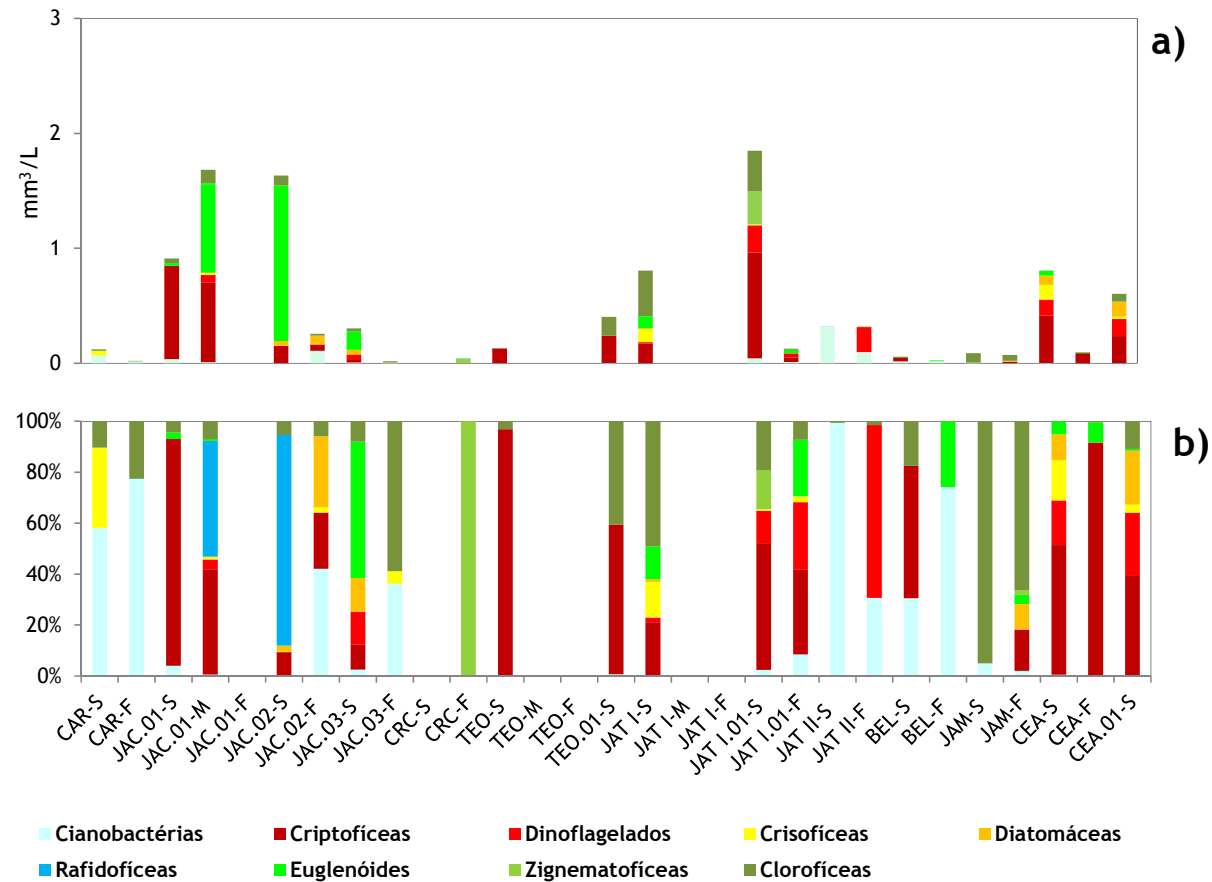


Figura 5.2.1-7 - a) Biovolume absoluto ( $\text{mm}^3/\text{L}$ ) e b) biovolume relativo (%) das principais classes taxonômicas da comunidade fitoplanctônica nos tributários do rio Madeira em janeiro de 2013.

## Lagos e canais

O biovolume fitoplanctônico no mês de janeiro de 2013 variou de 0,03 mm<sup>3</sup>/L (CC.01) a 18,44 mm<sup>3</sup>/L (CUJ - **Figura 5.2.1-8a**). O biovolume médio foi de 2,65 mm<sup>3</sup>/L. A composição da comunidade fitoplanctônica foi variada entres lagos e canais e entre as estações amostrais de um mesmo lago e diferente de quando expressa em densidade. De uma forma geral, as classes taxonômicas que mais contribuíram para o biovolume foram diatomáceas (entre 5% a 100%) e criptofíceas (entre 5% a 75%). Outras classes taxonômicas que contribuíram para o biovolume foram zignematofíceas (CUJ, cerca de 65%), cianobactérias (LC.02-S, cerca de 70%), rafidofíceas (LC.02-M, cerca de 55%), euglenóides (LC.02-F, cerca de 85%) e crisofíceas (LC.01-S e LC.01-M, cerca de 55% e 30%, respectivamente (**Figura 5.2.1-8b**)).

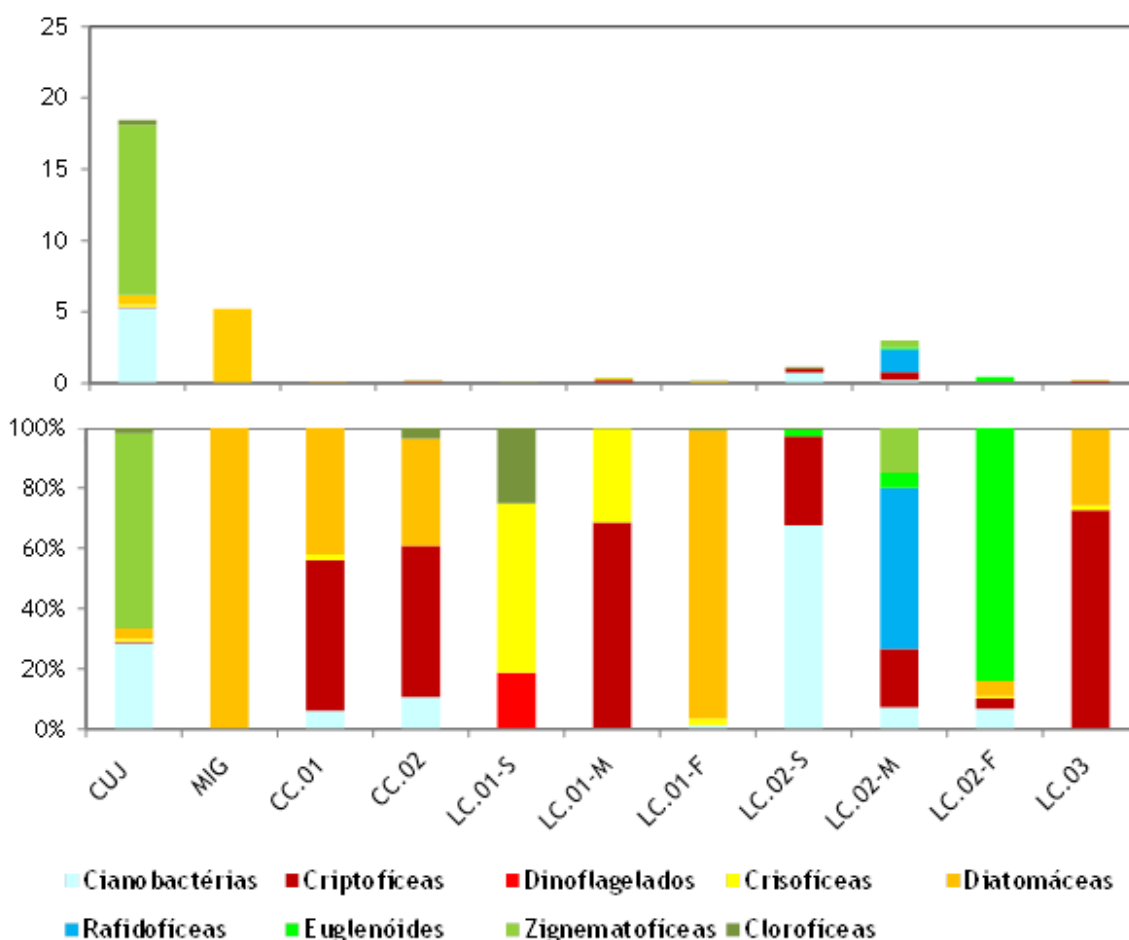


Figura 5.2.1-8 - a) Biovolume absoluto (mm<sup>3</sup>/L) e b) biovolume relativo (%) das principais classes taxonômicas da comunidade fitoplanctônica nos lagos e canais em janeiro de 2013.

#### 5.2.1.4 - Riqueza, diversidade específica e equitabilidade no conjunto de dados considerando a densidade fitoplanctônica

Com o objetivo de melhor expressar os resultados, as amostras com ausência total de algas (MON.05, MON.02, JAC.01-F, CRC-S, TEO-M, TEO-F, JAT I-M e JAT I-F) não foram consideradas como valores mínimos para riqueza, diversidade e equitabilidade. Considerando os três compartimentos (rio Madeira, tributários e lagos e canais), no mês de janeiro de 2013 as menores riquezas de espécies foram registradas no rio Madeira (1 táxon/amostra; MON.04, MON.03, MON.01 e JUS.02) e a maior riqueza de espécies foi registrada em CUJ (31 táxons/amostra). As menores diversidades foram registradas em JAT II-S e JAT II-f (0,4 bit/ind) e a maior em CEA.01-S (3,6 bits/ind). A menor equitabilidade foi registrada em JAT II-S (16%) e as maiores em TEO-S, BEL-F e LC.01-F (100%).

A seguir são descritos resultados de riqueza, diversidade específica e equitabilidade fitoplanctônica para o rio Madeira, seus tributários e lagos e canais.

##### Rio Madeira

Considerando-se o conjunto de dados no rio Madeira no mês de janeiro de 2013 a riqueza de espécies variou de 1 táxon/amostra (MON.04, MON.03, MON.01 e JUS.02) a 2 táxons/amostra (JUS.01 e JUS.03 - **Figura 5.2.1-9a**). A diversidade e a equitabilidade foram zero para as amostras com riqueza de espécie de 1 táxon/amostra. Assim, a diversidade foi de 0,5 bit/ind (JUS.01) e 1,0 bit/ind (JUS.03) e a equitabilidade foi de 47% e 92% nessas amostras respectivamente **Figura 5.2.1-9b** e **Figura 5.2.1-9c**).

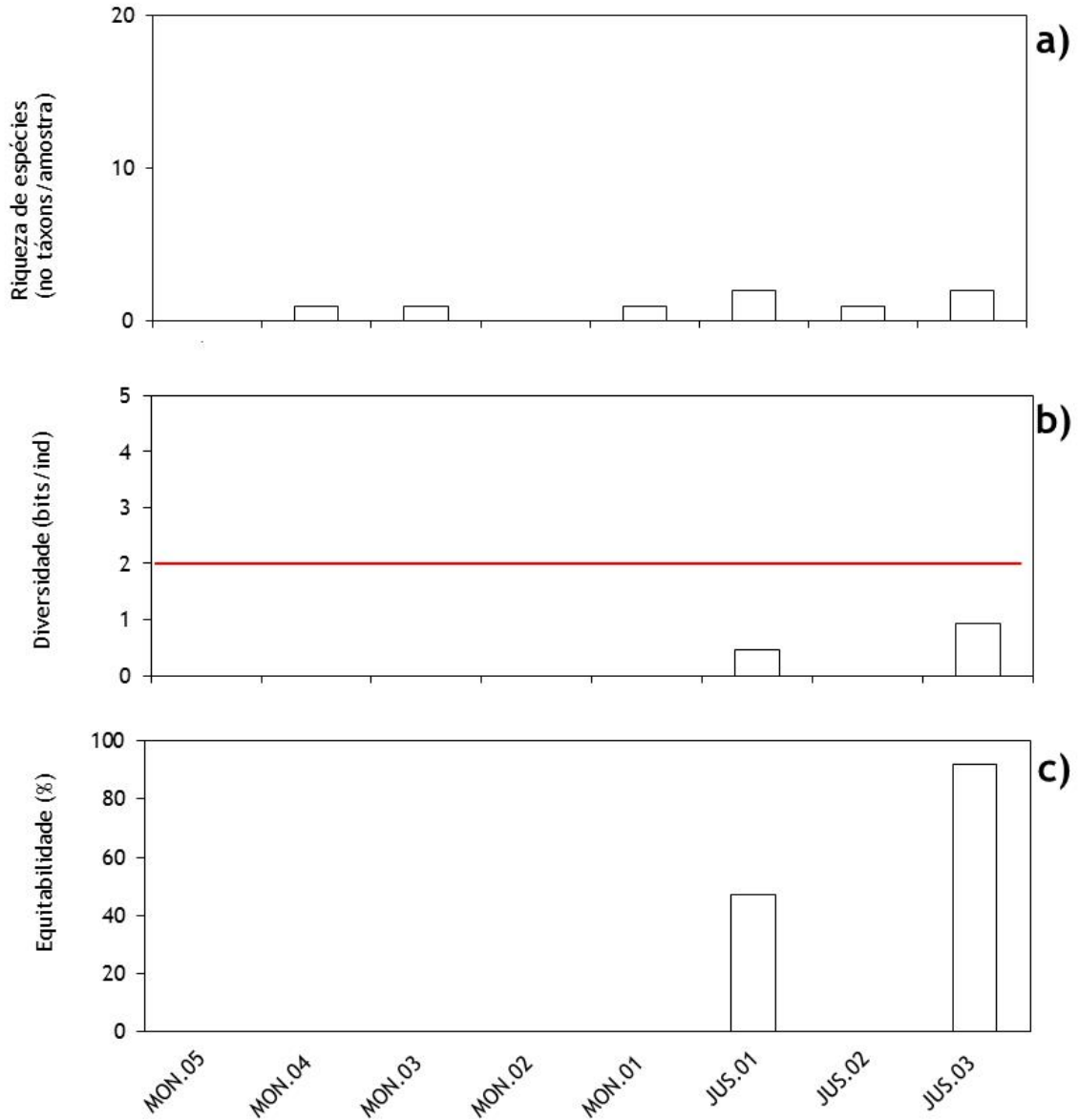
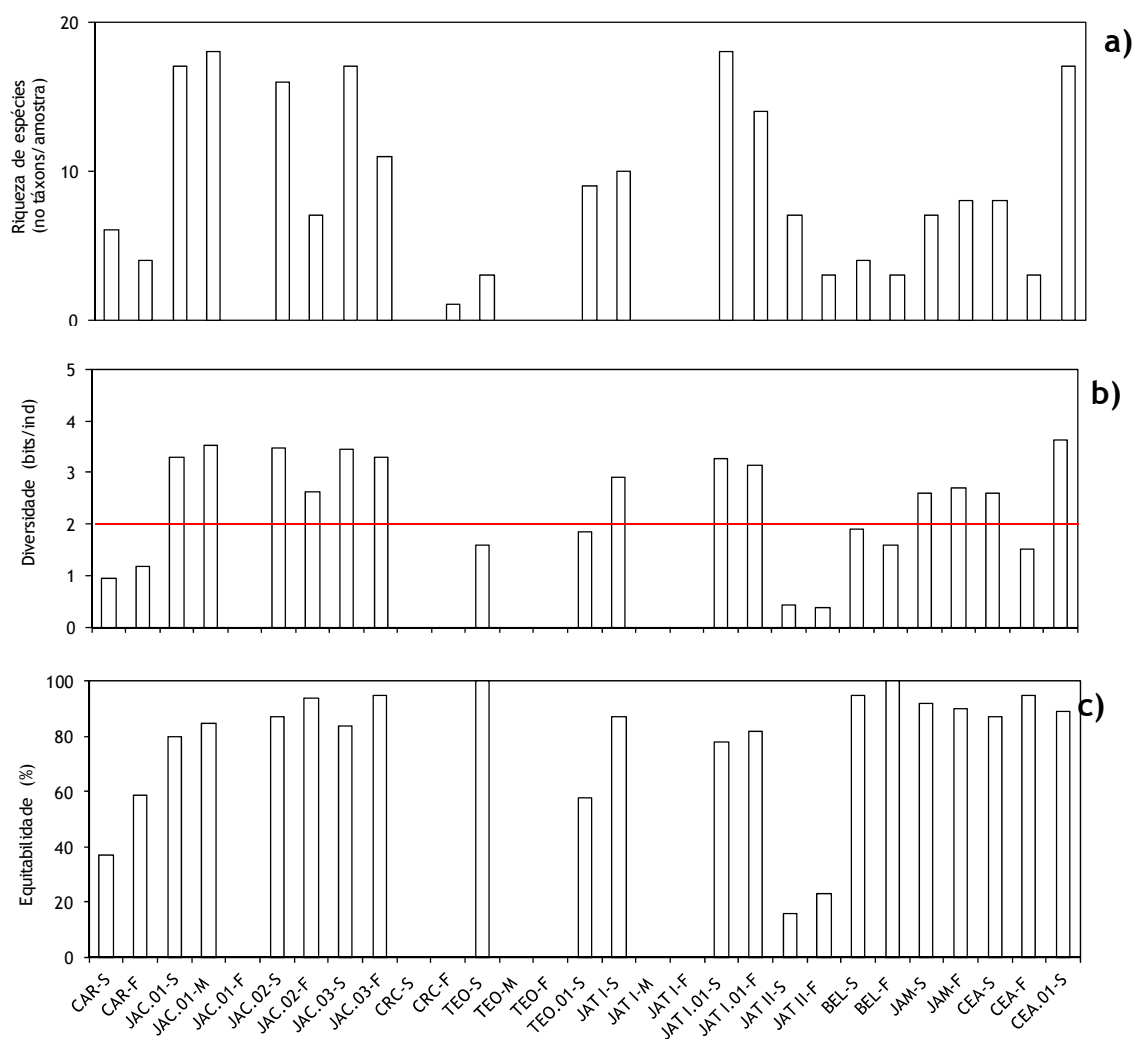


Figura 5.2.1-9 - (a) Riqueza de espécies; (b) diversidade específica, assinalando o limite considerado como alta diversidade e (c) equitabilidade no rio Madeira no mês de janeiro de 2013.

## Tributários

Considerando-se o conjunto de dados no mês de janeiro de 2013 a riqueza de espécies variou de 1 táxon/amostra (CRC-F) a 18 táxons/amostra (JAC.01-M e JAT I.01-S - **Figura 5.2.1-10a**). A riqueza média foi de 7 táxons/amostra. A diversidade variou de 0,4 bit/ind (JAT II-S e JAT II-F) a 3,6 bits/ind (CEA.01-S - **Figura 5.2.1-10b**). A diversidade média foi de 2,0 bits/ind. A equitabilidade variou de 16% (JAT II-S) a 100% (TEO-S e BEL-F), e corresponde às menores e maiores equitabilidades no conjunto dos três sistemas (rio Madeira, tributários e lagos e canais - **Figura 5.2.1-10c**). A equitabilidade média nos tributários foi 59%.



**Figura 5.2.1-10 - (a) Riqueza de espécies; (b) diversidade específica, assinalando o limite considerado como alta diversidade e (c) equitabilidade nos tributários do rio Madeira em janeiro de 2013.**

### Lagos e canais

Considerando-se o conjunto de dados, a riqueza de táxons no mês de janeiro de 2013 variou de 4 táxons/amostra (CC.01 e LC.03) a 31 táxons/amostra (CUJ- **Figura 5.2.1-11a**). A riqueza média foi de 9 táxons/amostra. A diversidade variou de 0,7 bit/ind (LC.02-M) a 3,4 bits/ind (CC.02 e CUJ - **Figura 5.2.1-11b**). A diversidade média foi 2,0 bits/ind. A equitabilidade variou de 25% (LC.02-S e LC.02-M) a 100% em LC.01-F (**Figura 5.2.1-11c**). A equitabilidade média foi 70%.

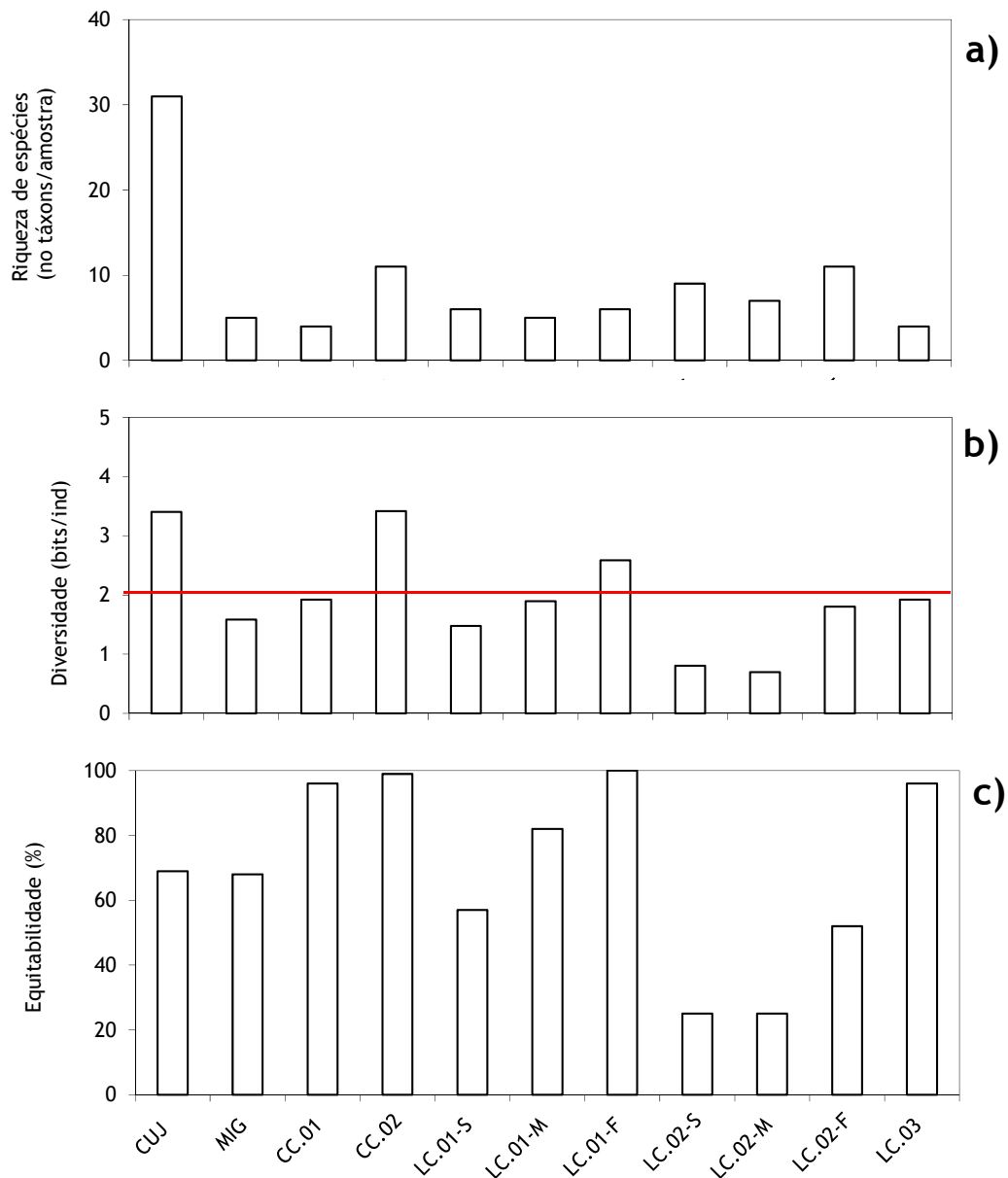


Figura 5.2.1-11 - (a) Riqueza de espécies; (b) diversidade específica, assinalando o limite considerado como alta diversidade e (c) equitabilidade nos lagos e canais, em janeiro de 2013.

### 5.2.1.5 - Diversidades de espécies ( $\alpha$ , $\beta$ , e $\gamma$ )

Considerando apenas as amostras quantitativas no conjunto total dos dados (rio Madeira + tributários + lagos e canais), a gama diversidade, expressa como a riqueza total de táxons da comunidade fitoplanctônica observada em toda a área amostrada no mês de janeiro de 2013 foi de 125 táxons. Considerando cada sistema a gama diversidade foi de 8 táxons no rio Madeira, 96 táxons nos tributários e 66 táxons nos lagos e canais (**Quadro 5.2-1**).

A alfa diversidade, expressa como a média do número de espécies considerando o conjunto total dos dados, foi de 8 táxons. Considerando-se cada sistema, a alfa diversidade foi de 1 táxon no rio Madeira, 7 táxons nos tributários e 9 táxons nos lagos e canais (**Quadro 5.2-1**).

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, (ii) os pontos de amostragem de cada sistema e (iii) os sistemas aos pares. No conjunto total dos dados, a beta diversidade foi de 32%, evidenciando relativamente elevado intercâmbio e homogeneidade na composição de espécies. Considerando cada sistema em separado as estações do rio Madeira apresentaram beta diversidade máxima (100%) evidenciando uma composição totalmente heterogênea. Esse resultado reflete a baixa riqueza de espécies (alfa-média de 1 táxon) aliada a exclusividade de espécie apresentada em cada estação amostral. As estações dos tributários e lagos e canais apresentaram uma composição mais heterogênea (45% e 66% respectivamente). Considerando os sistemas aos pares, entre o rio Madeira e lagos e canais a composição de espécies foi mais heterogênea (43%) evidenciando o menor intercâmbio de espécies entre esses dois sistemas (**Quadro 5.2-2**). Entre o rio Madeira vs. tributários (43%) e entre tributários vs. lagos e canais (37%) foi mais homogênea se comparada a composição entre o rio Madeira vs. lagos canais (63% -**Quadro 5.2-2**).

**Quadro 5.2-1 - Diversidades gama, alfa e beta no conjunto de dados (Geral), no rio Madeira, seus tributários e lagos e canais em janeiro de 2013.**

Diversidade\compartmento	Geral	Rio Madeira	Tributários	Lagos e canais
<b>Janeiro de 2013</b>				
Gama	125	8	96	66
Alfa-média	8	1	7	9
Beta (%)	32	100	45	63



Quadro 5.2-2 - Diversidades gama, alfa e beta entre os sistemas aos pares em janeiro de 2013.

Compartimentos/diversidades	Gama	Alfa-média	Beta (%)
<b>Janeiro de 2013</b>			
Rio Madeira vs. Tributários	98	6	43
Tributários vs. Lagos e canais	124	8	37
Lagos e canais vs. Rio Madeira	67	7	54

### 5.2.1.6 - Dominância das populações fitoplanctônicas

O número de espécies por grupo taxonômico de acordo com sua contribuição para a densidade total encontra-se no **Quadro 5.2-3**. A lista das espécies de acordo com sua contribuição para a densidade total encontra-se no **Anexo 5.2.1-4**. As populações fitoplanctônicas, quando expressas em densidade, foram em sua maioria representadas por espécies raras. No mês de janeiro de 2013 apenas uma espécie foi considerada dominante no rio Madeira (*Synechocystis aquatilis*, cianobactéria), três espécies foram consideradas pouco abundantes (PA) nos tributários (*Synechococcus nidulans* e *Synechocystis aquatilis*, cianobactérias e *Chlorella minutíssima*, clorofíceas), duas espécies nos lagos e canais (*Aphanocapsa incerta* e *Synechocystis aquatilis*, cianobactérias - **Quadro 5.2-3**).

**Quadro 5.2-3 - Número de espécies por classe taxonômica de acordo com a sua contribuição para a densidade total no rio Madeira, seus tributários e lagos e canais no mês de janeiro de 2013.**

	Rio Madeira				Tributários				Lagos e canais			
	Raras	Pouco Abundantes	Abundantes	Dominantes	Raras	Pouco Abundantes	Abundantes	Dominantes	Raras	Pouco Abundantes	Abundantes	Dominantes
Cianobactérias	0	0	0	1	16	2	0	0	18	2	0	0
Dinoflagelados	0	0	0	0	8	0	0	0	1	0	0	0
Criptofíceas	0	0	0	0	8	0	0	0	3	0	0	0
Crisofíceas	0	0	0	0	13	0	0	0	7	0	0	0
Diatomáceas	1	0	0	0	8	0	0	0	12	0	0	0
Xantofíceas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Euglenóides	0	0	0	0	6	0	0	0	4	0	0	0
Rafidofíceas	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
Zignematofíceas	0	0	0	0	3	0	0	0	4	0	0	0
Clorofíceas	0	0	0	0	29	1	0	0	15	0	0	0
<b>Total</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>92</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>65</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

### 5.2.1.7 - Cianobactérias e cianotoxinas

A lista das espécies de cianobactérias registradas em janeiro de 2013 e suas respectivas densidades, expressas em céls/mL em cada sistema, encontra-se no **Anexo 5.2.1-5**. Desconsiderando as amostras com total ausência de algas (MON.05, MON.02, JAC.01-F, CRC-S, TEO-M, TEO-F, JAT I-M e JAT I-F) e em um total de 48 amostras, não foram registradas cianobactérias em cinco amostras (CRC-F, CEA-F, MIG, LC.01-S e LC.03). A densidade de cianobactérias variou de 64 céls/mL em LC.01-M a 935.840 céls/mL em CUJ, sendo expressivamente maiores nesse lago se comparadas às demais estações de coleta no rio Madeira, tributários e demais lagos e canais (**Figura 5.2.1-12**).

No rio Madeira a densidade de cianobactérias variou de 74 céls/mL (MON.04) a 626 céls/mL (JUS.01), sendo a densidade média de 240 céls/mL (**Figura 5.2.1-12a**). Apenas a espécie *Synechocystis aquatilis* (1.924 céls/mL) ocorreu em maior densidade no rio Madeira no mês de janeiro de 2013, sendo esta a única espécie de cianobactéria registrada no rio Madeira. Nos tributários a densidade de cianobactérias variou de 66 céls/mL (TEO-S) a 10.787 céls/mL (JAT II-S - **Figura 5.2.1-12b**). A densidade média nos tributários foi de 1.643 céls/mL. As espécies que ocorreram em maior densidade nos tributários no mês de janeiro de 2013, foram *Synechococcus nidulans* (7.133 céls/mL) e *Synechocystis aquatilis* (14.811 céls/mL). Nos lagos e canais a densidade de cianobactérias no mês de janeiro de 2013 variou de 64 (LC.01-M) a 933.584 céls/mL (CUJ - **Figura 5.2.1-12c**). A densidade média foi 88.127 céls/mL, porém, desconsiderando CUJ, a densidade média foi 26 vezes menor (3.355 céls/mL). As espécies que ocorreram em maior densidade nos lagos e canais foram *Aphanocapsa delicatissima* (170.505 céls/mL), e *Aphanocapsa incerta* (1 266.644 céls/mL), *Planktolyngbya circumcreta* (160.862 céls/mL) e *Pseudanabaena limnetica* (202.518 céls/mL), Todas essas espécies foram exclusivas de CUJ (**Anexo 5.2.1-5**).

No que se refere ao enquadramento das águas e seus usos múltiplos, a Resolução CONAMA 357/2005 inclui as densidades de cianobactérias (céls/mL) como um dos parâmetros a ser analisado, sendo de Classe 1 as águas com densidade de cianobactérias até 20.000 céls/mL; Classe 2 até 50.000 céls/mL; e Classe 3 até 100.000 céls/mL. Desta forma, considerando o conjunto de amostras analisadas, de acordo com o critério de densidade de cianobactérias, a maioria das águas apresentou densidades compatíveis com o limite estabelecido para águas de Classe 2 (densidade de cianobactérias < 50.000 céls/mL) e até mesmo da classe 1 (densidade de cianobactérias < 20.000 céls/mL).

Estas águas podem ser destinadas, portanto, a diversos usos, como ao abastecimento para consumo humano após tratamento simplificado, à proteção das comunidades aquáticas, à recreação de contato primário, à irrigação de hortaliças e à proteção das comunidades aquáticas em Terras Indígenas.

Nossos resultados mostraram que apenas a estação CUJ (935.840 céls/mL) superou os valores limite de 50.000 céls/mL, preconizado para águas de Classe 2. Dentre as espécies de cianobactérias registradas no lago Cujubim, apenas *Synechococcus nidulans* e *Pseudanabaena limnetica* são consideradas potencialmente tóxicas (Sant'Anna et. al, 2008). Entretanto, as águas do lago Cujubim não são utilizadas para abastecimento doméstico e nem mesmo para recreação. Mesmo assim, foram analisadas as cianotoxinas na amostra de CUJ no mês de janeiro de 2013. Os resultados obtidos para cianotoxinas foram inferiores ao limite de detecção do método analítico utilizado. Ver laudos no **Anexo 5.2.1-6**.

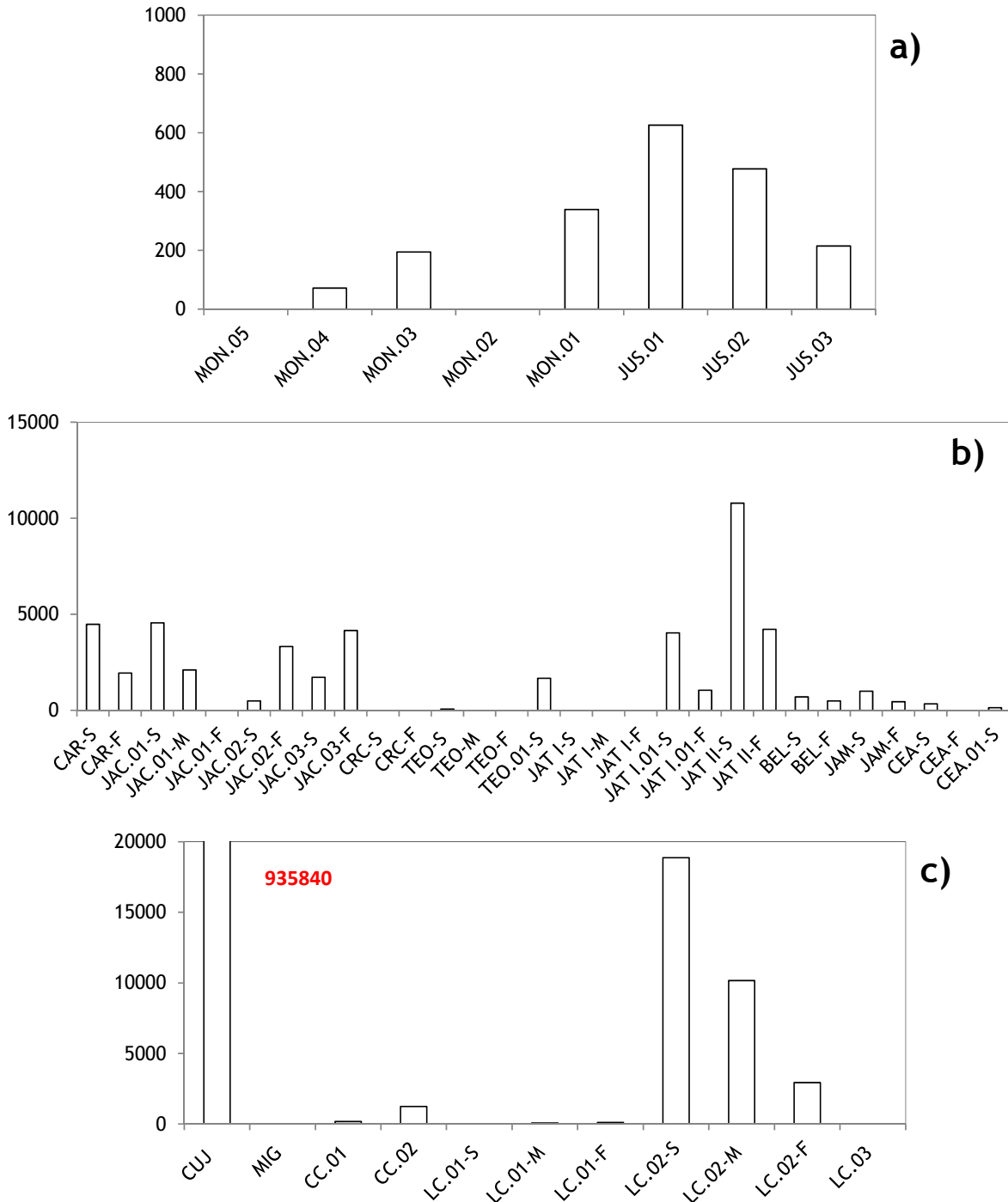


Figura 5.2.1-12 - Densidade de cianobactérias no rio Madeira (a), tributários (b) e lagos e canais (c) em janeiro de 2013. Em vermelho valor máximo atingido em CUJ.

Vale ressaltar que, dados os fins para os quais as águas do rio Madeira, tributários e lagos e canais se destinam até então (Classe 2), os resultados de cianotoxinas foram inferiores aos estabelecidos pela Portaria 2.914 de 12 de dezembro de 2011 do Ministério da Saúde, para água destinada ao consumo humano. No rio Madeira, ocorre captação de água destinada ao consumo humano, próximo à estação JUS.01. No entanto, a densidade de cianobactérias neste rio foi inferior a 20.000 céls/mL em todas as estações de amostragem. Nos demais compartimentos não há captação de água.

O lago que atingiu densidades de cianobactérias superiores ao estabelecido pela legislação está localizado a jusante da UHE Santo Antônio e, portanto, não está sob influência do empreendimento. Dessa forma, não confere risco de contaminação aos pontos de captação de água (situados a montante do local onde está o lago, tendo o rio Madeira como referência), por dispersão de células de cianobactérias. Embora não tenha sido detectada a ocorrência de cianotoxinas em janeiro de 2013, o uso das águas do lago Cujubim para abastecimento é desaconselhado.

### 5.2.1.8 - Curva de rarefação

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 & Graves (1996). Para tanto, foi considerado o somatório das densidades fitoplanctônicas (ind/mL) em cada compartimento no mês de janeiro de 2013 (**Figura 5.2.1-12**). Os resultados das curvas de rarefação seguem o mesmo padrão encontrado para o mês de novembro de 2012, onde nota-se uma inversão no número máximo de espécies registradas entre os tributários e lagos e canais. Considerando-se uma mesma unidade de esforço, a riqueza de espécies esperada no mês de janeiro de 2013 foi maior nos tributários (96 espécies), seguida da riqueza registrada nos lagos e canais (66 espécies) e, por fim, do rio Madeira (8 espécies- ver item 5.2.1-5). Ainda, a não sobreposição dos intervalos de confiança das três curvas mostra que os tributários apresentaram o maior número de espécies exclusivas a este sistema (86 espécies). A riqueza esperada pela curva de rarefação padronizada mostra claramente diferenças significativas entre a riqueza de espécies nos diferentes sistemas, para uma mesma densidade (não há sobreposição dos intervalos de confiança entre as três curvas. Porém 20 espécies são compartilhadas entre os três sistemas (rio Madeira, tributários e lagos e canais); 44 espécies são exclusivamente compartilhadas entre

os tributários e lagos e canais e quatro espécies são exclusivamente compartilhadas entre o rio Madeira e os tributários. Nenhuma espécie foi compartilhada com exclusividade entre o rio Madeira **Figura 5.2.1-12).**

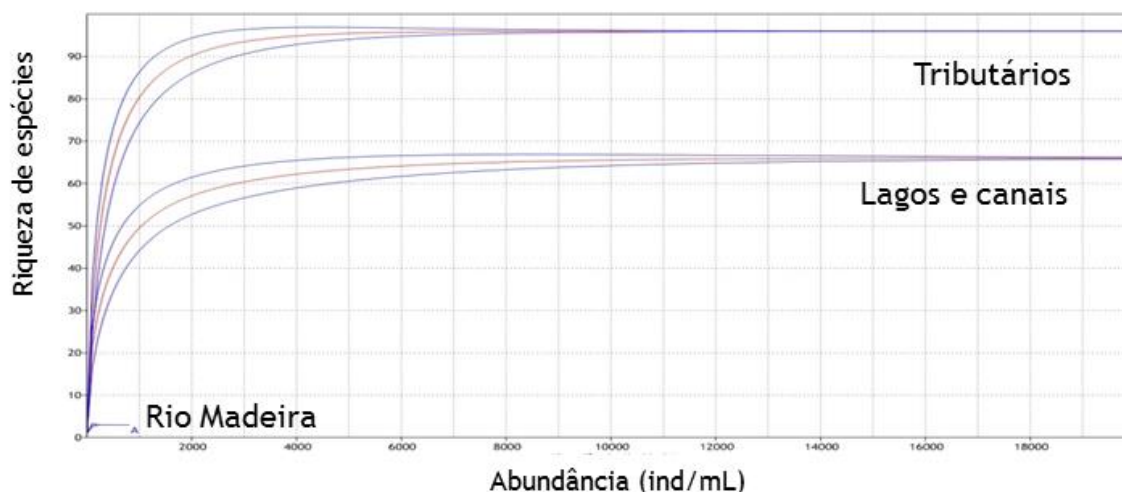


Figura 5.2.1-13 - Curva de rarefação para a comunidade fitoplanctônica do rio Madeira, tributários e lagos e canais considerando o mês de janeiro de 2013. (Riqueza de espécies esperada para uma densidade das populações padronizada, Gotelli & Graves, 1996). As linhas azuis representam 95% do intervalo de confiança para cada compartimento.

### 5.2.1.9 - A comunidade fitoplanctônica e o ambiente: comparação da biomassa, da riqueza e da diversidade específica nos períodos de enchente de 2010, 2011, 2012 e 2013.

Com o objetivo de avaliar possíveis mudanças na biomassa expressa em biovolume total ( $\text{mm}^3 \text{L}^{-1}$ ) e das principais classes taxonômicas (cianobactérias, criptofíceas, crisofíceas, diatomáceas, euglenóides, clorofíceas e zignematofíceas), na riqueza de espécies e diversidade específica compararam-se as médias os período de enchente de 2010 (pré-enchimento 2010), 2011 (pré-enchimento 2011), 2012 (enchimento mensal-3) e 2012 (estabilização mensal-1, exceto lagos e canais) e 2013 (operação-2) do rio Madeira, seus tributários e lagos e canais. Para comparação entre médias utilizou-se o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis. No caso das diferenças serem significativas ( $p < 0.05$ ) foi utilizado o teste *a posteriori* Mann-Whitney para identificar as diferenças.

Para identificar possíveis padrões ambientais considerando-se a biomassa fitoplanctônica (BV), condutividade (Cond.), pH, oxigênio dissolvido (OD), temperatura da água ( $T_{\text{água}}$ ), fósforo solúvel reativo (SRP), profundidade máxima ( $Z_{\text{máx}}$ ), íon nitrato ( $\text{NNO}_3^-$ ), íon amônio ( $\text{NNH}_4^+$ ) e sólidos em suspensão (SS) realizou-se Análises de Componentes Principais no rio Madeira, nos tributários e nos lagos e canais.

Apenas o rio Madeira apresentou diferenças significativas da biomassa total e das classes taxonômicas, riqueza de espécies e diversidade entre os diferentes períodos de enchente, sendo essas variáveis maiores na enchente de 2010 (fase de pré-enchimento 2010) se comparada as demais fases (**Figura 5.2.1-14a-c**). Os tributários e lagos e canais não apresentaram diferenças significativas tanto para a biomassa total, quanto para as classes taxonômicas, assim como para a riqueza de espécies e diversidade, nas diferentes fases do período de enchente (**Figura 5.2.1-14d-i**).

Considerando a biomassa das classes taxonômicas no rio Madeira, apenas cianobactérias não apresentaram diferença significativa entre as diferentes enchentes. As demais classes taxonômicas (criptofíceas, crisofíceas, diatomáceas, euglenóides, clorofíceas e zignematofíceas), apresentaram sempre maiores biomassas na enchente de 2010 (fase de pré-enchimento 2010) se comparadas às demais fases (o valor de  $p$  variou de  $<0,0001$  a  $0,03$ ).

As análises de Componentes Principais mostraram as relações da biomassa do fitoplâncton, expressa em biovolume com o ambiente (variáveis físicas e químicas) nos períodos de enchente, nas diferentes fases do empreendimento (pré-enchimento 2010 e 2011, enchimento mensal-3, estabilização mensal-1 e operação) no rio Madeira, seus tributários e lagos e canais. A análise revelou que no rio Madeira as fases de um mesmo período hidrológico são marcadas e diferentes entre si, enquanto que nos tributários e lagos e canais não houve diferenciação entre as fases do empreendimento (amostras distribuídas heterogeneamente). O rio Madeira sempre apresentou períodos hidrológicos mais marcados do que os tributários e lagos e canais, com enchentes e águas altas caracterizadas por maiores concentrações de sólidos em suspensão, íon amônio, fósforo solúvel reativo e altas profundidades. Comparando-se os períodos de enchente das diferentes fases do empreendimento pode-se notar que a fase de pré-enchimento 2010 foi marcada por águas mais turbidas, com maiores concentrações de fósforo solúvel reativo e maiores biomassas fitoplanctônicas; a fase de enchimento mensal-3 foi marcada por alta condutividade, pH e temperatura da água; a fase de operação-2 foi marcada por maiores profundidades da água e sólidos em suspensão. As fases de pré-enchimento 2011 e estabilização mensal-1 não apresentaram fortes relações com as variáveis ambientais (localização das amostras próximas ao centro do gráfico - **Figura 5.2.1-15**).



Os dois primeiros eixos da ACP usando 11 variáveis abióticas e o biovolume total do fitoplâncton explicaram 49, 51 e 49% da variabilidade dos dados no rio Madeira, seus tributários e lagos e canais respectivamente (**Quadro 5.2-4**). As variáveis significativas ( $d > 0,40$ ) para os dois primeiros eixos da análise e que se correlacionaram positivamente ao eixo 1 foram: i) no rio Madeira - Temperatura da água (0,86), Condutividade elétrica (0,56), pH (0,87) e  $DBO_5$  (0,48); ii) nos tributários não houve correlação positiva entre as variáveis e o eixo 1; iii) nos lagos e canais -  $DBO_5$  (0,60),  $N-NO_3^-$  íon nitrato (0,61) e Biovolume fitoplanctônico (0,50). As variáveis que se correlacionaram negativamente ao eixo 1 foram i) no rio Madeira - Turbidez (-0,90), Sólidos em suspensão (-0,72; ii) nos tributários - Turbidez (-0,43), Condutividade elétrica (-0,44) e pH (-0,41); e iii) nos lagos e canais - Turbidez (-0,71), Sólidos em suspensão (-0,76), Condutividade elétrica (-0,60) e Fósforo solúvel reativo (-0,65). As variáveis que se correlacionaram positivamente ao eixo 2 foram i) no rio Madeira não houve correlação positiva entre as variáveis e o eixo 2; ii) nos tributários - Fósforo solúvel reativo (0,43) e iii) nos lagos e canais - Temperatura da água (0,84) e pH (0,64). As variáveis que se correlacionaram negativamente ao eixo 2 foram: i) no rio Madeira íon amônio  $NNH_4^+$  (-0,84), Fósforo solúvel reativo (-0,57) e Biovolume fitoplanctônico (-0,60); ii) nos tributários -  $DBO_5$  (-0,57) e iii) nos lagos e canais não houve correlação negativa entre as variáveis e o eixo 2 (**Quadro 5.2-4**). O biovolume fitoplanctônico não foi significativo para os dois primeiros eixos nos tributários ( $d < 0,40$ ).

**Quadro 5.2-4 - Matriz entre os autovetores (variáveis) e porcentagem da variância explicada nos dois eixos das Análises de Componentes Principais aplicada às amostras dos períodos de enchente das diferentes fases do reservatório no rio Madeira, seus tributários e lagos e canais. Números em vermelho e azul são as variáveis mais importantes que se relacionaram negativamente e positivamente aos dois primeiros eixos respectivamente**

Compartimentos	Variáveis/Eixos	Siglas	Rio Madeira		Tributários		Lagos e canais	
			1	2	1	2	1	2
Profundidade máxima (m)	Zmax		-0.2688	0.2291	-0.1953	0.0744	-0.2858	-0.3999
Temperatura da água (°C)	T água		<b>0.8620</b>	-0.1072	-0.3299	-0.3044	-0.3709	<b>0.8536</b>
Turbidez (NTU)	Turb		<b>-0.9046</b>	-0.1354	<b>-0.4291</b>	0.1447	<b>-0.7152</b>	-0.3998
Sólidos em suspensão (mg/L)	SS		<b>-0.7260</b>	0.5044	-0.3917	0.1635	<b>-0.7657</b>	-0.3451
Condutividade (µS/cm)	Cond		<b>0.5640</b>	0.2955	<b>-0.4403</b>	-0.0421	<b>-0.6042</b>	-0.0161
Potencial hidrógeno	pH		<b>0.8718</b>	0.0561	<b>-0.4177</b>	-0.1175	-0.4001	<b>0.6450</b>
Oxigênio dissolvido (mg/L)	OD		-0.1932	-0.0266	-0.2309	0.1296	<b>-0.4485</b>	0.3282
Demanda bioquímica de oxigênio (mg/L)	DBO5		<b>0.4812</b>	-0.4169	0.0571	<b>-0.5789</b>	<b>0.6092</b>	0.1489
Íon amônio (µg/L)	NH4+		0.1333	<b>-0.8398</b>	0.2159	0.0503	-0.3353	0.3610
Íon nitrato (µg/L)	NO3-		-0.0171	0.0618	-0.1928	-0.3775	<b>0.6173</b>	-0.4944
Fósforo solúvel reativo (µg/L)	FSR		-0.5584	<b>-0.5728</b>	-0.0614	<b>0.4331</b>	<b>-0.6545</b>	-0.2866
Biovolume (mm <sup>3</sup> /L)	BV		-0.2810	<b>-0.6074</b>	0.0548	-0.3924	<b>0.5069</b>	0.3859
% da variância			32.637	16.732	35.509	16.166	29.944	19.329
% da variância acumulada			32.637	49.369	35.509	51.675	29.944	49.272
Autovalores (Broken Stick)			3.103	2.103	3.103	2.103	3.103	2.103

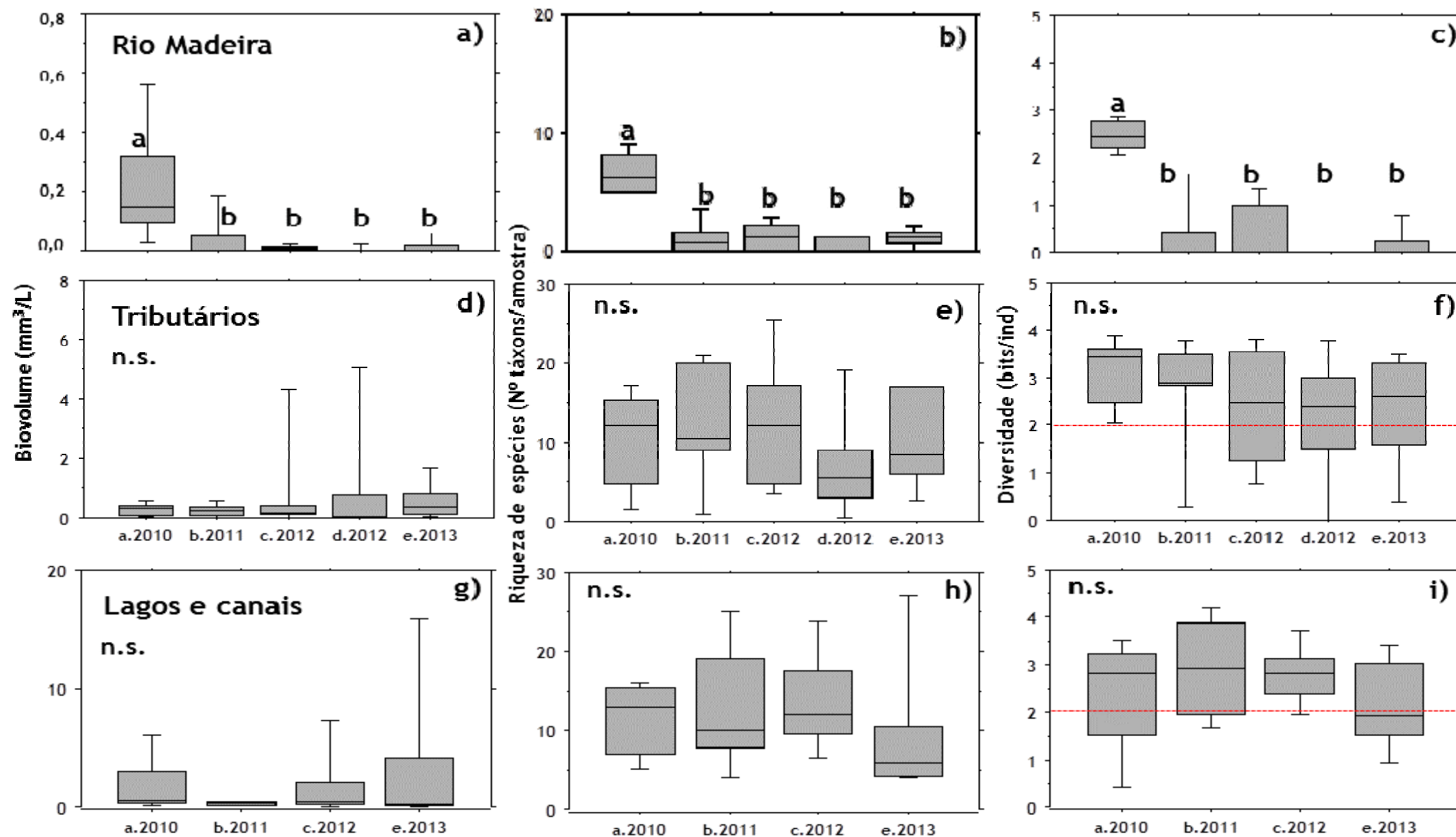


Figura 5.2.1-14 - “Box-plot” da biomassa (mm<sup>3</sup>L<sup>-1</sup>), da riqueza de espécies (número de táxons/amostra) e da diversidade (bits/ind), nas enchentes de 2010, 2011, 2012 e 2013. a-c) no rio Madeira; d-f) nos tributários e g-i) nos lagos e canais . A linha dentro das caixas representa a mediana, o limite das caixas e os traços abrangem 75 e 95% dos dados, respectivamente. As letras a cima das caixas quando diferentes significam diferença estatística (ANOVA Post Hoc teste,  $p < 0.05$ ). A linha vermelha pontilhada representa o limite considerado como alta diversidade. n.s.=não significativo.



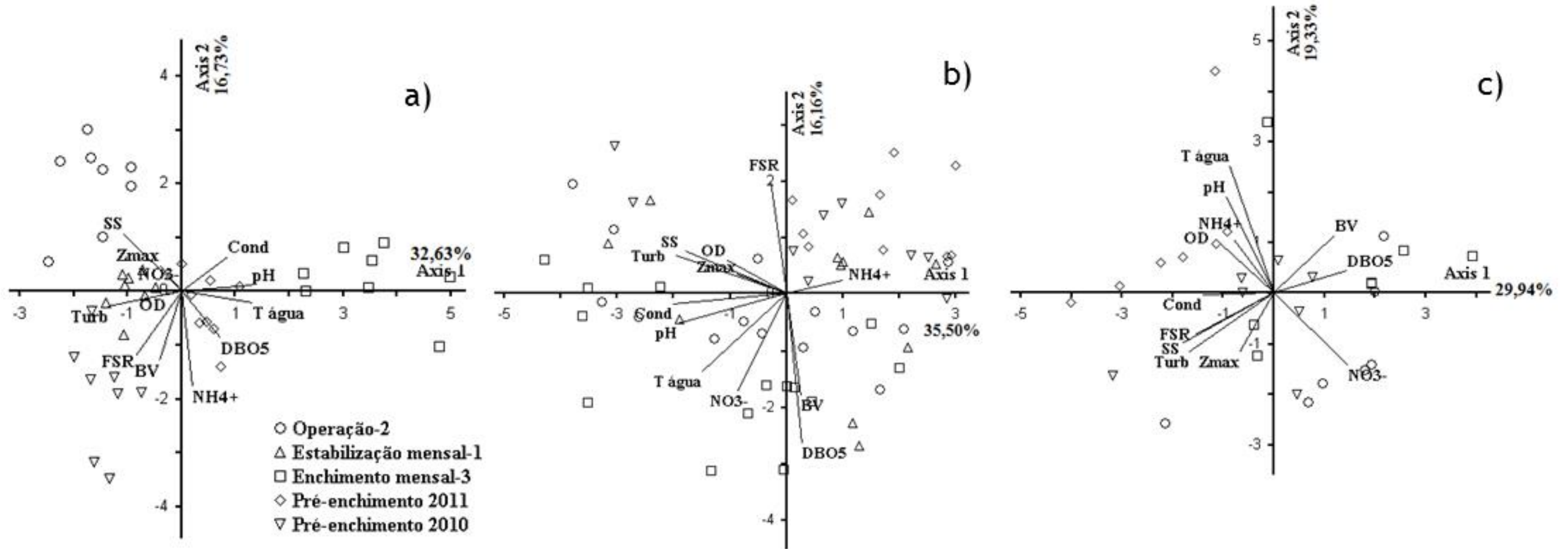


Figura 5.2.1-15 - Diagramas de ordenação derivados das Análises de Componentes Principais (ACP) aplicadas às variáveis ambientais e ao biovolume total do fitoplâncton a) no rio Madeira, b) seus Tributários e c) Lagos e canais no período de enchente das diferentes fases do empreendimento: Pré-enchimento 2010 (janeiro de 2010 - triângulo invertido), Pré-enchimento de 2011 (janeiro de 2011-losango), Enchimento mensal-3 (dezembro de 2011 -quadrado), Estabilização mensal-1 (fevereiro de 2012 - triângulo) e Operação-2 (janeiro de 2013 - círculo) .).  $T_{H_2O}$ = temperatura da água, OD= oxigênio dissolvido, Cond= condutividade,  $NO_3^-$ = nitrato,  $NH_4^+$ = íon amônio, SS= sólidos em suspensão,  $Z_{max}$ =profundidade máxima, FSR=fósforo solúvel reativo,  $DBO_5$ = demanda bioquímica de oxigênio em 5 dias e BV=biovolume do fitoplâncton.



### 5.2.1.10 - Discussão

A comunidade fitoplanctônica de um modo geral é regulada pelo controle ascendente por recurso (luz e nutrientes) e pelo controle descendente por herbívoros, os quais são modulados pela hidrologia (vazão, tempo de residência), hidrografia (regime de mistura), força iônica, dentre outros (Reynolds 2006). No caso de ecossistemas lóticos, padrões nessa comunidade são difíceis de identificar, principalmente devido à forte influência do escoamento hidráulico. Portanto, o sucesso dessa comunidade em rios é dado pela capacidade das espécies em se manterem na coluna d'água e de se reproduzirem mais rapidamente do que o escoamento hidráulico (Reynolds 2000), possibilitando o acúmulo de biomassa. Eventualmente as concentrações de nutrientes podem ser importantes na regulação da biomassa fitoplanctônica como foi o caso da enchente de 2010 no rio Madeira, quando a biomassa foi significativamente maior que nos demais períodos de enchente. Naquele período também foram observadas maiores concentrações de fósforo solúvel reativo (SRP). Cabe salientar que na maioria das fases o nitrogênio não ocorreu em concentrações limitantes ao crescimento fitoplanctônico, mas sim o fósforo (Figura 5.2.1-16 - Box plots). Com base nas constantes de semi-saturação para o crescimento da maioria das espécies de algas planctônicas, concentrações <10 ug/L de fósforo solúvel reativo (Sas 1989) e < 100ug/L de nitrogênio inorgânico dissolvido (Reynolds 1997) podem ser consideradas como limitantes ao crescimento fitoplanctônico (Reynolds 2006).

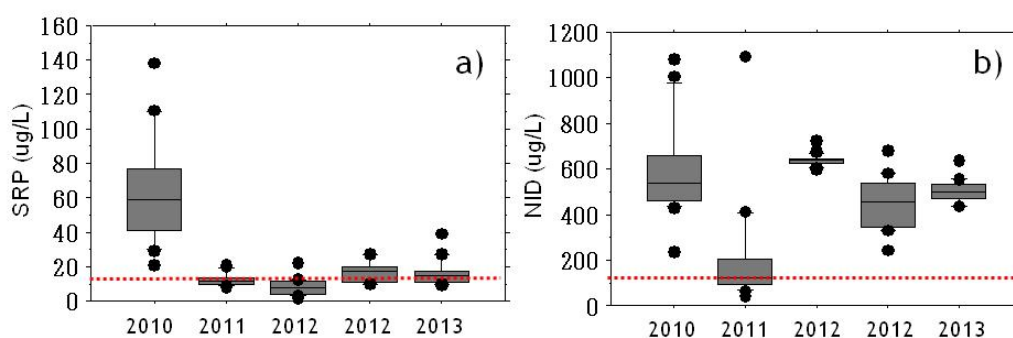


Figura 5.2.1-16 - “Box-plot” das concentrações de fósforo solúvel reativo (SRP) (a) e de nitrogênio inorgânico dissolvido (NID) (b) nas enchentes de 2010, 2011, 2012 e 2013 do rio Madeira. Linhas vermelhas pontilhadas indicam os valores considerados como limitantes ao crescimento fitoplanctônico. A variabilidade em cada período é dada pelas variações espaciais no rio Madeira. A linha dentro das caixas representa a mediana, o limite das caixas e os traços abrangem 75 e 95% dos dados, respectivamente.

Na enchente de 2013 (janeiro de 2013) a riqueza de espécies, considerando as amostras qualitativas e quantitativas, foi de 310 espécies. Uma alta riqueza de espécies foi observada considerando-se uma única amostragem e em comparação com as demais riquezas de espécies no conjunto dos dados (rio Madeira+tributários+lagos e canais) nos períodos de enchente de 2010 (41 espécies), 2011 (234 espécies) e 2012 (164 espécies).

Como observado na maioria destes ecossistemas a disponibilidade de luz é extremamente reduzida, associada à alta turbidez do sistema, conforme classicamente reconhecida como um dos principais recursos limitantes ao crescimento do fitoplâncton (Reynolds 2006) O principal fator para explicar a baixa biomassa fitoplanctônica no rio Madeira é potencialmente o intenso fluxo unidirecional da água em função de sua alta vazão. Independentemente dos mecanismos responsáveis pelo padrão verificado, o baixo biovolume fitoplanctônico poderia explicar a baixa diversidade fitoplanctônica observada principalmente nas estações do rio Madeira. A composição das classes taxonômicas não apresentou variada diferenciação entre os períodos de enchente, exceto no rio Madeira onde a fase de pré-enchimento 1 apresentou maior contribuição das principais classes para o biovolume, quando comparada com as demais fases do reservatório.

Porém, a biomassa, a riqueza e a diversidade nos tributários e lagos e canais não apresentaram diferenças significativas entre as fases do reservatório. Esse resultado é diferente para o encontrado comparando-se os períodos de águas baixas nas diferentes fases do reservatório. Naquele período foi observada uma mudança na contribuição das principais classes taxonômicas, assim como para o biovolume total, riqueza e diversidade, nos tributários e lagos e canais, mas não no rio Madeira (2541-00-MLM-RL-0001-00). Esse resultado nos mostra que a comunidade fitoplanctônica no rio Madeira foi mais sensível às mudanças durante o período de enchente e nos tributários e lagos e canais, durante o período de águas baixas. A enchente de 2013 (janeiro de 2013) mostrou uma inversão da riqueza de espécies entre os tributários e lagos e canais apresentada na curva de rarefação, assim como para as águas baixas de 2012 (novembro de 2012). Na enchente de 2011 (fase de enchimento-mensal-3) a maior curva de rarefação foi dada pelos lagos e canais. Esse resultado nos mostra também uma inversão na contribuição de espécies dos sistemas adjacentes ao rio Madeira.



A análise de componentes principais no rio Madeira revelou que a fase de pré-enchimento 2010 foi marcada por águas mais turbidas, com maiores concentrações de fósforo solúvel reativo e maiores biomassas fitoplanctônicas; a fase de enchimento mensal-3 foi marcada por alta condutividade, pH e temperatura da água; a fase de operação-2 foi marcada por maiores profundidades da água e sólidos em suspensão. As fases de pré-enchimento 2011 e estabilização mensal-1 não apresentaram fortes relações com as variáveis ambientais. Nos tributários e lagos e canais não houve diferenciação entre as fases do empreendimento.

Na literatura, a estrutura da comunidade fitoplanctônica mostrou-se sensível para alguns fatores abióticos como a temperatura da água, concentração de nutrientes ou mesmo a disponibilidade de luz (Winter et al. 2011). No entanto, a grande maioria dos trabalhos, especialmente na região amazônica documenta que a estrutura e o funcionamento da comunidade fitoplanctônica está diretamente relacionada às variações naturais no nível d'água dos sistemas aquáticos (Ibanez, 1998; Junk et al., 1989; Roland et al., 1997; Nabout et al. 2006; Huszar & Reynolds 1997). Desta forma, as mudanças observadas comparando-se os períodos de enchente nas diferentes fases do reservatório, podem estar relacionadas à dinâmica natural da comunidade fitoplanctônica, não podendo ainda ser atribuídas à implantação do reservatório. Para tanto, comparações de outros períodos hidrológicos são necessárias objetivando a busca por padrões que corroborem essa argumentação.

